



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IG
Campus Monte Carmelo
Curso de Geologia



HERNÂNI DOS SANTOS GONÇALVES

**ASSINATURA GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DE
CORPOS ALCALINOS MÁFICOS NA REGIÃO ENTRE ESTRELA DO SUL E
GRUPIARA (MG)**

Monte Carmelo – MG

2024

HERNÂNI DOS SANTOS GONÇALVES

**ASSINATURA GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DE
CORPOS ALCALINOS MÁFICOS NA REGIÃO ENTRE ESTRELA DO SUL E
GRUPIARA (MG)**

Monografia Final, exigência parcial para
obtenção do Título de bacharel em
Geologia da Universidade Federal de
Uberlândia, campus Monte Carmelo.

Orientador: Fabiano Mota da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Filipe Goulart

Lima

Monte Carmelo – MG

2024

RESUMO

A região de estudo abrange um território com domínio geológico variado e distinto. Dentro deste contexto estão as cidades de Estrela do Sul e Grupiara (MG), que possui sua história nas proximidades. Possuindo 242,762km² encontrando-se em totalidade dentro da Folha Estrela do Sul (SE.23-Y-A-IV). Utilizando-se dados bibliográficos e dados aerogeofísicos, executaram-se análises da geofísica, radiometria e magnetometria, e apresentando uma interpretação geológica-geofísica do local. Desta forma, o presente trabalho possui grande importância para o aumento do conhecimento das ocorrências de rochas máficas alcalinas, não alcalinas e suas possíveis ocorrências locais, e para o contexto geológico da Faixa Brasília Meridional e da Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP). Além disso demonstra-se, a partir desse projeto, a importância e influência da geofísica a partir da magnetometria e radiometria, na resolução e aprofundamento de informações geológicas locais.

Palavras-chave: Geofísica, Magnetometria, Gamaespectrometria, Faixa Brasília meridional, PIAP

ABSTRACT

The study area covers a territory with varied and distinct geological domains. Within this context are the cities of Estrela do Sul and Grupiara (MG), which have their history in the vicinity. With a total area of 242.762km², it is entirely within the Estrela do Sul sheet (SE.23-Y-A-IV). Using bibliographic data and aerogeophysical data, analyses of geophysics, radiometry, and magnetometry were carried out, presenting a geological-geophysical interpretation of the area. Thus, this work is of great importance for increasing knowledge of occurrences of alkaline mafic rocks, non-alkaline rocks, and their possible local occurrences, as well as for the geological context of the Southern Brasília Belt and the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP). Furthermore, this project demonstrates the importance and influence of geophysics, specifically magnetometry and radiometry, in resolving and deepening local geological information.

Keywords: Geophysics, Magnetometry, Gamma-Spectrometry, Meridional Brasília Belt, APIP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da poligonal de estudo. Fonte: O autor.....	8
Figura 2 Levantamentos aerogeofísicos no estado de Minas Gerais (CODEMIG, 2006)	10
Figura 3 Fluxograma de trabalho realizado no processamento pela LASA (Fonte: CODEMIG, 2006).....	10
Figura 4 Avião Cessna Caravan C208 usado na área de estudo (Fonte: CODEMIG, 2006).....	11
Figura 5 Mapa das Linhas de voos e a poligonal em cor preta denota a área de estudo (Modificado de CODEMIG, 2006).....	12
Figura 6 A) Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília– 1- Embasamento arqueano/paleoproterozoico; 2- Maciço de Goiás; 3- Grupo Araiá; 4- Grupo Serra da Mesa; 5- Complexos Máficos e Ultramáficos meso/neoproterozoicos e unidades metavulcanossedimentares; 6- Arco Magmático de Goiás; 7- Grupo Paranoá; 8- Grupo Canastra; 9- Grupo Vazante; 10- Grupo Andrelândia; 11- Nappe Socorro-Guaxupé; 12- Cinturão granulítico de Alta Pressão e mélanges; 13- Grupo Araxá; 14- Grupo Ibiá; 15- Cobertura Cratônica (Grupo Bambuí); 16- Coberturas fanerozoicas. B- Blocos cratônicos e cinturões Pan-Africano/Brasiliano. (WA– Oeste África, A– Amazônico, SFC– São Francisco-Congo) e Cinturões Brasilianos/Pan-africanos.....	14
Figura 7 Áreas de ocorrência da Província Ígnea do Alto Paranaíba (Fonte: Guarino, 2013).....	19
Figura 8 Extensão do lineamento Azimute 125° com as províncias alcalinas demarcadas em vermelho e a área de estudo em poligonal preta. (Fonte: modificado de Rocha et al., 2014).....	20
Figura 9 Representação dos vetores que compõem o campo magnético da Terra (modificado de Telford et al., 1990 in Mendes, 2016).....	21
Figura 10 Intervalo e valores médios de suscetibilidade magnética para os principais tipos de rocha. (Fonte: modificado de Kearey et al., 2009)	23
Figura 11 Curva com janela espectral de radioelementos com destaque para os espectros de tório (Th), urânio (U) e potássio (K) (modificado de Minty, 1997)	24
Figura 12 Principais minerais radioativos e principais ocorrências (modificado de Telford et al., 1990).	25
Figura 13 Gráfico de concentração de K, U e Th de acordo com o teor de sílica (modificado de Dickson & Scott, 1997).....	26
Figura 14A - Mapa do canal de urânio em ppm da área de estudo. Figura 14B - Mapa do canal de concentração de Potássio em porcentagem. Figura 14C - Mapa do canal de concentração de tório em ppm.....	31
Figura 15A- Mapa de Contatem Total. 15B - Mapa de Composição Ternária RGB.....	32
Figura 16 Mapa do Campo Magnético Anômalo da área de estudo	33
Figura 17A - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) local. Figura 17B - Mapa do ASA Regional.....	35
Figura 18A - Mapa interpretativo dos domínios magnetométricos com base no ASA. Figura 18B - Mapa de amplitude do sinal analítico em menor proporção para efeito de comparação ao interpretativo.	37
Figura 19 Mapa de filtro passa baixa a partir do ASA com <i>cut-off</i> em 2000.....	38
Figura 20 Correlação dos mapas de composição ternária, Figura 20B - Geologia da área. Figura 20C - Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Localização e Vias de acesso.....	7
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
3.1 Levantamento bibliográfico.....	9
3.2 Banco de dados Geofísicos.....	9
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA REGIONAL.....	12
4.1 Compartimentação Geotectônica Regional.....	12
4.2 Geologia estrutural regional.....	15
4.3 Metamorfismo.....	15
4.4 Unidade Geológicas aflorantes na área de estudo.....	15
5. REFERENCIAL TEÓRICO GEOFÍSICO.....	20
5.1 Magnetometria e Geomagnetismo.....	20
5.2 Magnetismo de minerais e rochas.....	22
5.3 Radiometria.....	23
5.4 Gamaespectrometria e assinaturas geológicas.....	24
5.5 Aerolevantamento.....	26
6. REFERENCIAL TEÓRICO PARA OS MÉTODOS INDIRETOS APLICADOS.....	27
6.1 Pré-Processamento dos dados.....	27
6.2 Processamento dos dados aerogeofísicos.....	27
6.3 Derivadas direcionais.....	28
6.4 Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	28
6.5 Filtragem.....	29
7. RESULTADOS.....	29
7.1 Introdução.....	29
7.3 Análise da magnetometria.....	32
7.4 Integração de dados geológicos e geofísicos.....	39
8. DISCUSSÕES.....	40
8.1 Distribuição litológica.....	40
8.2 Padrão estrutural da região de estudo.....	40
8.3 Discussão da gamaespectrometria.....	40
8.4 Discussão da magnetometria.....	41
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	42

1. INTRODUÇÃO

A geofísica desempenha um papel de fundamental importância para a compreensão do arranjo tridimensional dos corpos geológicos e as estruturas associadas. Em particularidade os métodos potenciais possuem grande valia na identificação geológica, entre eles o magnetométrico se destaca no mapeamento de corpos alcalinos como kimberlitos e kamafugitos, também na identificação de formações carbonatíticas, além de falhas regionais e diques básicos devido às propriedades magnéticas destes corpos, cujos contrastes de susceptibilidade magnética possibilitam distingui-los em relação às suas encaixantes (SMITH & FOUNTAIN, 1999). Métodos geofísicos, como o magnetométrico e o gravimétrico, têm sido aplicados em diferentes escalas para o reconhecimento e detalhamento de ambientes formados por processos tectono-magmáticos, como no caso de intrusões alcalinas em diferentes províncias (MARANGONI & MANTOVANI, 2013). As diversas imagens magnetométricas resultantes de um processamento de dados podem evidenciar feições características de províncias alcalinas por meio da existência de anomalias análogas a intrusões alcalinas aflorantes, bem como com prováveis corpos não aflorantes (MARANGONI & MANTOVANI, 2013).

Cabral Neto et al. (2017) resumiu e categorizou as localizações dos corpos intrusivos alcalinos contendo informações provenientes de levantamentos bibliográficos, pesquisas de campo, e até mesmo angariadas de empresas que realizaram pesquisa e prospecção na região.

Na região de estudo, englobam uma porção destes corpos intrusivos, onde são classificados com nome-base Ferragem (7, 8, 10, 11 e 19) sendo estes compreendidos dentro do Supercampo Kimberlítico Coromandel-Três Ranchos, o qual é pertencente a Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP), boa parte desses corpos ocorre em subsuperfície ou apresentam grau elevado de intemperismo. Em adição aos estudos realizados por Cabral Neto et al., (2017), Pereira et al., (2018) analisou por métodos potenciais geofísicos para identificar anomalias em áreas próximas a Romaria, Estrela do Sul e Monte Carmelo. Enquanto Aparecido (2024) caracterizou a petrografia da intrusão Ferragem 11.

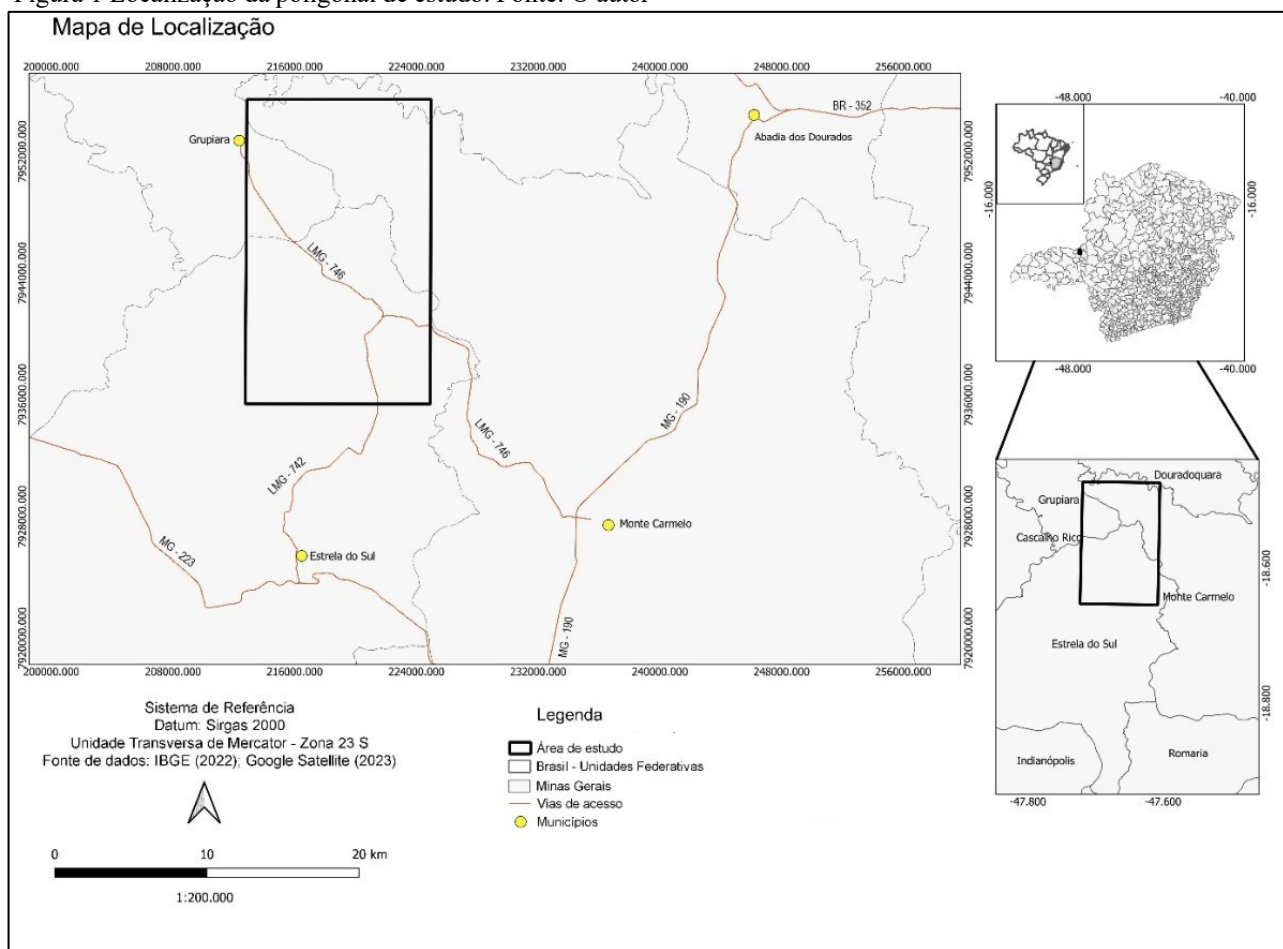
1.1 Localização e Vias de acesso

A área de estudo possui 242,762km² e está localizada na porção leste do município de Grupiara, nordeste de Estrela do Sul e a noroeste do município de Monte Carmelo,

próximo da divisa entre os estados de Minas Gerais e Goiás, na região geográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1).

O acesso até a área da poligonal do presente trabalho, partindo de Monte Carmelo, Minas Gerais, é por meio da estrada LMG-746 e partindo de Estrela do Sul pela LMG-742.

Figura 1 Localização da poligonal de estudo. Fonte: O autor



2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo principal do presente trabalho visa estudar a assinatura geofísica de corpos intrusivos alcalinos aflorantes na área de estudo, a fim de contribuir na discussão se é possível estabelecer parâmetros para o reconhecimento dos mesmos por métodos potenciais de gamaespectrometria e magnetometria.

Realizar uma análise geofísica eficaz é essencial para entender o que está abaixo da superfície, especialmente no caso das rochas, onde é possível identificar estruturas e delimitar corpos com base em seus parâmetros físicos. Portanto, qualquer interpretação geológica

derivada de dados geofísicos é amplamente aplicável em diversos ramos da geologia (TELFORD et al., 1990). Em razão disso a geofísica vem como uma ferramenta base para a compreensão de suas principais propriedades, visando interpretar e estimar a assinatura geofísica destes corpos evidenciará que os métodos geofísicos são primordiais para o auxílio da compreensão geológica local e da prospecção mineral, em razão das rochas máficas alcalinas intrusivas da PIAP serem de potencial econômico para exploração de diamante (CABRAL NETO et al., 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo baseou-se em um extenso levantamento bibliográfico e na análise de dados provenientes de levantamento aerogeofísico, os quais foram processados e analisados utilizando o software *Oasis Montaj* versão 8.4.

3.1 Levantamento bibliográfico

A revisão bibliográfica e cartográfica foi realizada com o enfoque nos temas propostos para o estudo. Na revisão bibliográfica, o entendimento conceitual fundamentação teórica dos métodos potenciais geofísicos de radiometria e magnetometria com base em Telford et al. (1990), Dickson & Scott (1997), Blakely (1996), Kearey et al. (2009) e Ribeiro (2014). Além de revisões na literatura a respeito da geologia regional e local.

3.2 Banco de dados Geofísicos

A etapa de geofísica da área, envolveu o processamento de dados aerogeofísicos já pré-processados disponibilizados CODEMIG. Onde realizou-se a elaboração de dados e mapas magnetométricos e gamaespectrométricos para um auxílio na interpretação da área. O aerolevanteamento executado pela LASA (2006) em convênio com a CODEMIG pertence a Área 7, denominada projeto Araxá-Divinópolis-Patos de Minas (Figura 2), (CPRM; CODEMIG; LASA, 2006). Os dados pré-processados e corrigidos são disponibilizados em formato de grid (GRD) e geodatabase (GDB).

