CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS/ CAMPUS ARAXÁ – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS – MESTRADO PROFISSIONAL

MARLOS ELIAS BORGES

MODELAGEM GEOLÓGICO-GEOFÍSICA DA ANOMALIA MAGNÉTICA DE PRATINHA I E SUAS IMPLICAÇÕES

ARAXÁ-MG

2023

MARLOS ELIAS BORGES

MODELAGEM GEOLÓGICO-GEOFÍSICA DA ANOMALIA MAGNÉTICA DE PRATINHA I E SUAS IMPLICAÇÕES

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer.

Co-orientador: Dr. Marcelo Henrique Leão-Santos.

ARAXÁ-MG

2023

ATA DA 19ª DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS – MESTRADO PROFISSIONAL

Aos 18 (dezoito) dias do mês de maio do ano de 2023 (dois mil e vinte e três), às 14h30min (quatorze horas e trinta minutos), através da Plataforma Microsof TEAMS, *sob a forma totalmente remota (Resolução CPPG 08/2020, de 09/07/2020; Resolução CEPE 09/2020, de 17/11/2020)*, foi instalada a Sessão Pública para a Defesa de Dissertação do Mestrando ***Marlos Elias Borges***, sendo a banca examinadora composta pelo **Prof. Dr. Hildor José Seer** (Presidente) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET- MG, **Prof. Dr. Paulo Roberto Antunes Aranha** (Membro externo) – Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG-MG e **Prof. Dr. Allan Erlikhman Medeiros Santos** (Membro interno) - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP-MG. Dando início aos trabalhos o Presidente, com base no Regulamento do Programa e nas Normas que regem as Sessões de Defesa de Dissertação, concedeu ao Mestrando ***Marlos Elias Borges***, até 40 (quarenta) minutos para a apresentação do seu trabalho intitulado "MODELAGEM GEOLÓGICO-GEOFÍSICA DA ANOMALIA MAGNÉTICA DE PRATINHA I E SUAS IMPLICAÇÕES", na Área de Concentração: *Engenharia de Minas* e Linha de Pesquisa *Geologia de Engenharia na Mineração*. Terminada a exposição, o Presidente da Banca examinadora passou a arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a Sessão, o Presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora procedesse a análise e decisão, anunciando, a seguir publicamente, que o Mestrando foi aprovado com recomendações,por unanimidade. Para constar, foi lavrada a presente ATA que, após aprovada, vai assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo Mestrando.

Araxá, 18 de maio de 2023

Prof. Dr. Hildor José Seer
Presidente (CEFET-MG)

Prof. Dr. Paulo Roberto Antunes Aranha
Membro externo (UFMG-MG)

Prof. Dr. Allan Erlikhman Medeiros Santos
Membro interno (UFOP-MG)

Engº Marlos Elias Borges
Discente

Borges, Marlos Elias
B732m Modelagem geológico-geofísica da anomalia magnética de Pratinha I e suas implicações / Marlos Elias Borges. – 2023.
115 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer.
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Leão-Santos.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Araxá, 2023.
Bibliografia.

1. Geologia estrutural – Minas Gerais – Teses. 2. Geofísica – Teses. 3. Província Alcalina do Alto Paranaíba – Teses. 4. Anomalia magnética de Pratinha I – Teses. I. Seer, Hildor José. II. Leão-Santos, Marcelo Henrique. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. IV. Título.

CDU 551.243:550.3

Ficha elaborada pela Biblioteca – *Campus* Araxá – CEFET-MG
Bibliotecária: Gleisa Mara Alves CRB-6/1713

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARLOS ELIAS BORGES

MODELAGEM GEOLÓGICO-GEOFÍSICA DA ANOMALIA MAGNÉTICA DE PRATINHA I E SUAS IMPLICAÇÕES

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas.

Presidente e Orientador: Hildor José Seer
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Paulo Roberto Antunes Aranha
Universidade Federal de Minas Gerais

Membro Titular: Allan Erlikhman Medeiros Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

ARAXÁ-MG

2023

RESUMO

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) é uma região do sudeste do Brasil onde ocorre um conjunto de estruturas circulares que resultaram de magmatismo alcalino ocorrido no Cretáceo Superior. Os processos intrusivos modificaram a geometria das estruturas rúpteis e dúcteis impressas nas rochas da Faixa Brasília desde tempos pré-Cretáceos. A PIAP possui intrusões alcalino-carbonatíticas que se caracterizam pela presença de anomalias magnéticas associadas. A anomalia magnética de Pratinha I, foco desta dissertação, é uma destas intrusões alcalinas, que apresenta uma anomalia magnética