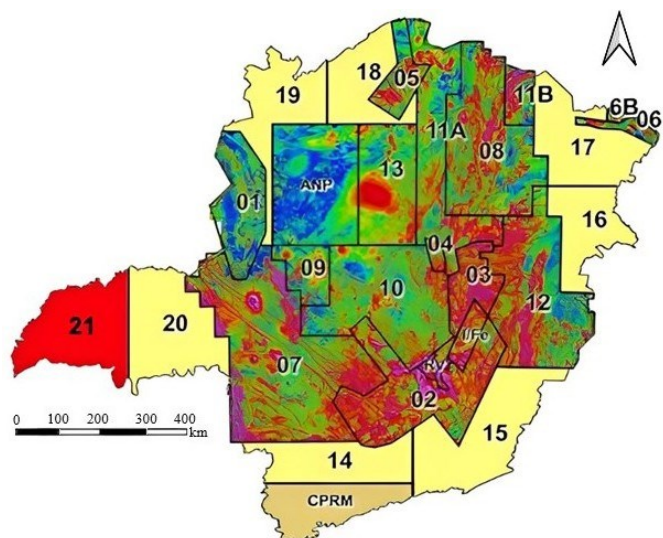


Figura 2 Levantamentos aerogeofísicos no estado de Minas Gerais (CODEMIG, 2006)

O processamento de dados magnetométricos e gamaespectrométricos realizado pela LASA Prospecção S/A para o aerolevantamento da Área 7 seguiu o fluxograma apresentado na figura 3.

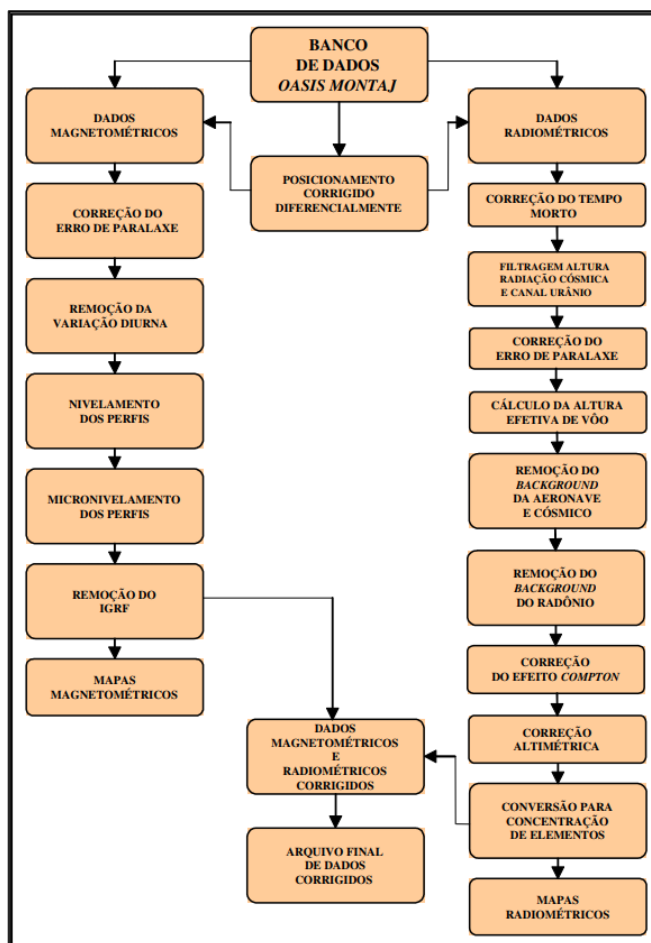


Figura 3 Fluxograma de trabalho realizado no processamento pela LASA (Fonte: CODEMIG, 2006)

As linhas de voo seguem a direção Norte-Sul, com um espaçamento entre elas de 400 metros, enquanto as linhas de controle são orientadas Leste-Oeste, com um espaçamento de 8 quilômetros. O período de aquisição das leituras do magnetômetro Scintrex CS-2 é de 0,5 segundos, e a velocidade da aeronave é de aproximadamente 280 km/h, o que resulta em um intervalo de amostragem de cerca de 40 metros. A altura média de voo foi de 100 metros, o avião usado na fase e área de estudo foi o Cessna Caravan C208 que possibilitou a aquisição dos dados da Área 7 (CODEMIG, 2006) (Figura 4).



Figura 4 Avião Cessna Caravan C208 usado na área de estudo (Fonte: CODEMIG, 2006)

Dentro da poligonal de estudo estão contidas 4 linhas de voo, duas em direção Norte-Sul e duas Leste-Oeste, sendo elas respectivamente L100800 e L10100; T190400 e T190390 (Figura 5).

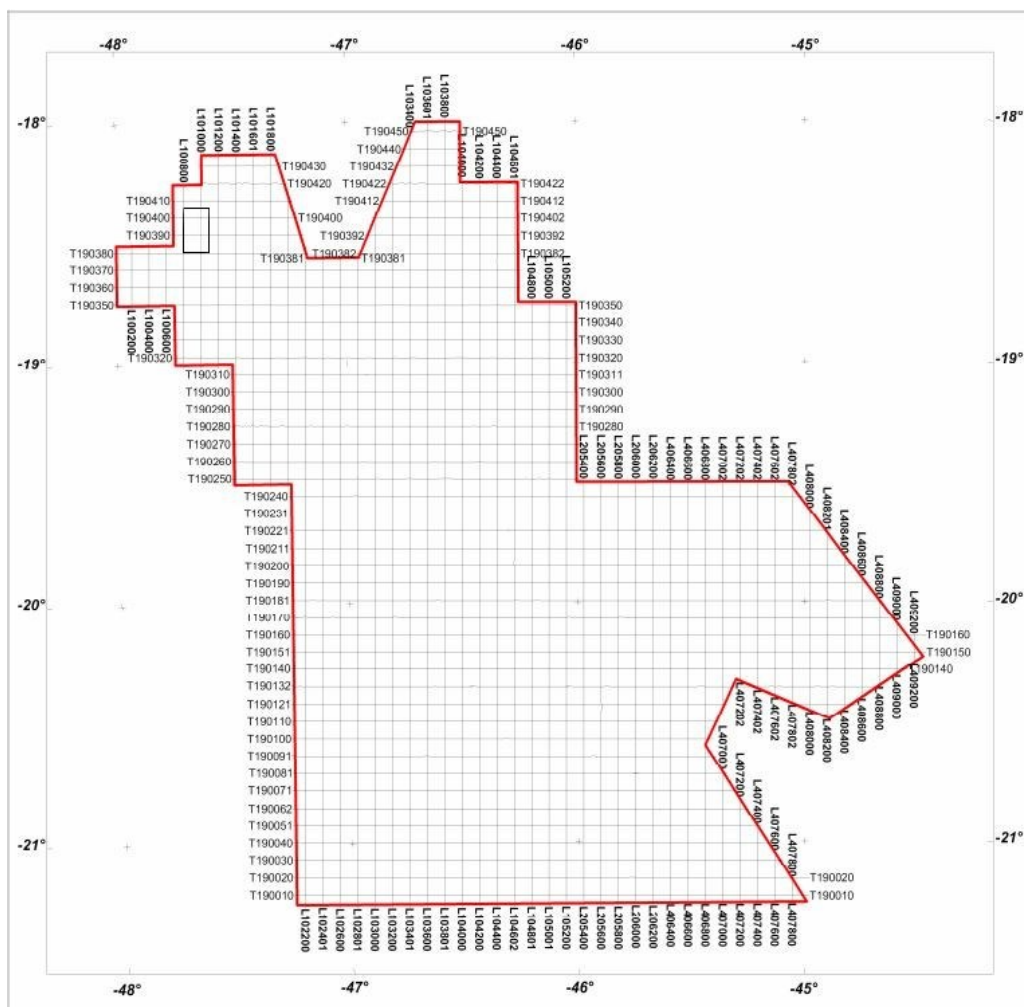


Figura 5 Mapa das Linhas de voos e a poligonal em cor preta denota a área de estudo (Modificado de CODEMIG, 2006)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA REGIONAL

A área de estudo encontra-se inserida no contexto do Domínio Interno da Faixa Brasília Meridional (Figura 2), Província Tocantins (FUCK; PIMENTEL; SILVA, 1994), e abrange porções da Província Ígnea do Alto Paranaíba (PEREIRA 2007; MORAES ROCHA et al., 2014; CABRAL NETO et al., 2017), do Grupo Araxá, Complexo Monte Carmelo e Suíte Granítica Estrela do Sul (SEER, 2013; SANTOS, 2019)

4.1 Compartimentação Geotectônica Regional

A Faixa Brasília, pertencente a Província Tocantins (ALMEIDA, 1977), é um cinturão orogênico neoproterozoico formado durante a Orogênese Brasileira/Pan-africana e amalgamação do paleocontinente Gondwana a partir da colisão de três grandes blocos, sendo eles o Parapanema, Amazônico e São Francisco-Congo, além de alguns blocos alóctones menores. Segundo Uhlein et al. (2012) a faixa situa-se na margem oeste do Cráton São

Francisco e cercada pelo Cráton Amazônico na porção oeste e Brasília compreende porções dos estados do Tocantins, Goiás e Minas Gerais e possui aproximadamente 1200 km de comprimento por 300 km de largura

Pimentel (2016) documenta estudos tectônicos e geocronológicos para a Faixa Brasília expondo que a mesma apresenta uma cronologia complexa de deformação e metamorfismo, relacionada a vários eventos tectonotermiais que englobam colagem de terrenos, arcos magmáticos e fragmentos de ofiólitos, exumação de terrenos de alto grau, além do desenvolvimento de cinturões supracrustais de dobras e empurrões.

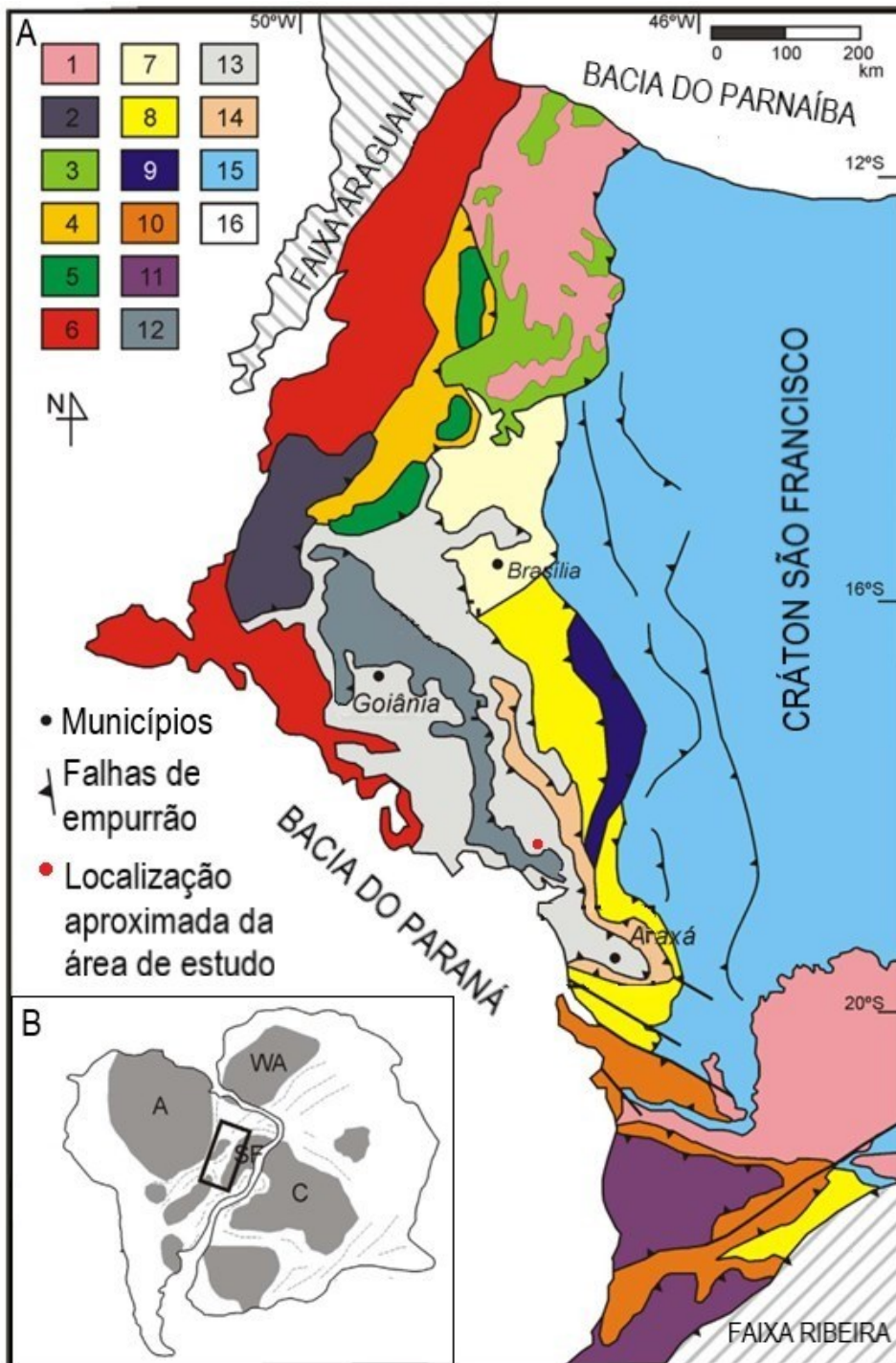
O órogeno primeiramente foi dividido em duas partes a setentrional e meridional por Fuck et al. (1994). Valeriano et al. (2004) caracterizam a Faixa Brasília com uma tectônica onde a vergência predominante ocorre para leste, em direção ao Cráton São Francisco

Uhlein et al. (2012), infere que a divisão setentrional está ligada à interação entre os Crátons São Francisco e Amazônico e a divisão meridional possui relação com a interação entre os Crátons São Francisco e Paranapanema. Durante a orogenia outras unidades tectônicas como o Maciço de Goiás, arcos magmáticos e sequências sedimentares também foram envolvidas.

O setor meridional tem predomínio de conjuntos de nappes, compostas principalmente pelo Grupo Araxá, que cavalgam a zona de dobramentos e empurrões no sentido do Cráton (SEER et al., 2001; VALERIANO et al., 2004). Klein (2008) descreve extensas sequências de rochas sedimentares, metassedimentares, granitos colisionais do tipo-S e mélanges ofiolíticas. Essas rochas manifestam variações no grau metamórfico e na deformação, intensificando-se do leste da zona cratônica para oeste da zona interna da Faixa Brasília (VALERIANO et al., 2004).

Fuck et al. (1994) definem o arranjo estrutural da Faixa Brasília em uma divisão com três zonas, zona externa que se refere às unidades metassedimentares dos grupos Canastra e Ibiá, zona interna que é compreendida pelo Grupo Araxá e os complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados (PINHO et al., 2017), e pôr fim a zona cratônica contendo coberturas fanerozoicas e pré-cambrianas dos grupos Vazante, Paranoá e Bambuí.

Figura 6 A) Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília– 1- Embasamento arqueano/paleoproterozoico; 2- Maciço de Goiás; 3- Grupo Araí; 4- Grupo Serra da Mesa; 5- Complexos Máficos e Ultramáficos meso/neoproterozoicos e unidades metavulcanossedimentares; 6- Arco Magmático de Goiás; 7- Grupo Paranoá; 8- Grupo Canastra; 9- Grupo Vazante; 10- Grupo Andrelândia; 11- Nappe Socorro-Guaxupé; 12- Cinturão granulítico de Alta Pressão e mélanges; 13- Grupo Araxá; 14- Grupo Ibiá; 15- Cobertura Cratônica (Grupo Bambuí); 16- Coberturas fanerozoicas. B- Blocos cratônicos e cinturões Pan-Africano/Brasiliano. (WA– Oeste África, A– Amazônico, SFC– São Francisco-Congo) e Cinturões Brasileiros/Pan-africanos



Fonte: Modificado de Falci et al., (2018) e Valeriano et al., (2004)

4.2 Geologia estrutural regional

A geologia estrutural da porção meridional da Faixa Brasília possui alguns apontamentos, os quais alguns autores inferem três fases deformacionais para o arranjo estrutural desta Seer, (1999); Dardenne, (2000); Uhlein et al. (2012). Outros autores como Simões (1995) reconhecem uma estruturação composta por quatro fases de deformação. Nota-se que é um consenso entre os autores que o segundo estágio deformacional é o preponderante.

Santos (2019) em estudos realizados na região de Estrela do Sul (MG), em uma área próxima à poligonal deste presente trabalho, também descreve um arranjo estrutural com 4 fases deformacionais, a mesma interpretou na primeira fase deformacional uma foliação S1 paralela ao bandamento composicional, a qual na maior parte das análises se encontra transposta pela S2. Na segunda fase a foliação S2 é marcada como sendo uma xistosidade ou por vezes clivagem de crenulação, F2 compreende dobras apertadas a isoclinais com direções em noroeste e sudeste, a lineação mineral deste estágio (Lm2) conta com orientação tendendo a leste e sudoeste. No terceiro estágio deformacional a foliação S3 é marcada apenas como clivagem de crenulação e sua foliação com plano axial, F3 predomina dobras suaves e em algumas vezes apertadas, já a lineação mineral (Lm3) apresenta uma direção preferencial em oeste e leste. Por fim, no quarto e último estágio deformacional caracteriza-se a presença de uma F4 com dobras abertas e suaves, são interpretadas como sendo estruturas que perturbam todas as outras dos estágios anteriores.

4.3 Metamorfismo

No contexto da nappe de Araxá, Seer (1999) identifica um evento metamórfico e três eventos retrometamórficos. Estes incluem o evento M1, relacionado à fase deformacional D1, atingindo a fácies anfíbolito. Os eventos de retrometamorfismo RM1, RM2 e RM3 ocorrem, respectivamente, no término da fase deformacional D1, associados à fase D2 precoce, e ligados à fase D3, resultando em alterações minerais significativas.

Navarro (2011), aponta condições de pico metamórfico a 610°C e pressões entre 8 e 11 Kbar com os resultados apontando para uma trajetória P-T-t horária sobre as rochas metassedimentares do Grupo Araxá no sul do estado de Goiás.

4.4 Unidade Geológicas aflorantes na área de estudo

Ortognaisse Goiandira

Identificado inicialmente na cidade de Goiandira, localizada no sudeste do estado de

Goiás, o Ortognaisse Goiandira se manifesta em blocos, matacões rolados, lajedos e nos canais de drenagem (KLEIN, 2008). O metamorfismo predominante revela fácies anfíbolito, com presença de paragêneses granulíticas. De acordo com Chaves & Dias (2017) há a necessidade de uma compreensão mais aprofundada da disposição litoestratigráfica e da gênese do ortognaisse. Os protólitos podem ter origens diversas, incluindo monzogranito, monzodiorito, granodiorito, tonalito e anfíbolito (KLEIN, 2008). A mineralogia típica é composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, com fenoclastos milimétricos restritos que se apresentam na forma de saussuritização, além de biotita, moscovita, zoisita e clorita resultantes de retrometamorfismo. Este ortognaisse está em contato de empurrão com os granitoides do Complexo Monte Carmelo, bem como com metassedimentos e metamáficas do Grupo Araxá (KLEIN, 2008).

Grupo Araxá

A Formação Araxá foi postulada inicialmente por Barbosa (1955) e, posteriormente, em 1967, o mesmo autor elevou a unidade à condição de Grupo Araxá (BARBOSA et al., 1970). Barbosa (1970) considerou uma assembleia litológica composta por micaxistos e quartzitos assentados sobre gnaisses do embasamento. Entre as características distintivas do Grupo Araxá, destaca-se a presença de corpos metaultramáficos, que representam a existência de uma melange ofiolítica formada pela acreção do fundo oceânico sobre margens passivas (SEER, 1999).

Além de lentes de metaultramáficas com extensões que variam de metros a quilômetros, a assembleia litológica do Grupo Araxá inclui biotita xisto, granada-biotita xisto, granada-biotita xisto feldspático, granada-biotita-muscovita xisto, lentes métricas a decamétricas de anfíbolito (incluindo granada anfíbolito), intercalações locais de (hornblenda)-granada-biotita gnaisses, quartzo xisto e quartzito (SIMÕES, 1995).

Posteriormente em estudos realizados por Santos (2019) e Santos et al. (2021) na região de Estrela do Sul (MG), próxima a área do presente trabalho, aponta a presença de corpos metaultramáficos que são identificados como actinolita xisto, clorita xisto, clorita-actinolita xisto e de corpos metamáficos sendo compreendidos como anfíbolitos. Essa associação tem sua mineralogia fundamental por actinolita, mg-clorita, talco e hornblenda

Complexo Abadia dos Dourados

A sequência Abadia dos Dourados foi inicialmente definida por Brod et al. (1991) conforme citado em Brod et al. (1992), identificando uma associação de blocos com estrutura

complexa, destacando-se predominância de falhas de baixo ângulo na direção N40W, inclinando-se para o NE. Devido à sua diversidade litológica, Pinho et al. (2017) classificam a unidade como Complexo Abadia dos Dourados. Um dos blocos foi interpretado como uma sequência Vulcanossedimentar, metamorfizada na fácies xisto verde, zona da clorita, denominado Bloco Abadia dos Dourados. Esta unidade é predominantemente composta por micaxistos, anfibolitos, metatufos ácidos, metacherts ferruginosos e xistos carbonosos, com intrusões de biotita granito, sendo estas de natureza sin a tardi-colisionais.

Estudos geocronológicos utilizando o método U/Pb revelaram uma idade de 812 ± 10 M.a para zircões de anfibolitos do complexo (PINHO et al., 2017). Análises geoquímicas indicam que os anfibolitos apresentam características químicas típicas de basaltos EMORB (BROD et al., 1992). Sua composição toleítica e a característica isotópica manto depletado ($\epsilon_{Nd}=+5.1$) sugerem uma origem na litosfera oceânica antiga.

Complexo Monte Carmelo

O Complexo Monte Carmelo, situa-se entre os municípios de Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, caracteriza-se como uma intrusão ígnea com litologias que variam de sieno, monzograníticas a granodioríticas, além de associações comuns de lentes de anfibolito, com fácies metamórfica epidoto-anfibolito (FÉBOLI et al., 2017). Através de estudos realizados na região de Cascalho Rico e Monte Carmelo, Seer et al. (2001) definem esses granitoides como sendo do Complexo Monte Carmelo, caracterizando os litotipos em metaluminosos e peraluminosos, com alterações hidrotermais e intensa deformação nas bordas.

Os granitoides possuem, de forma geral, coloração que varia entre cinza a esbranquiçado, granulação fina até grossa. A composição foi caracterizada principalmente por quartzo, feldspato, biotita e muscovita, variando assim entre granodiorito, monzogranito e sienogranito. Já as rochas de composição granítica a granodiorítica são compostas de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, muscovita, sericita e biotita. Enquanto epidoto, apatita e zircão, como acessórios (FÉBOLI et al., 2017).

Suíte Granítica Estrela do Sul

A Suíte Granítica Estrela do Sul foi, inicialmente, caracterizada por Barbosa (1970) como pertencente às rochas do Grupo Araxá. Posteriormente, Seer et al. (2010) e Seer & Moraes (2013) coloram essa unidade como pertencente a Suíte Granítica Vila Vela. Na Folha Geológica Estrela do Sul, a escala de mapeamento permitiu a individualização da unidade (CHAVES & DIAS, 2017). A suíte Estrela do Sul compreende corpos graníticos similares aos encontrados

no Complexo Monte Carmelo, visto que os exemplares apresentam as extremidades deformadas e a porção interna preservada (SEER & MORAES, 2013). O muscovita granito peraluminoso predomina nas suas fácies equigranulares, sendo composto por quartzo, micas (muscovita e biotita), microclínio, ortoclásio e oligoclásio, no qual alguns minerais acessórios presentes nesse corpo granítico são: granada, zircão, apatita, turmalina e carbonatos. Associado a todo esse contexto, ocorrem lineamentos magnéticos representando diques de diabásio de pequena espessura, mas de grande âmbito espacial linear. Confirma-se que a mesma origem desses diques é relacionada com o magmatismo intensivo da Formação Serra Geral (SEER & MORAES, 2013).

Província Ígnea Alto Paranaíba

São documentadas na área de estudo por Pereira (2007) e Cabral Neto et al. (2017), rochas com afinidades Kimberlítica e Kamafugíticas, tais rochas alcalinas cretáceas pertencentes a Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP). A PIAP é caracterizada com variedade nas formas ígneas, como condutos, lavas e depósitos piroclásticos, que foram gerados a partir de magmatismo máfico-ultramáfico ultrapotássico (GIBSON et al., 1995).

A manifestação magmática alcalina (Figura 7) é interpretada por vários autores como concomitante as rochas do Grupo Mata da Corda, onde as idades das intrusões kamafugíticas variam entre 75 a 90 Ma (SGARBI et al., 2004). Os kimberlitos apresentam idade de 90 a 120Ma, e indicam menor temperatura de fusão no manto no período de sua formação. Uma centena de pipes kimberlíticos podem ser visualizados na PIAP, sendo difícil a diferenciação com kamafugitos (PEREIRA et al., 2017).

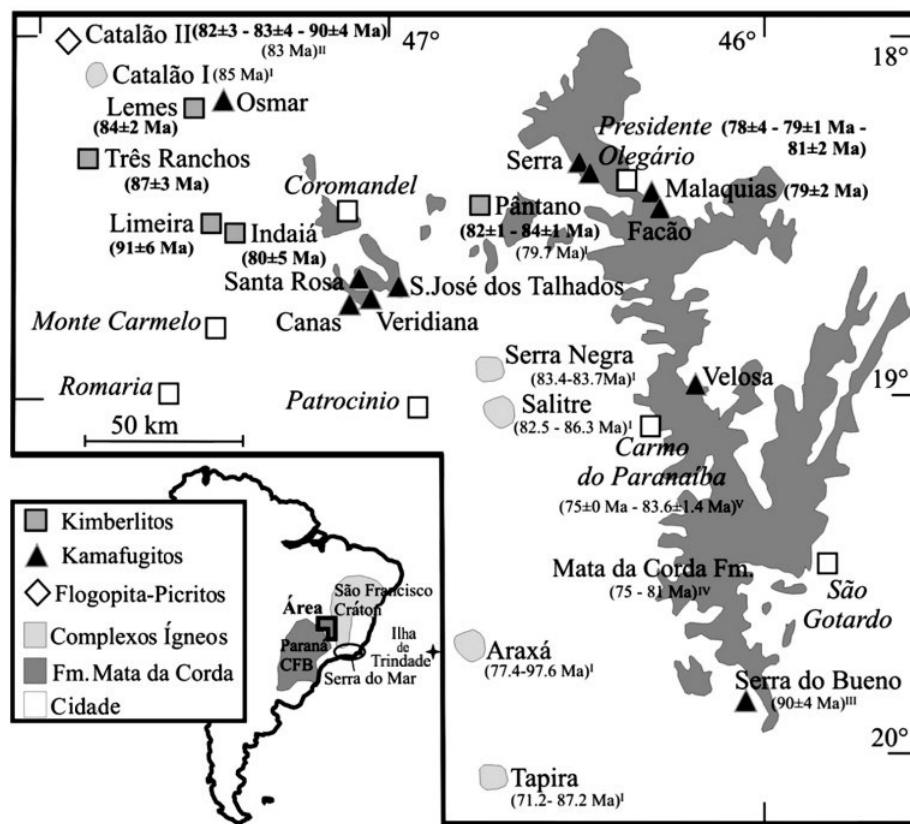


Figura 7 Áreas de ocorrência da Província Ígnea do Alto Paranaíba (Fonte: Guarino, 2013)

Os movimentos ascendentes de magma alcalino entre a bacia do Paraná e a bacia San Franciscana permitiram o desenvolvimento do Arco do Alto Paranaíba (ALMEIDA et al., 1980). Relacionados a esse evento, estão os carbonatitos e kimberlitos, controlados por falhas na direção NW, associados ao sistema de lineamentos Azimute 125 (ROCHA et al., 2014).

Buck et al. (2006) desenvolveram um modelo quantitativo para a expansão lateral de diques além da câmara magmática, no qual consideram que as pressões magmáticas estão intimamente relacionadas à abertura dessas estruturas. Esses processos podem variar em cada evento de intrusão. O início da propagação dos diques ocorre quando a pressão de condução atinge o ponto de ruptura necessário para expelir o magma da câmara e cessa quando a pressão de condução atinge um valor mínimo. Além da pressão de ruptura, a distribuição inicial de tensões tectônicas e a espessura da litosfera "cortada" por um dique também influenciam diretamente na extensão da propagação. Apesar das variações reológicas ao longo do Lineamento, os diques do Azimute 125° mantêm uma certa linearidade na direção NW-SE à medida que atravessam as províncias geológicas (MORAES et al., 2021) (Figura 8).

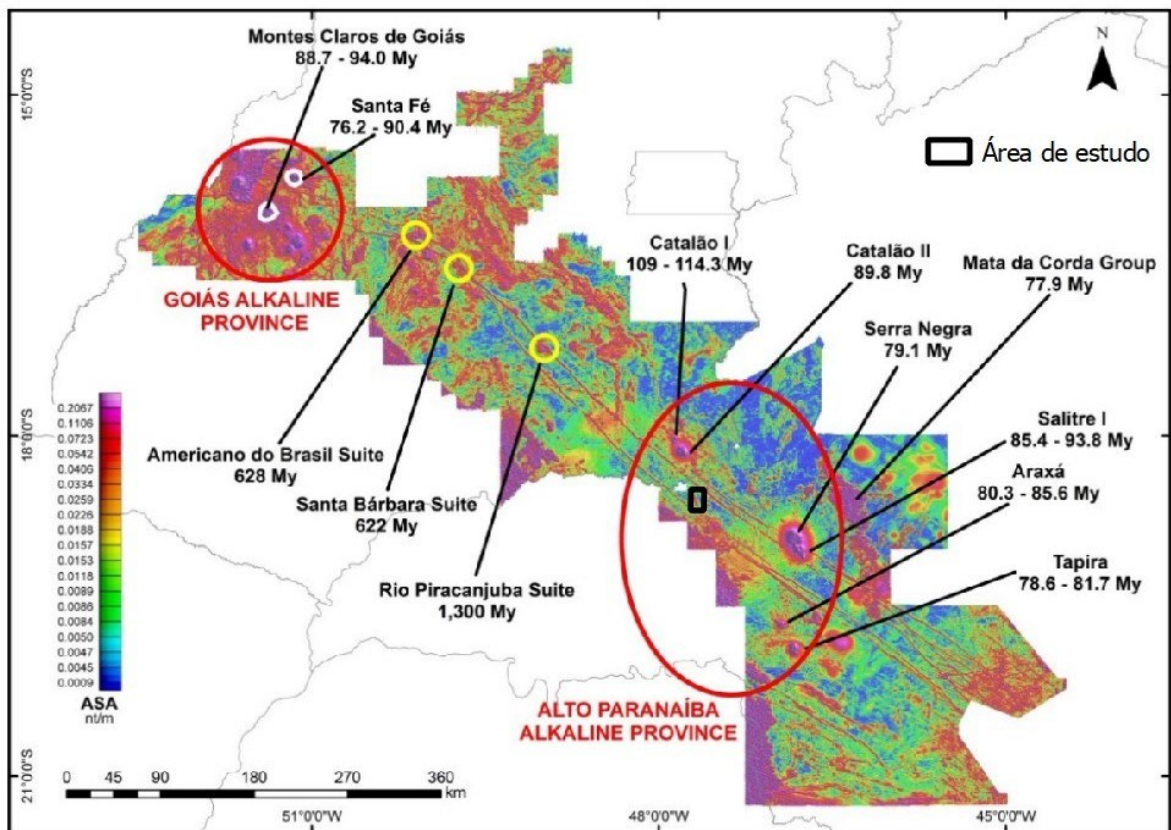


Figura 8 Extensão do lineamento Azimute 125° com as províncias alcalinas demarcadas em vermelho e a área de estudo em poligonal preta. (Fonte: modificado de Rocha et al., 2014)

5. REFERENCIAL TEÓRICO GEOFÍSICO

Os métodos geofísicos, no âmbito da pesquisa atual, caracterizam uma técnica indispensável para se obter informações de subsuperfície de maneira ágil e econômica. Por isso, é fundamental que se conheça as principais propriedades físicas investigadas e o princípio físico de cada método, para que a aplicação da geofísica de prospecção proporcione resultados significativos. Neste capítulo, será feita uma breve caracterização dos métodos geofísicos utilizados no presente estudo, visando elucidar seus principais fundamentos teóricos.

5.1 Magnetometria e Geomagnetismo

A magnetometria é um método geofísico que utiliza como princípio de investigação a susceptibilidade magnética das rochas, caracterizando-se, assim, como um método potencial, ou seja, que tem como fonte campos naturais (BLAKELY, 1996). Nesse contexto, o parâmetro medido pelo método, está relacionado as variações espaciais de intensidade do campo magnético terrestre (KEAREY et al., 2009). Representa uma das técnicas mais utilizadas no

setor de prospecção mineral, uma vez que, o procedimento para obtenção dos dados magnetométricos é simples e eficiente, além de ser mais acessível, do ponto de vista econômico, se comparado aos demais métodos geofísicos (TELFORD et al., 1990; KEAREY et al., 2009).

O campo magnético sofre com intensas variações, quando se utiliza o método magnético como princípio para identificação de estruturas geológicas, é importante conhecer os principais aspectos do campo magnético terrestre e como ele atua na geração das anomalias provenientes da mudança das propriedades magnéticas das rochas. Kearey et al., (2009) descreve o campo geomagnético como um vetor variável, cuja orientação é determinada pela localização na superfície terrestre.

A representação vetorial do campo magnético terrestre(Figura 9), é composta pelo campo magnético total (T), que é decomposto em um componente vetorial horizontal (H) e um componente vetorial vertical (V). O ângulo de inclinação magnética (I) é definido como o ângulo entre o campo total e a componente horizontal, enquanto a declinação magnética (D) é o ângulo entre a componente horizontal e o norte geográfico

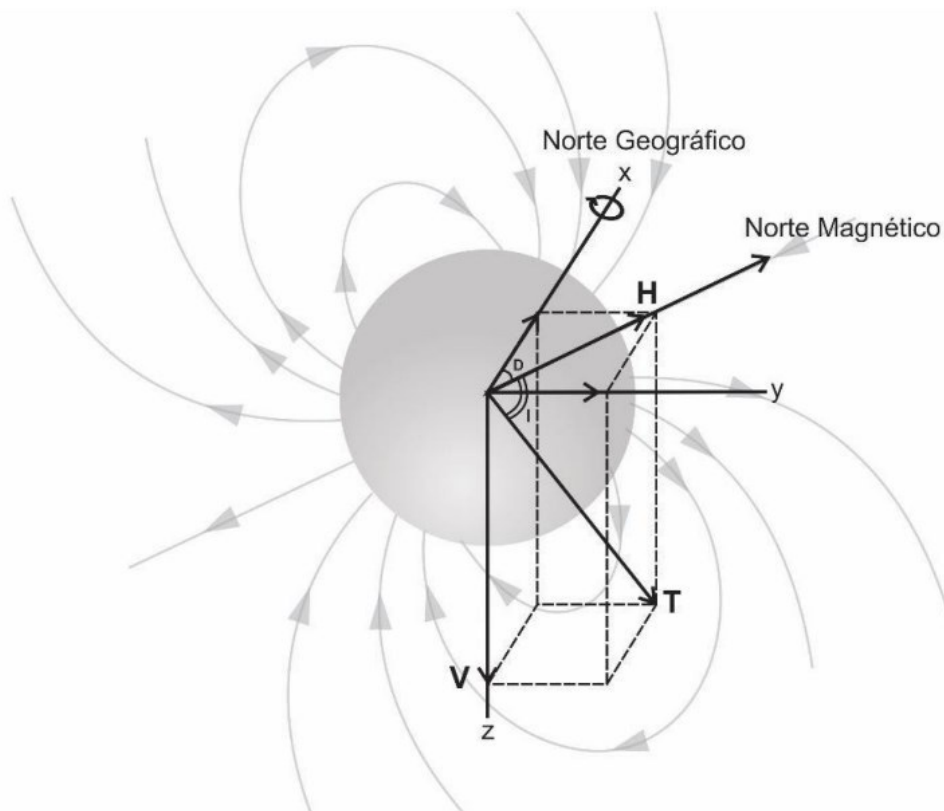


Figura 9 Representação dos vetores que compõem o campo magnético da Terra (modificado de Telford et al., 1990 in Mendes, 2016).

5.2 Magnetismo de minerais e rochas

As anomalias produzidas pelo método magnético estão diretamente ligadas à susceptibilidade magnética das rochas, uma propriedade que é induzida pela influência do campo magnético terrestre atual. Em outras palavras, todo material suscetível à magnetização, quando exposto a um campo magnético externo, desenvolve polos magnéticos induzidos. Esse fenômeno é conhecido como magnetização induzida dos materiais (BLAKELY, 1996).

A magnetização induzida é dada pela equação:

$$M_i \vec{r} = \chi H \vec{r}$$

Onde, χ é a susceptibilidade magnética resultante da contribuição de todos os minerais presentes nas rochas (em geral dominada pelos minerais ferromagnéticos) e $H \vec{r}$ caracteriza ação de um campo magnético local.

Durante o processo de formação, as rochas podem adquirir propriedades magnéticas de forma permanente, mesmo na ausência de um campo magnético externo capaz de estimulá-las (BLAKELY, 1996). Esse tipo de magnetização é conhecido como remanescente e ocorre naturalmente, podendo ser adquirido durante o resfriamento de uma rocha abaixo da temperatura de Curie (magnetização remanescente primária) ou como resultado de um processo de recristalização dos minerais (magnetização remanescente secundária) (KEAREY et al., 2009). Portanto, é crucial considerar essa propriedade ao utilizar qualquer campo magnético na prospecção mineral, uma vez que ambos os tipos de magnetização contribuem para a magnetização total da rocha.

A maioria das rochas é composta por minerais de baixa susceptibilidade magnética, sendo a magnetita, um mineral ferromagnético, responsável pela geração de anomalias magnéticas intensas devido à sua alta susceptibilidade magnética (TELFORD et al., 1990). Devido as rochas básicas e ultrabásicas apresentarem em sua composição minerais ferrimagnéticos são as que representam os maiores valores de susceptibilidade magnética dentre as rochas (KEAREY et al., 2009) (Figura 10).

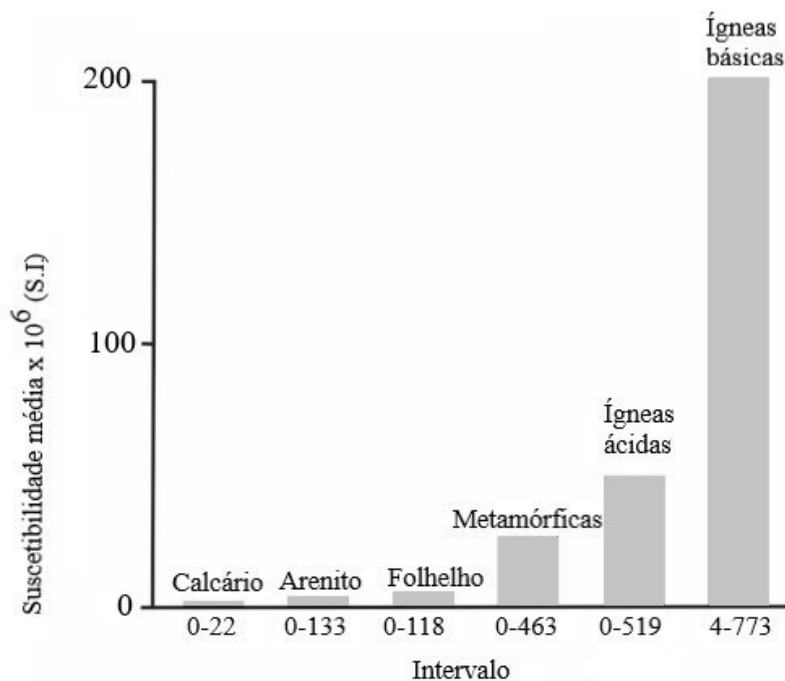


Figura 10 Intervalo e valores médios de suscetibilidade magnética para os principais tipos de rocha. (Fonte: modificado de Kearey et al., 2009)

5.3 Radiometria

A radiometria tem sua origem no estudo da propriedade de certos materiais emitirem partículas ou energia conhecida como radioatividade. A descoberta da radioatividade foi feita por Becquerel em 1896, seguido por Röntgen e seus experimentos que revelaram a existência dos raios X (TELFORD et al., 1990). A gamaespectrometria é um dos métodos geofísicos que se baseia na detecção da radiação gama oriunda dos elementos radioativos presentes naturalmente na composição das rochas. Esta energia ou partículas podem penetrar ou atravessar aproximadamente até 3 metros no solo.

Embora existam pelo menos vinte elementos naturalmente radioativos conhecidos, apenas o urânio, o tório e um isótopo de potássio têm importância na exploração mineral. Outros elementos, como o rubídio, são importantes para a datação de rochas, porém, a maioria ou são muito raros ou fracamente radioativos ou ambos e sua detecção ou uso na geofísica se torna inviável (TELFORD et al., 1990).

A utilização de urânio e tório como combustível em usinas nucleares para a geração de energia gerou um grande impulso para a pesquisa e exploração de jazidas minerais destes materiais, o que levou ao desenvolvimento de técnicas de aquisição, controle de qualidade,

processamento e interpretação dos dados gamaespectrométricos entre as décadas de 1950 a 1980 (TELFORD et al., 1990). As principais fontes de radiação gama que são detectadas pelos levantamentos geofísicos provêm da desintegração dos isótopos potássio (K-40), Bismuto (Bi-214) e Tório (Th-208), que fazem parte das séries de decaimento radioativo dos canais de potássio, urânio e tório respectivamente. Embora não seja possível prever o exato momento em que um átomo irá decair, cada radioisótopo possui uma razão de desintegração específica que é proporcional ao seu número atômico. As estimativas das concentrações de urânio e tório geralmente são referidas na literatura como urânio equivalente (eU) e tório equivalente (eTh). (MINTY, 1997).

De acordo com Nielson et al. (1990), os sensores downward monitoram principalmente as energias contidas nas faixas entre 1,37-1,57 MeV (potássio), 1,66-1,86 MeV (urânio), 2,41-2,81 MeV (tório) e 0,41-2,81 MeV (contagem total). Em contraste, os detectores upward medem exclusivamente a energia contida na faixa de 1,66-1,86 MeV, selecionada para monitorar a radiação gama proveniente do ^{213}Bi , produzido pelo decaimento do radônio atmosférico (Figura 11).

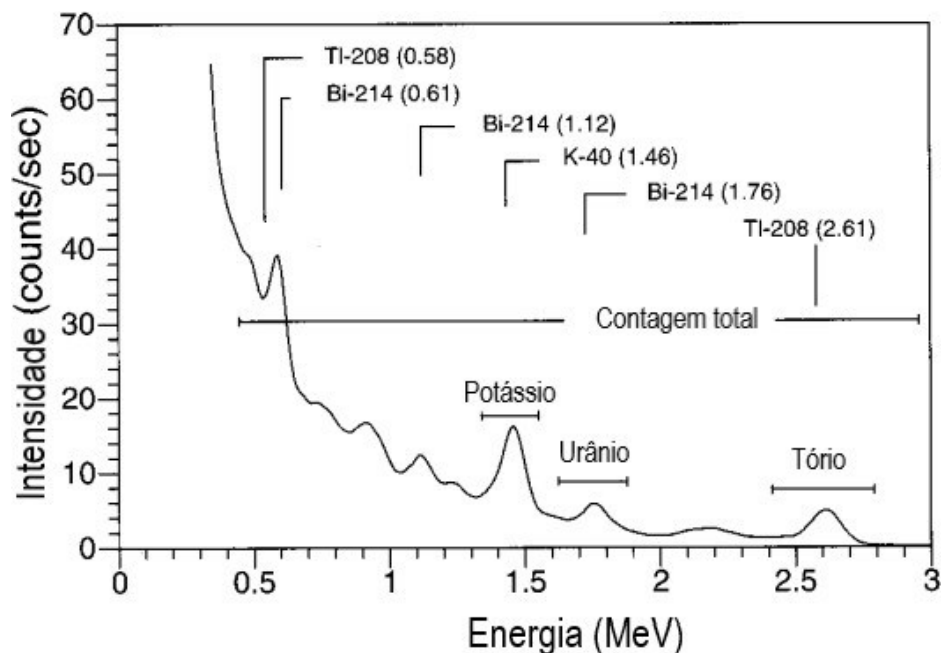


Figura 11 Curva com janela espectral de radioelementos com destaque para os espectros de tório (Th), urânio (U) e potássio (K) (modificado de Minty, 1997).

5.4 Gamaespectrometria e assinaturas geológicas

A gamaespectrometria é um dos métodos mais utilizados para auxílio em trabalhos

geológicos, sua interpretação de dados possui contribuição da distribuição das concentrações de U, Th e K presentes em rochas e solos. Auxilia também a analisar os comportamentos geoquímicos dos litotipos no ambiente (ULBRICH et al., 2009).

O potássio (K) ocorre principalmente em feldspatos potássicos, e micas mais comuns variando biotita, passando por flogopita e chegando muscovita (WILFORD et al., 1997). Devido ao seu raio iônico e mobilidade, o K é lixiviado facilmente dos minerais primários e posteriormente adsorvidos em argilominerais. Em condições de intemperismo, o K é solúvel e tem alta mobilidade principalmente em climas tropicais.

A principal ocorrência do U e do Th se dá em rochas ígneas e metamórficas quartzo feldspáticas, ocorrendo principalmente em minerais acessórios como a monazita, xenotima, zircão, allanita, apatita, dentre outros (Figura 12).

Potássio (K)	
Mineral	(i) Feldspatos ortoclásio e microclínio (ii) Muscovita (iii) Alunita (iv) Silvita, carnalita
Ocorrência	(i) (ii) Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos (iii) Alteração em vulcânicas ácidas (iv) Depósitos salinos em sedimentos
<hr/>	
Tório (Th)	
Mineral	(i) Monazita (ii) Torianita (iii) Torita, uranotorita
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos, gnaisses (ii) (iii) Granitos, pegmatitos, pláceres
<hr/>	
Urânio (U)	
Mineral	(i) Uraninita (ii) Carnotita (iii) Gumita
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos e veios com depósitos de Ag, Pb, Cu, etc. (ii) Arenitos (iii) Associada com uraninita

Figura 12 Principais minerais radioativos e principais ocorrências (modificado de Telford et al., 1990).

Com o incremento de sílica em rochas ígneas, os teores de U, Th e K aumentam de forma considerável, ao passo que em rochas ígneas máficas ou ultramáficas a concentração desses elementos é mais baixa (Figura 13).

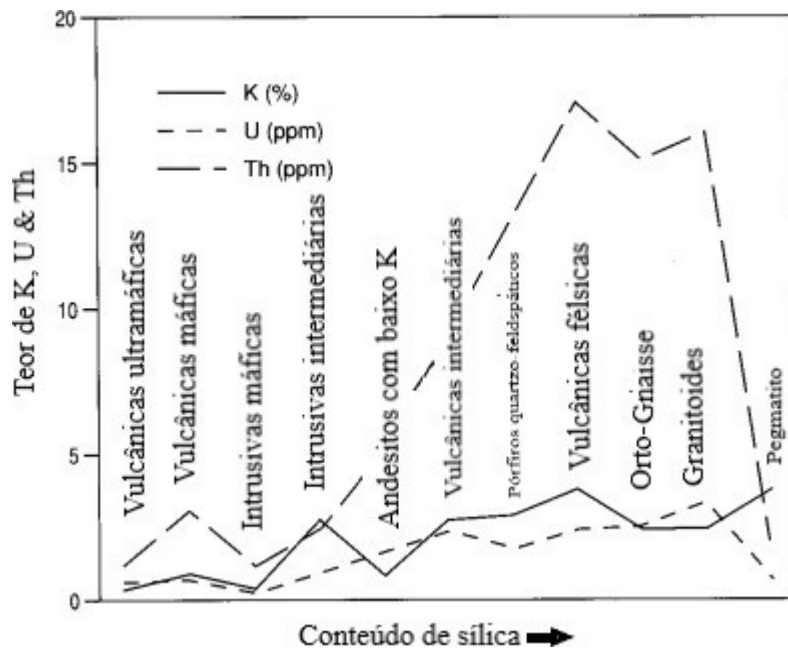


Figura 13 Gráfico de concentração de K, U e Th de acordo com o teor de sílica (modificado de Dickson & Scott, 1997)

Dados de U, Th e K que, em conjunto com o conhecimento geológico e estrutural da área de interesse, pode ser uma importante ferramenta nos mais variados estudos de Ciências da Terra. A partir das contagens individuais, mapas de razões radiométricas de U/Th, U/K e Th/K são confeccionados. Estas podem auxiliar no diagnóstico de mudanças do tipo de rocha, alteração hidrotermal, geomorfologia, variações da concentração do radioelemento dentro de corpos ígneos. Tipos de rochas em uma mesma região podem apresentar distinção entre a concentração de U, Th e K, sendo que suas razões podem indicar os limites dessas concentrações.

A geomorfologia pode ser correlacionada às razões radiométricas, pois regiões topograficamente mais elevadas têm a tendência de concentrar U e Th e o K ser remobilizado (IZA et al., 2018; WILFORD et al., 1997). Tal fator propicia o contraste das razões de U/K e Th/K e menor das de U/Th, podendo auxiliar na individualização de coberturas sedimentares indiferenciadas (IZA et al., 2018)

5.5 Aerolevanteamento

Durante um aerolevanteamento, são sobrevoadas não apenas as linhas de medição, mas também linhas perpendiculares a essas, com um espaçamento maior, chamadas de "Ties" (amarras), que constituem as linhas de controle.

Antes da interpretação dos dados amostrados, é crucial realizar a correção deles devido a fatores como a radiação de fundo da aeronave, a altura efetiva de voo, a radiação cósmica, a correção do erro da paralaxe e a remoção da variação diurna. Essas correções são de extrema importância para evitar possíveis distorções nos dados, que poderiam resultar em anomalias fictícias e, conseqüentemente, em uma interpretação inadequada dos dados (LUYENDIK, 1997).

6. RERENCIAL TEÓRICO PARA OS MÉTODOS INDIRETOS APLICADOS

6.1 Pré-Processamento dos dados

As especificidades de aquisição e o pré-processamento foram obtidos dos relatórios elaborados pela empresa LASA Engenharia e Prospecções S.A., responsável pelo levantamento utilizado neste trabalho, que tem como referência base os padrões definidos pela IAEA – International Atomic Energy Agency e outros materiais referentes aos levantamentos aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos. Nos dados radiométricos usou-se a mínima curvatura e nos magnetométricos a gridagem bidirecional, os dados foram interpolados em perfis paralelos com linhas orientadas, usando mínima curvatura e spline bicúbico para interpolação de amostras nos pontos do grid, de acordo com a malha elaborada do aerolevanteamento. (CODEMIG, 2006)

6.2 Processamento dos dados aerogeofísicos

Nesta etapa após a compilação dos dados tratados anteriormente pela LASA, realizou-se a aplicação de filtros posteriores com o intuito de refinar os produtos, neste tópico serão abordados cada filtro realizado posteriormente neste estudo.

A partir da remoção do IGRF do campo magnético total regional pode se obter o campo magnético anômalo, objeto de interesse na investigação magnetométrica. O mapa de campo magnético anômalo (CMA) tem seu uso difundido para a avaliação das anomalias magnéticas e aplicações de filtros (KEAREY et al., 2009). Neste trabalho esse mapa foi utilizado como base para elaboração de mapas resultantes do processamento através da aplicação dos filtros necessários.

Os dados são ajustados a uma condição de polarização vertical, tornando as anomalias simétricas, aspecto observado somente nos polos magnéticos. Na área de estudo, a inclinação

calculada para o IGRF em 22/02/2006 foi de -26.9 e a declinação -20.18 (GEOSOFT, 2005). Os valores gerados para o cálculo do IGRF podem ser consultados pela página <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>.

Com o auxílio da extensão MAGMAP produziu-se os mapas da primeira derivada horizontal de X (DHX), primeira derivada horizontal de Y (DHY), da primeira derivada vertical de Z (PDV), Amplitude do Sinal Analítico (ASA) – Amplitude do Gradiente Total. Já a extensão CET *Grid analysis* serviu para gerar os lineamentos magnetométricos da poligonal de estudo.

6.3 Derivadas direcionais

Com o intuito de inferir as orientações estruturais e destacar os contatos entre os corpos anômalos, são aplicadas derivadas direcionais que permitem a determinação das retas tangentes a uma dada função ponto a ponto. O recurso é aplicável em grids por serem dados distribuídos espacialmente e comportarem como uma função contínua por partes. A derivada é obtida pela subtração entre dois valores sequenciais e a divisão pela distância entre eles (BLAKELY 1996). Aplica-se a derivada em X para ressaltar feições na direção norte-sul, a derivada em Y resalta feições Leste-Oeste, a derivada em Z remove as influências regionais e salienta as locais, sendo tais aplicações em um sistema de coordenadas projetadas.

A derivada vertical transforma o campo magnético anômalo linearmente por meio de derivada, a primeira da componente vertical z em anomalia magnética realça as altas frequências do sinal analítico. Consiste em estimar a taxa de variação do campo magnético anômalo a medida que se distânciam ou se aproximam verticalmente da fonte causadora. O realce das altas frequências pode fornecer informações sobre os contatos, discontinuidades e lineamentos (BLAKELY, 1996).

6.4 Amplitude do Sinal Analítico (ASA) – Amplitude do Gradiente Total

A amplitude do Sinal Analítico (ASA), também conhecida como amplitude do gradiente total, tem como objetivo evitar as instabilidades matemáticas da redução ao polo em baixas latitudes, sendo representado pela equação:

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial z}\right)^2}$$

Amplitude do Sinal Analítico (ASA), uma vez que este possui característica monopolar,

portanto, seu resultado independe dos parâmetros do campo magnético e da direção da magnetização da fonte.

Essa característica permite nitidez e precisão das feições anômalas, facilitando a análise (NABIGHIAN, 1974).

6.5 Filtragem

Os filtros de frequência distinguem componentes de frequência selecionados de uma forma de onda de entrada e, em termos de sua resposta de frequência, podem ser dos tipos passa-baixa - PB (*low-pass* - LP), passa-alta - PA (*high-pass* - HP), passa-faixa - PF (*band-pass* - BP) ou corta-faixa - CF (*band-reject* - BR). Os filtros de frequência são utilizados quando os componentes de sinal e ruído de uma forma de onda têm diferentes características de frequência e conseqüentemente podem ser separados com base nesses procedimentos. (KEAREY, 2009)

Neste presente estudo utilizou-se apenas um filtro passa-baixa com comprimento de onda de corte em 2000 metros, com o intuito de suavizar qualquer ruído de alta frequência potencial resultante da intensificação de anomalias de superfície.

7. RESULTADOS

7.1 Introdução

Neste capítulo serão mostrados mapas temáticos gerados a partir do processamento dos dados geofísicos, destacando os lineamentos e anomalias magnetométricas e radiométricas. Além disso, será apresentada a integração dos resultados obtidos da caracterização geofísica-geológica.

Este cenário se mostra favorável para a utilização da magnetometria na caracterização de estruturas e controles regionais. Adicionalmente, a região é reconhecida por sua variedade litológica, apresentando rochas intrusivas alcalinas, anfíbolitos, metassedimentares e granitos, tornando a gamaespectrometria uma importante ferramenta para distinção dos diversos domínios. Desta forma, serão exibidos neste trabalho o processamento de dados geofísicos e mapas de magnetometria e gamaespectrometria.

Os mapas radiométricos foram elaborados a partir das concentrações aparentes dos canais radiométricos de potássio, urânio, tório, contagem total e posteriormente a composição ternária RGB, sendo a junção dos 3 radioelementos. Os valores radiométricos foram

convertidos de contagens por segundo (cps) para concentração de elementos (% para K, ppm para eU e eTh e $\mu\text{R/h}$ para o canal de Contagem Total)

Os mapas de concentração são aplicados para avaliação das concentrações relativas dos elementos, um dos principais recursos desse método é diferenciar corpos graníticos, que aparentemente semelhantes, podem ter passado por processos hidrotermais diferentes e a baixa resposta de corpos máficos e ultramáficos (RIBEIRO et al. 2014).

7.2 Análise da gamaespectrometria

Os mapas dos canais de U, K e Th evidenciam as afinidades dos elementos citadas previamente. O mapa de urânio possui uma amplitude de valores entre 0 e 2 ppm contando com uma distribuição variada dentro da poligonal (Figura 14A), já a composição da concentração de potássio exibe valores na porcentagem entre 0,204 a 3,724 com picos maiores nas porções nordeste, leste e sudoeste (Figura 14B). Por fim a composição de tório apresenta valores mínimos de 4,446 ppm e valores máximos de 56,259 com uma notável faixa orientada em sudeste para noroeste, além de uma pequena porção com altos valores na porção sudoeste da poligonal (Figura 14C).

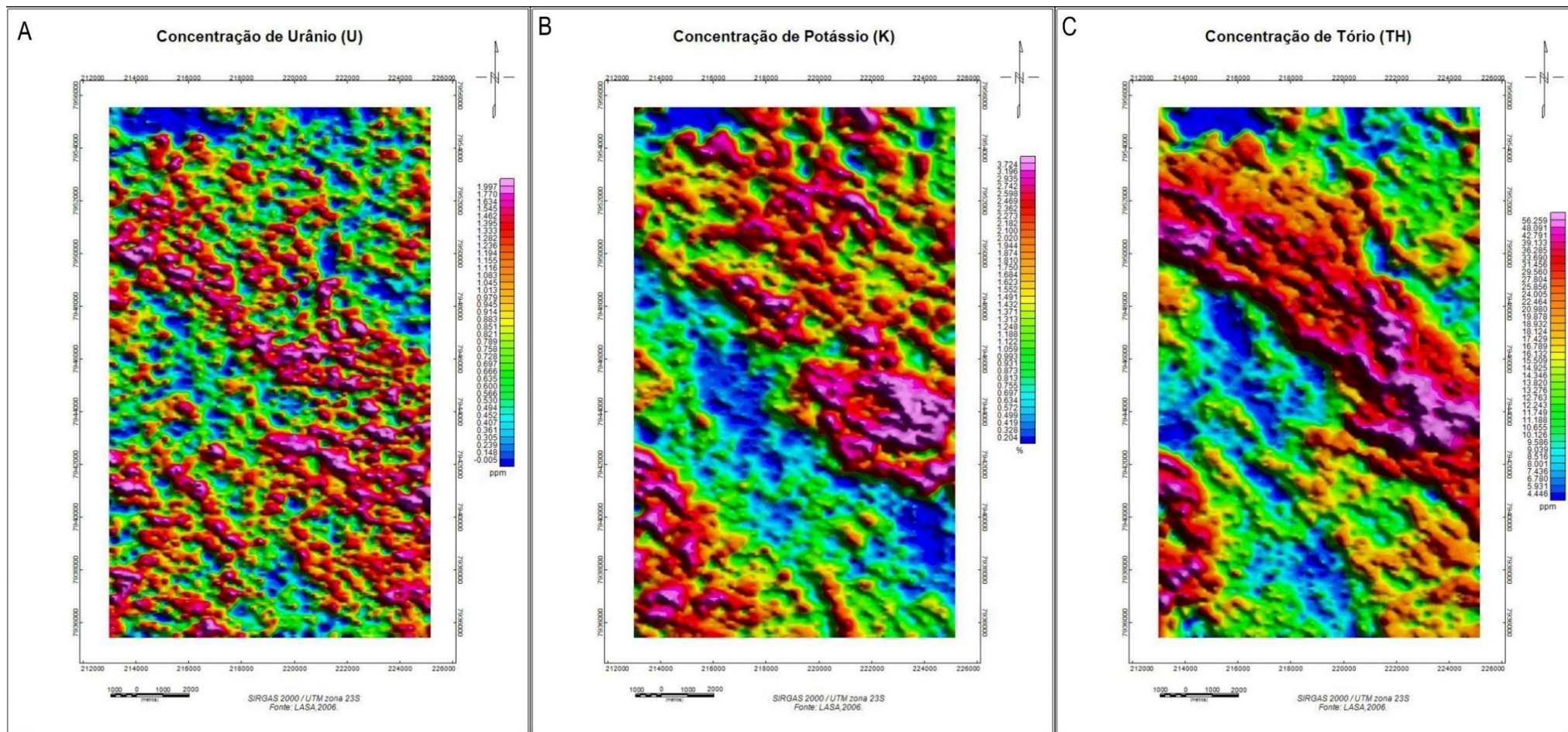


Figura 14A - Mapa do canal de urânio em ppm da área de estudo. Figura 14B - Mapa do canal de concentração de Potássio em porcentagem. Figura 14C - Mapa do canal de concentração de tório em ppm.

Os mapas de contagem total (Figura 15A) e composição ternária em RGB (Figura 15B), evidenciam a concentração total dos elementos nos corpos rochosos e no solo. Na contagem total nota-se que a taxa de radiação medida em varia de 2,310 a 21,438, os picos da taxa emitida se concentram em uma faixa alongada em sentido NW-SE e na extremidade SW possui forma arredondada. A composição ternária retrata as concentrações do elemento eTh na porção central e na extremidade sudoeste, ao modo que a concentração de potássio aparece em evidência na margem nordeste e sul, as concentrações de eU são menores em relação aos outros radioelementos, sendo observado apenas algumas faixas dentro da porção central.

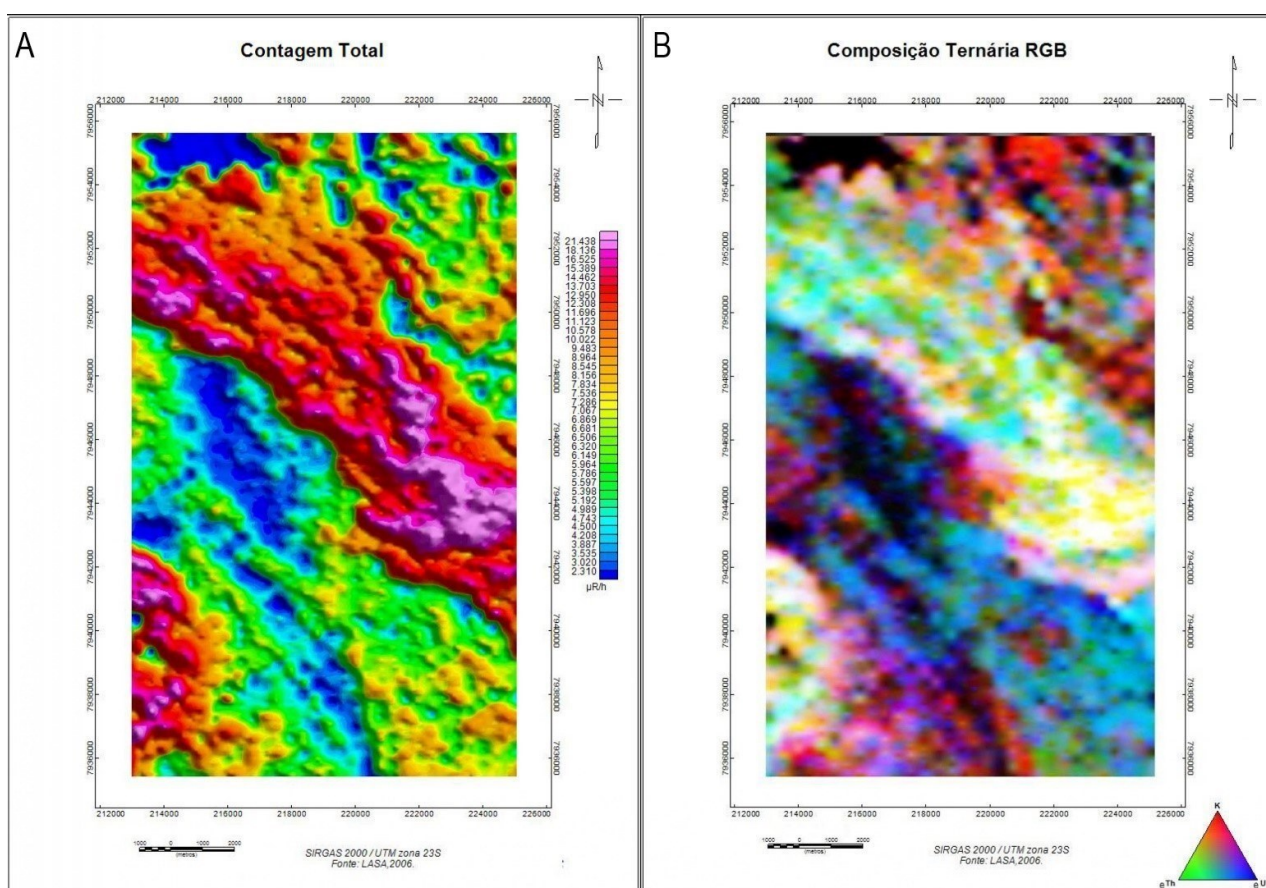


Figura 15A- Mapa de Contagem Total. 15B - Mapa de Composição Ternária RGB

7.3 Análise da magnetometria

Com a finalidade de melhorar a visualização das anomalias e realçar mudanças bruscas das propriedades físicas das unidades geológicas, foram gerados os produtos a partir do Campo Magnético Anômalo (CMA) (Figura 16). As anomalias magnéticas no CMA variam de -19,9 a +51,9 nanoteslas (nT) em relação ao valor de referência do campo magnético terrestre.

As áreas de maior intensidade magnética positiva estão concentradas na porção noroeste

extremidade nordeste da área, enquanto as anomalias negativas são mais proeminentes no setor noroeste.

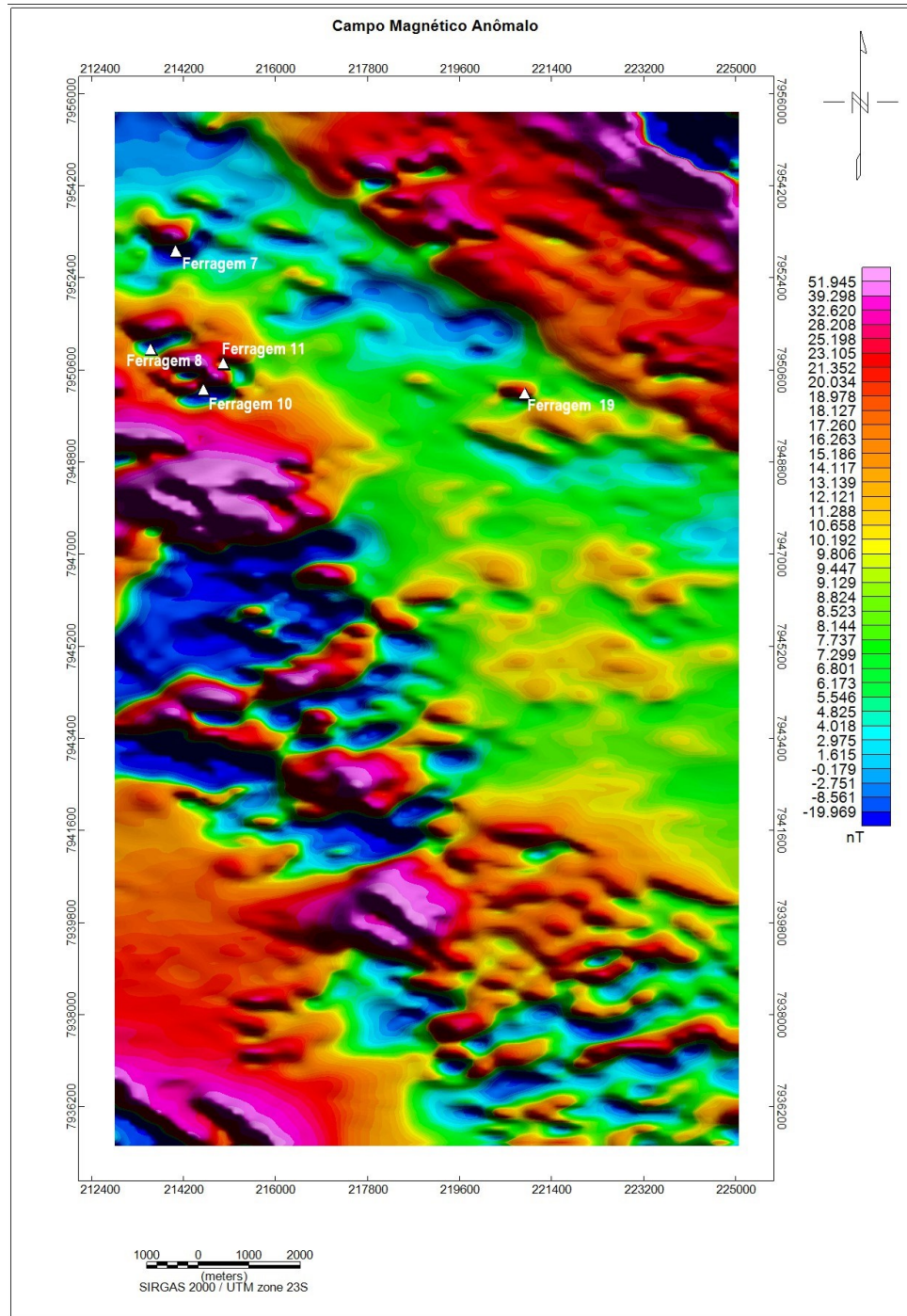


Figura 16 Mapa do Campo Magnético Anômalo da área de estudo

A anomalia Magnética Ferragem 7 demarca um perfil dipolar, amplitude pronunciadas dos polos positivos e negativos, e forma tendendo a circular no polo positivo. Apresenta contraste em seu entorno, maior dimensão espacial e considerável amplitude do campo

magnético. Entretanto, ocorre interferência na resposta magnética regional, mascarando feições de menor amplitude do campo magnético.

Com base no padrão dipolar, as anomalias magnéticas dos corpos intrusivos Ferragem 8, 10 e 11 também indicam as mesmas características do Ferragem 7 (Figura 16). A anomalia do corpo intrusivo Ferragem 19 apresenta em seu entorno valores de magnetismo e propriedade dipolar bem menor aos demais.

Através do mapa de ASA (Figura 17A), calculado através do CMA, foi possível verificar as diferentes intensidades magnéticas e as delimitações das fontes magnéticas, correspondendo ao retrato do padrão magnético regional (Figura 17B). Analisa-se que a variação no mapa local varia de 0,003 nT/m a 250 nT/m e identificar o padrão das estruturas. O padrão morfológico das estruturas aparece como faixas estreitas de intensidade magnética nas extremidades sudoeste e nordeste.

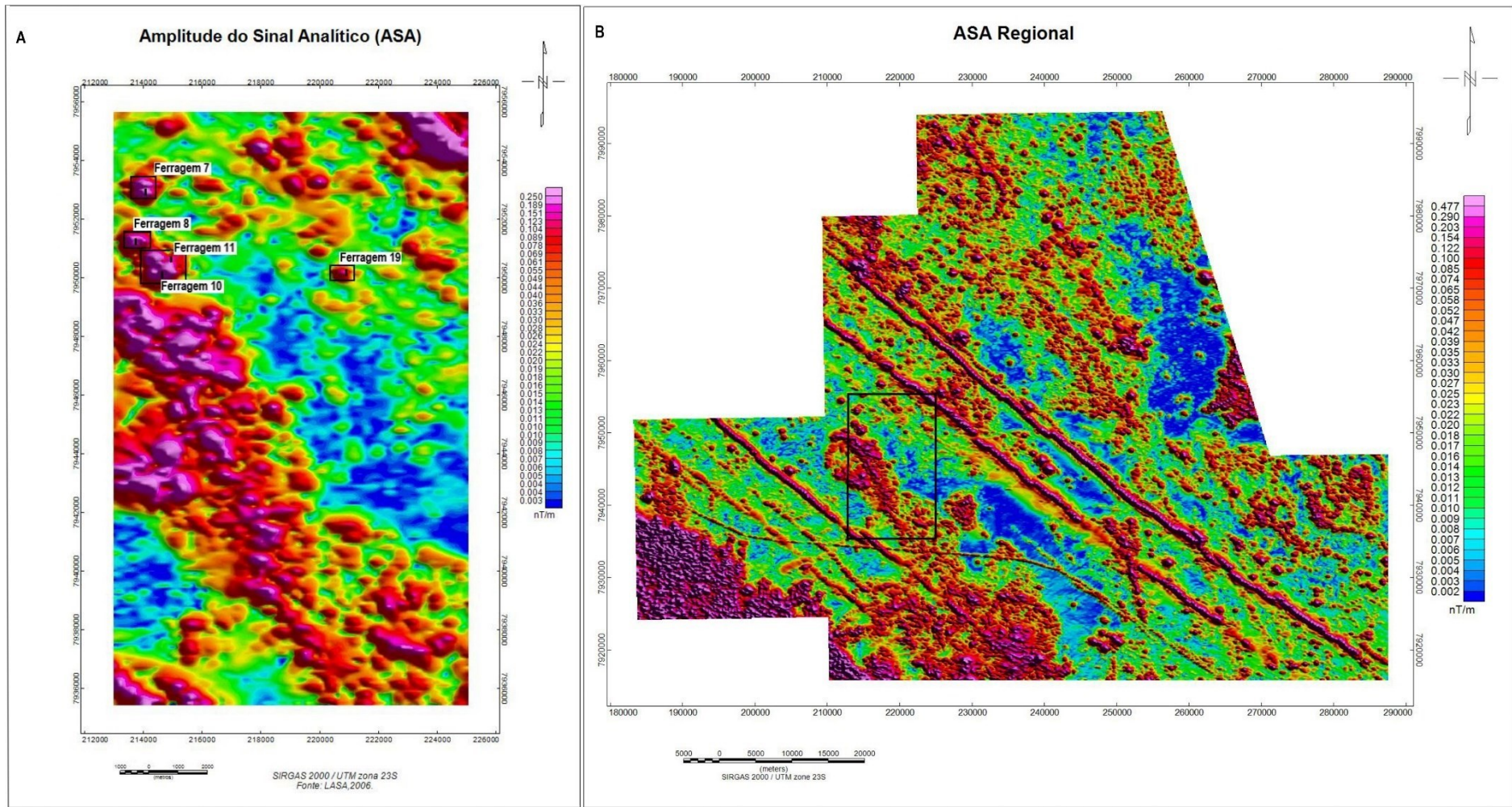


Figura 17A - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) local. Figura 17B - Mapa do ASA Regional

Os lineamentos magnetométricos apresentam a evidência da estruturação regional, onde mantém o padrão estrutural com grande predomínio NW-SE, com apenas alguns lineamentos variando para direção E-W. (Figura 18)

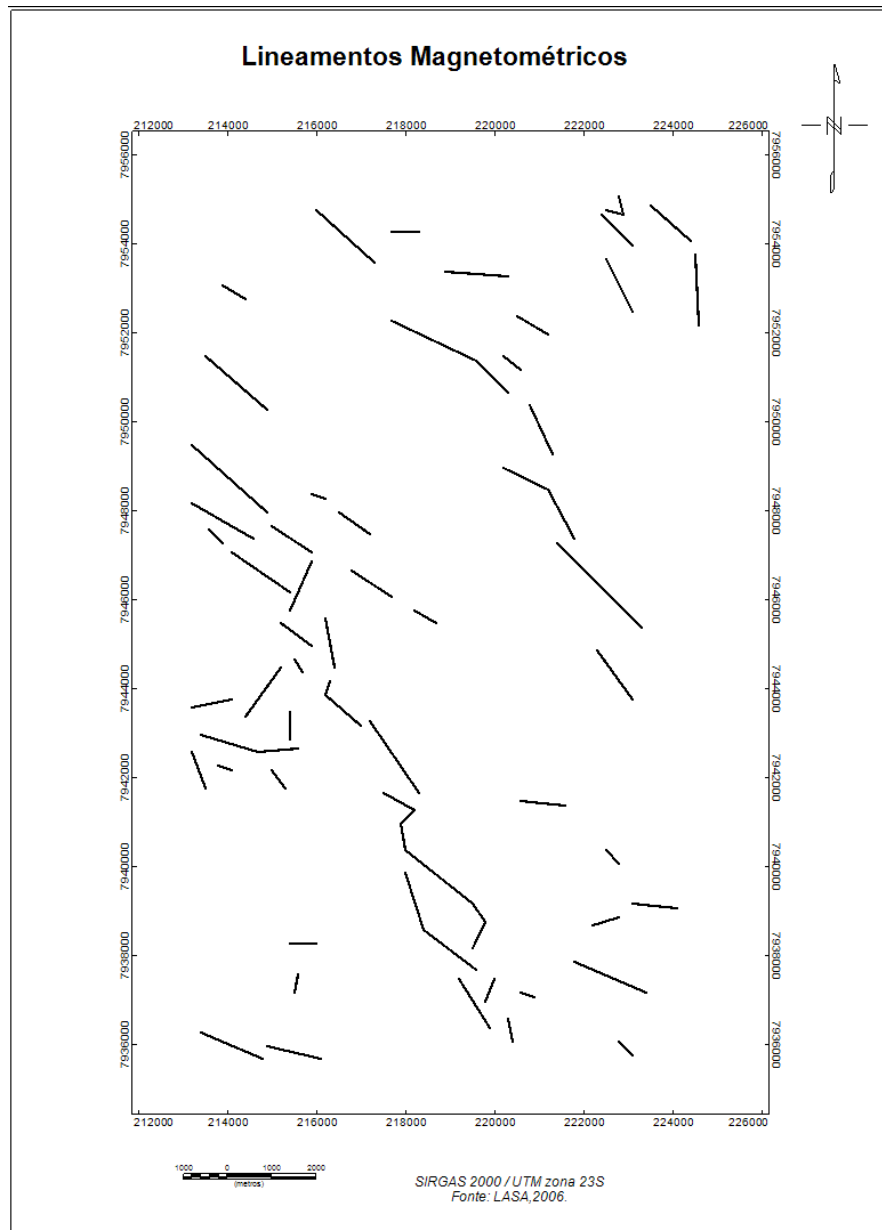


Figura 18 Lineamentos Magnetométricos traçados a partir da extensão *Grid Analysis*.

. Visando compreender melhor as anomalias magnéticas registradas, gerou-se o mapa do processamento (Figura 19) e também um mapa de cunho interpretativo, a partir de três domínios identificados, Domínio A, correspondente aos valores de maior amplitude registrados;

Domínio B, que representam os valores de amplitude intermediária; e Domínio C, compreendendo os valores de amplitude mais baixos.

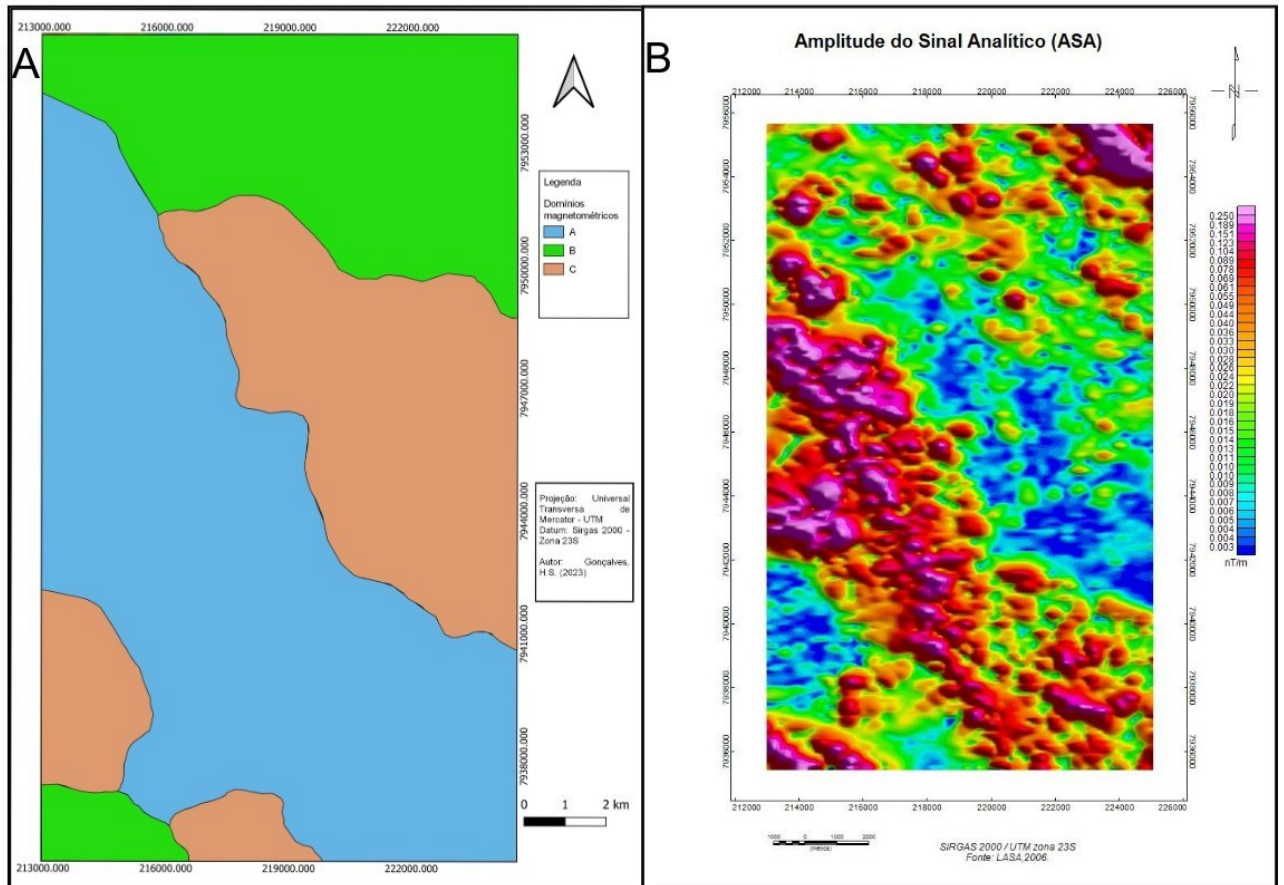


Figura 18A - Mapa interpretativo dos domínios magnetométricos com base no ASA. Figura 18B - Mapa de amplitude do sinal analítico em menor proporção para efeito de comparação ao interpretativo.

Posteriormente a sobreposição das localizações das intrusões ultramáficas no ASA, utilizou-se o filtro de passa-baixa para reduzir os ruídos superficiais, estabeleceu-se um *cut-off* de comprimento de onda em 2000 (as unidades da onda no terreno são medidas em metros), com a finalidade de ressaltar valores mais profundos acima desse valor e suavizar as fontes mais rasas em contraponto (GEOSOFT, 2005; KEAREY et al., 2009), os valores determinados tiveram como base a profundidade média de intrusões ultramáficas alcalinas retratadas por Smith e Skinner (1984).

Neste procedimento os corpos intrusivos apresentam ainda maior distinção, aonde a intrusão Ferragem 19 denota ser mais rasa em comparação as outras intrusões. As intrusões Ferragem 8, 10, 11 aparentam ser componentes de uma mesma anomalia magnética e enquanto

a intrusão Ferragem 7 no mapa sugere-se estar em uma única anomalia (Figura 20).

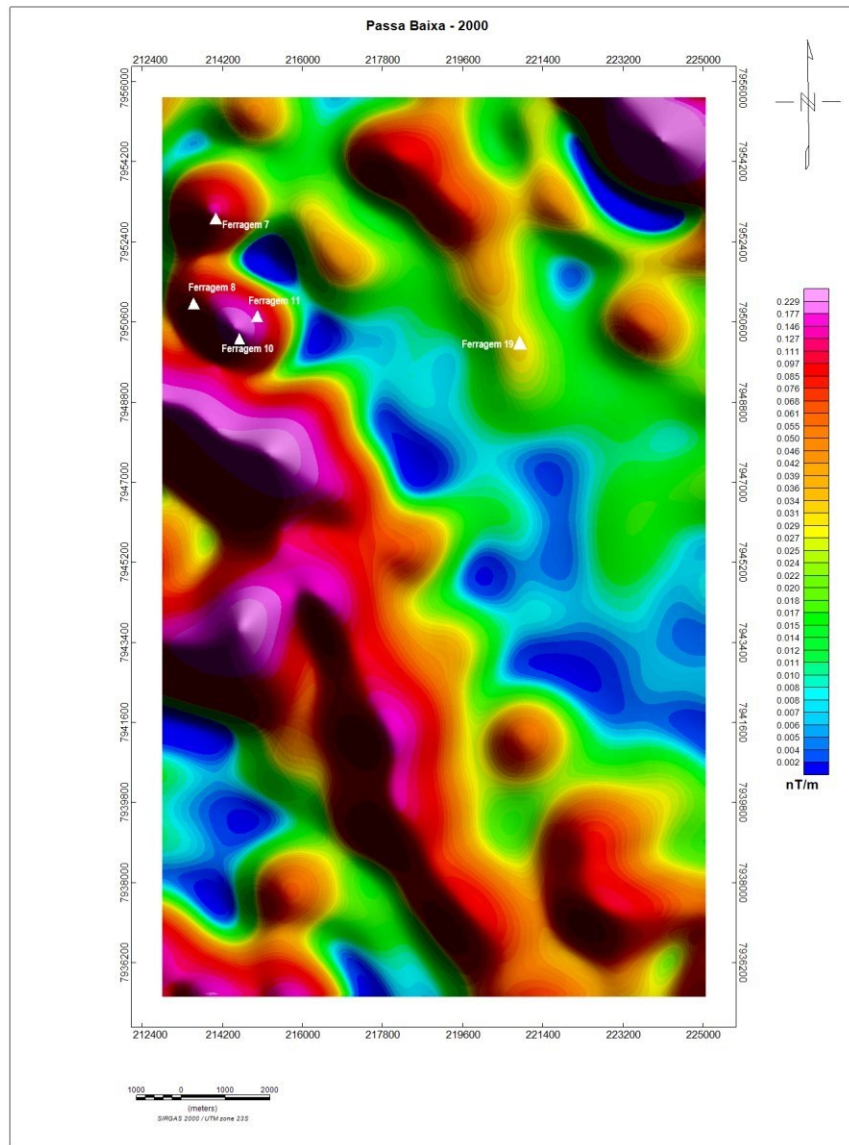


Figura 19 Mapa de filtro passa baixa a partir do ASA com *cut-off* em 2000.

7.4 Integração de dados geológicos e geofísicos

Comparando os resultados qualitativos da magnetometria e da radiometria com o mapa litológico local (Figura 21), percebeu-se, em primeira mão, o fato de que, tanto para o mapa de Amplitude do Sinal Analítico quanto para o mapa de composição ternária, o contraste obtido foi bem definido em três domínios, que representam as zonas aflorantes dos litotipos abordados na geologia local neste estudo.

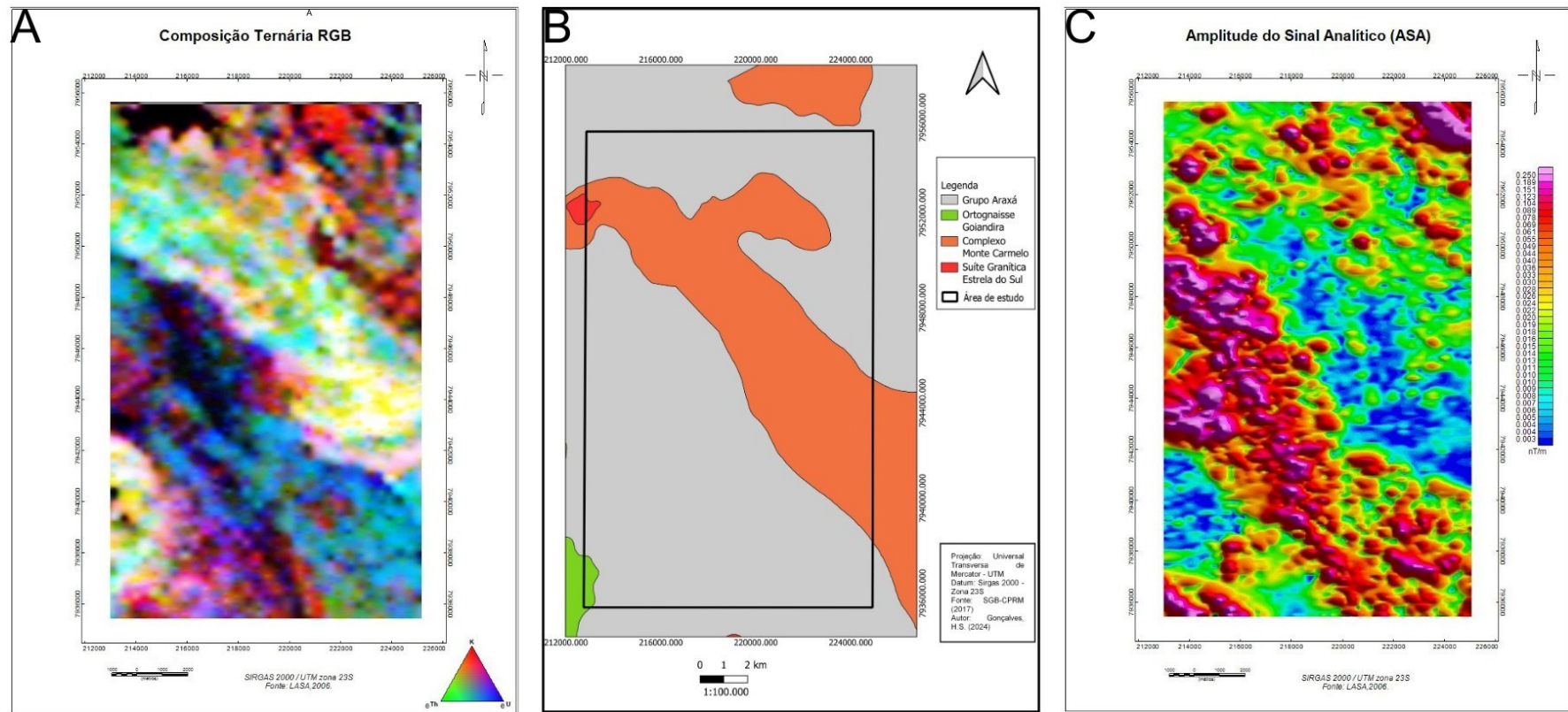


Figura 20 Correlação dos mapas de composição ternária, Figura 20B - Geologia da área. Figura 20C - Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

8. DISCUSSÕES

8.1 Distribuição litológica

Na poligonal de estudo nota-se que os corpos intrusivos alcalinos possuem distribuição concentrada na porção noroeste da poligonal. Os corpos demarcam uma ocorrência em contato com o Grupo Araxá e aos granitoides do Complexo Monte Carmelo, tais ocorrências retratadas também por Cabral Neto et al. (2017) e Aparecido (2024).

8.2 Padrão estrutural da região de estudo

De acordo com os resultados das análises geofísicas obtidas neste trabalho, as distintas direções dos lineamentos identificados podem sugerir que a formação das estruturas foi condicionada aos eventos regionais possui direção preferencial NW-SE, seguindo um padrão da estrutural regional, como demonstra também os lineamentos magnetométricos (Figura 15B), Essa dispersão observada em ambos os produtos da magnetometria e da radiometria e que marcam um padrão NW/SE está, provavelmente, associada ao conjunto de estruturas que compõem o Lineamento AZ 125° (Schobbenhaus et al., 1984) e o magmatismo máfico e alcalino gerado durante o Evento Orogênico Brasileiro (Gonzaga & Tompkins 1991).

O Az 125 caracteriza um conjunto de falhas que propiciaram a ascensão de magma ultramáfico durante o Cretáceo e representa atualmente um dos maiores núcleos de formação de complexos alcalinocarbonatíticos do Brasil (Pereira et al., 2008).

8.3 Discussão da gamaespectrometria

A interpretação litológica por meio de dados gamaespectrométricos enfrenta diversos desafios, decorrentes do comportamento dos elementos durante os processos intempéricos. Em linhas gerais, observa-se que o teor de K (potássio), Th (tório) e U (urânio) tende a aumentar proporcionalmente à quantidade de sílica presente nas rochas ígneas (DICKSON & SCOTT, 1997), entretanto devido à grande variação existente dos radioelementos dentro de cada classe de rocha não é precisa a identificação. A melhor distinção pode ser feita pelo mapa de composição ternária RGB, onde se tem em tons amarelados e verde corpos com afinidade silicática, em tons esverdeados mais escuros as coberturas de solo e em tons alaranjados e avermelhados as rochas do grupo Araxá pela característica do potássio mobilizar-se mais em rochas com afinidade sedimentar e metassedimentar.

Dos isótopos radioativos alvo de estudo na gamaespetrometria, o potássio é o mais comum na constituição das rochas e nem sempre ocorre associado a Th e U. Segundo Ribeiro

(2014) os teores de isótopos radioativos em rochas máficas e ultramáficas é baixo quando comparado com os demais tipos de rochas.

8.4 Discussão da magnetometria

Em razão da presença de corpos intrusivos alcalinos da PIAP na região, denotando anomalias magnéticas positivas que ressaltam sobre os demais tipos rochosos, interpreta-se que na área do estudo se enquadram na assembleia de rochas básicas e ultrabásicas, que representam a série com maiores valores para a susceptibilidade magnética, devido a propensão a formação de magnetita e outros minerais com propriedade magnética, além de ser uma afinidade do caráter litológico dos corpos da PIAP.

Nos mapas magnetométricos, os corpos alcalinos Ferragem 7, 8, 10 e 11 apresentam uma forte anomalia positiva e dipolar, chegando a altos valores para susceptibilidade magnética, o que é observado para na magnetofácies A, onde essa propriedade atinge os maiores índices na área. O corpo intrusivo Ferragem 19 não apresenta as mesmas características dos outros corpos, o mesmo é demarcado em uma zona de média susceptibilidade magnética, representada pelo domínio B, no mapa ASA analisa-se que o mesmo não possui as características de morfologia circular e anomalia magnética elevada, sendo este o de mais complexa caracterização podendo ser uma resposta mais superficial e rasa como ilustra no mapa de passa baixa.

Aparecido (2024) estudou sobre a petrografia do corpo Ferragem 11, onde analisou a intrusão alcalina e sugeriu uma grande semelhança aos kamafigitos encontrados na PIAP, justificando pela mineralogia associada ser compatível ao grupo das rochas kamafigíticas e a ausência de minerais típicos de kimberlitos. Sugere-se que os corpos intrusivos próximos (10, 7 e 8) possuam similaridade, em razão destes corpos apresentarem respostas geofísicas correspondentes marcados por anomalias dipolares positivas e morfologia circulares. Nas análises das anomalias magnetométricas não se foi possível identificar o tipo de magnetização presente nos corpos.

Os picos de anomalia com morfologia linear podem se tratar de respostas mais profundas pertencentes ao Azimute 125° , o qual é caracterizado por denotar diques básicos de grandes dimensões na crosta e um conjunto de falhas que propiciaram a ascensão de magma ultramáfico durante o Cretáceo, sendo proposto que os diques foram posicionados ao longo de uma zona de fraqueza litosférica, (Pereira, 2007). Moraes et al. (2021) estimaram, para a porção sudeste do Lineamento Azimute 125° , onde se enquadra o presente estudo, que as profundidades de superfície Curie apresentam cerca de 42 km.

No contexto das rochas do grupo Araxá, composto por metassedimentares, as emans contêm teores pequenos ou ausentes de material magnético, pois, em geral, os minerais magnéticos têm gênese a partir de processos magmáticos, metamórficos ou hidrotermais. Dessa forma, os possíveis litotipos do Grupo Araxá, Complexo Monte Carmelo e Ortognaisse Goiandira, representam nos mapas magnetométricos, anomalias de mais baixa susceptibilidade magnética, respectivamente os domínios magnetométricos B e C no mapa interpretado do ASA.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da integração dos dados geológicos e geofísicos nesse estudo foi possível abrir espaço para discussões acerca da presença de corpos alcalinos, a relação com o controle estrutural e sua correlação com os domínios traçados, em função das assinaturas radiométricas e magnetométricas.

Neste levantamento geofísico foi possível traçar três domínios magnetométricos e identificar a estruturação principal dos lineamentos que foram gerados a partir da estruturação regional do azimute 125.

Os corpos alcalinos estão situados sob regiões de forte anomalia magnética, evidenciada pelo mapa de ASA, sugerindo afinidade mineralógica magnética. Em adição, os dados analisados a partir do mapa do ASA com passa baixa sugere-se que os corpos Ferragem 7, 8, 10 e 11 apresentam anomalia magnética em forma circular e dipolar na área sendo os mais favoráveis a serem caracterizados como intrusões alcalinas. Sendo o Ferragem 11 já documentado em literatura. O corpo ferragem 19 por não possuir tais características favoráveis, sugere-se o de menor probabilidade de ocorrência intrusiva de forte teor magnético.

Na assinatura radioativa dos elementos K, Th e U não se encontrou tanta significância nos resultados, ao modo que apenas o canal de potássio indicou respostas positivas nas ocorrências dos corpos, entretanto devido a mobilidade do elemento nas rochas implica em uma ocorrência distribuída variada em diversos tipos de litologia, com isso contribuem apenas para denotar a variedade litológica da região, sendo um difícil trabalho a categorização de corpos com variações modais na mineralogia.

Dessa forma, a análise integrada dos métodos magnetometria e gamaespectrometria, constituiu uma sistemática eficiente nos estudos das assinaturas de corpos alcalinos na área, no entanto, abrem diversos questionamentos e frentes para investigar por métodos diretos de análise, sejam eles furos de sondagem, petrografia, análise geoquímica a fim de verificar as

composições mineralógicas e litológicas.

Por fim sugere-se campanhas de campo geológicos (mapeamento e/ou furos de sondagens) na tentativa de caracterizar as litologias presentes nos sinais aerogeofísicos, bem como, à aplicação de geofísica terrestre e/ou usar deconvoluções de Euler, que permitam identificar a profundidade das fontes desses corpos geológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, p. 349–364, 1977

ALMEIDA, F.F.M. et al. Brazilian structural provinces: An introduction. **Earth Science Reviews**, v. 17, n. 1–2, p. 1–29, 1981.

ALMEIDA, F.F.M. et al. **Informações geofísicas sobre o oeste mineiro e seu significado geotectônico**. v.52, n.1, Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1980.

ARAÚJO A.L.N., CARLSON R.W., GASPAR J.C., BIZZI L.A. Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais, Brazil, 2001.

APARECIDO, A. C. B. **Caracterização petrográfica da intrusão alcalina ferragem 11, Grupiara, Minas Gerais**. Monte Carmelo, 2024. 66 p. Trabalho (Conclusão Curso de Geologia), Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo.

BARBOSA, O. Guia das excursões. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1955. p. 3-5.

BROD, J. A. et al. Geoquímica da Sequência Vulcano-Sedimentar de Abadia dos Dourados e Complexo Chapada dos Perdizes, Triângulo Mineiro, MG. **Revista Escola de Minas**, v. 45, n. 1 e 2, p. 164–166, 1992.

BLAKELY, R.J. **Potential Theory in Gravity, and Magnetic Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 441.

CABRAL NETO, I.; NANNINI, F.; SILVEIRA, F. V.; CUNHA, L. M. **Áreas kimberlíticas e diamantíferas do estado de Minas Gerais e regiões adjacentes**. Projeto Diamante Brasil. Brasília: CPRM, 2017.

CHAVES, M. L.; DIAS, C. H. **Relatório Técnico e Mapa Geológico: Folha Estrela do Sul (SE.23-YA-IV)**. Escala 1:100.000. CODEMIG, 2017.

CORDANI, U.G. et al. The significance of the Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of West Gondwana. **Brasilian Journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 583–597, 2013a.

CORDANI, U.G. et al. Was there an Ediacaran Clymene ocean in central South

America?. **American Journal of Science**, v. 313, n. 6, p. 517-539, 2013.

CPRM/CODEMIG. **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**, área 7, Patos de Minas, Araxá, Divinópolis. Belo Horizonte, CPRM/CODEMIG, 2006.

DARDENNE, M.A. The Brasília Fold Belt. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (Eds.), *Proceedings of the 31st International Geological Congress on the Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 231–263, 2000.

DICKSON, B.L.; SCOTT, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

FALCI, A.; CAXITO F.A.; SEER H.J.; VALERIANO C.M.; DIAS P.H.; PEDROSA-SOARES A.C. 2018. Provenance shift from a continental margin to a syn-orogenic basin in the Neoproterozoic Araxá nappe system, southern Brasília belt, Brazil. *Precambrian Research*, 306:209-219.

FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; D'EL-REY SILVA, L.J.H. 1994. Compartimentação Tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário de Camboriú. **Anais**, 1:215-216.

GEOSOFT. *Data Processing and Analysis System for Earth Science Applications: User Guide*. 2005.

GIBSON, S. A. et al. The late cretaceous impact of the trindade mantle plume: Evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n. 1, p. 189–229, 1995.

GONZAGA, G. M., TOMPKINS, L. A. 1991. Geologia do Diamante. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E (editores). **Principais Depósitos Minerais do Brasil, Volume IV, Parte A, Gemas e Rochas Ornamentais**. DNPM/CPRM.

GUARINO, V. et al. U–Pb ages, Sr–Nd- isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. **Chemical Geology**, v. 353, p. 65–82, ago. 2013.

IZA, E. R. H. F.; HORBE, A. M. C.; CASTRO, C. C.; HERRERA, I. L. I. E. Integration of Geochemical and Geophysical Data to Characterize and Map Lateritic Regolith: An Example in the Brazilian Amazon. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v.19, p. 3254–3271, 2018.

KEAREY, P.; BROOKS, M; HILL, I. **Geofísica de exploração**. Oficina de textos, 2009.

KLEIN, P.B.W. **Geoquímica de Rocha Total, Geocronologia de U-Pb e Geologia Isotópica de Sm-Nd das Rochas Ortognáissicas e Unidades Litológicas Associadas da Região Ipameri – Catalão (Goiás)**. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2008. 155p.

LANZA, R.; MELONI, A. **The Earth's Magnetic Field**. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

LI, X., Understanding 3D Analytic Signal Amplitude. **Geophysics**, v. 71, n.2, p.13–16, 2006.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge University Press, 2007.

LUYENDYK, A. P. J. Processing of airborne magnetic data. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 31-38, 1997.

MARANGONI, Y. R.; MANTOVANI, M. S.M. Geophysical signatures of the alkaline intrusions bordering the Paraná Basin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 41, p. 83-98, 2013.

MENDES, M. N. **Análise geofísica-estrutural no extremo norte do Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço**. Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, MG, 2016

MINTY, B. R. S.; LUYENDYK, A. P. J.; BRODIE, R. C. Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 51-62, 1997.

MORAES ROCHA, L.G., PIRES, A.C.B., Geophysical characterization of the Azimuth 125° lineament with aeromagnetic data: contributions to the geology of central Brazil, **Precambrian Research**. 2014.

MORAES, L.G.M et al. **Investigação magnetométrica do lineamento Azimute 125°**. CPRM, 2021.

NABIGHIAN, M. N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, v. 39, n. 1, p. 85-92, 1974.

NAVARRO, G. R. B. et al. Química mineral e estimativas de pressão e temperatura em rochas metassedimentares do grupo Araxá na região de Morrinhos, sul do estado de Goiás. **Geologia USP. Série Científica**, v. 11, n. 2, p. 03-20, 2011.

NICOLET, J. P.; ERDI-KRAUSZ, G. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. 2003.

PEREIRA, M.A.M. et al. Análise de mapas geofísicos temáticos como ferramenta para identificação das possíveis áreas fonte dos diamantes de Estrela do Sul/MG. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/4960.pdf>>.

PEREIRA, R.S. **Cráton do São Francisco – Kimberlitos e Diamantes**. Tese – UnB. Brasília, 2007.

PEREIRA, R. et al. Evidence of young, proximal and primary (YPP) diamond source occurring in alluviums in the Santo Antônio do Bonito, Santo Inácio and Douradinho rivers in Coromandel region, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, p. 383-401, 2017.

PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 355-368.

PINHO, J.M.M.; FÉBOLI, W.L.; TULLER, M.P.; BRITO, D.C.; RIBEIRO, J.H.; BAPTISTA, M.C.; SILVA, R.N. **Geologia e recursos minerais das folhas: Cabeceira Grande, Unai, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, GuardaMor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Patos de Minas**. CPRM, Belo Horizonte, 2017. 358p. Relatório.

RIBEIRO, V.B.; MANTOVANI, M.; LOURO, V.H.A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terra Didática**, v. 10, n. 1, p. 29-51, 2014.

SANTOS, B.L. **Petrologia e geologia estrutural da faixa Brasília na região de Estrela do Sul-MG: Implicações tectônicas**. Rio Claro. 2019. 138 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista.

SANTOS, B.L.; SIMOES, L. S. A.; SEER, H. J. Evolução estrutural do domínio interno da faixa Brasília meridional na região de Estrela do Sul, Minas Gerais, Brasil. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 02, p. 287-305, 2021.

SCHOBHENHAUS, C.; Campos, D.A. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. **Geologia do Brasil**, p. 9-53, 1984.

SEER, H.J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinfoma de Araxá, Minas Gerais**. 1999, 267p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

SEER, H.J., BROD, J.A., FUCK, R.A., PIMENTEL, M.M., BOAVENTURA, G.R., DARDENNE, M.A., 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: Um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na Faixa de Dobramentos Brasília. **Revista Brasileira de Geociências** 31 (3), 385–396.

SEER, H.J.; MORAES, L. M. 2013. Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, **Brazilian Journal of Geology** 43(2): 333-354, June 2013.

SEER, H.J.; MORAES, L. C. 2017. **Geologia Regional do Triângulo Mineiro**. Projeto Triângulo Mineiro. CODEMIG-CPTMTC/UFMG, 123p.

SGARBI P.B.A., HEAMAN L.M., GASPAR J.C. U-Pb perovskite ages for Brazilian

kamafugitic rocks: Further support for a temporal link to a mantle plume hotspot track. **Journal of South American Earth Sciences**, 2004

SIMÕES, L. S. A. **Evolução tectonometamórfica da nappe de Passos, Sudoeste de Minas Gerais**. 1995. 149 f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995

SMITH, B.H.S., SKINNER, E.M.W. Diamondiferous lamproites. **Journal of Geology**, v.92, p.433-438, 1984.

SMITH, Richard S.; FOUNTAIN, David K. Geophysics and Diamond Exploration-A Review. **Geotrex-Digheem, Canada**, 1999.

TELFORD, W.M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

UHLEIN, A.; FONSECA, M.A.; SEER, H.J.; DARDENNE, M.A. Tectônica Da Faixa De Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, v. 20, n. 2, p. 1–14, 2012

ULBRICH H.H.G.J.; ULBRICH M.N.C.; FERREIRA F.J.F.; ALVES L.S.; GUIMARÃES G.B.; FRUCHTING A. Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U. **Geologia USP: Série Científica**, v. 9, n.1, p.33-53, 2009.

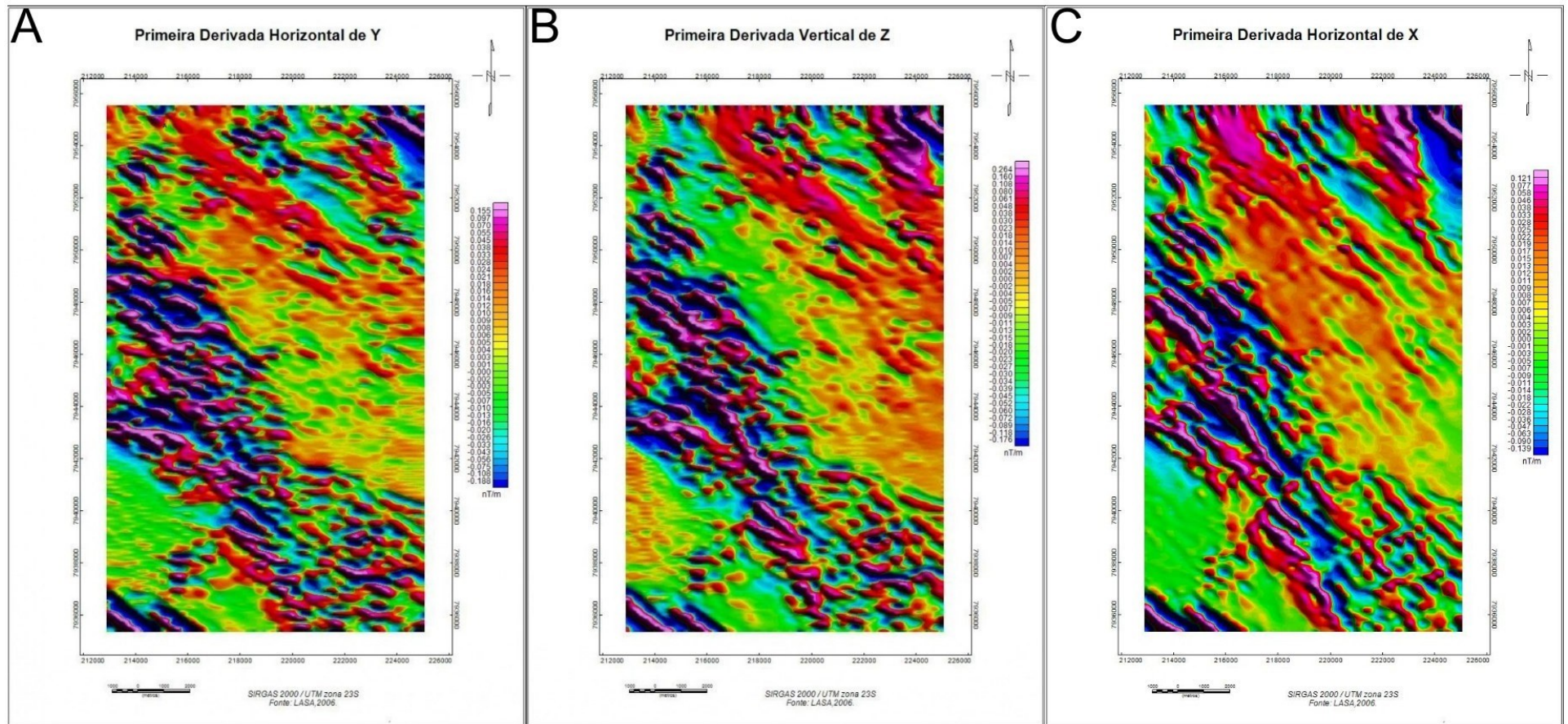
VALERIANO C.M.; SIMÕES L.S.A. 1997. Geochemistry of Proterozoic mafic rocks from the Passos nappe (Minas Gerais, Brazil): tectonic implications to the evolution of the southern Brasilia belt. **Revista Brasileira de Geociências**, 27:99-110.

VALERIANO C.M.; DARDENNE M.A.; FONSECA M.A.; SIMÕES L.S.A.; SEER H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, São Paulo, p.575-593.

WILFORD, J.R.; BIERWIRTH, P. N.; CRAIG, M. A. Application of Gamma-Ray Spectrometry in Soil/Regolith Mapping and Geomorphology. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, p. 201-216, 1997.

ANEXOS

Anexo 1A- Derivada Horizontal de Y. Anexo 1B- Derivada Vertical de Z. Anexo 1C – Derivada Horizontal de X



Anexo 2 – Inclinação do Sinal Analítico (ISA)

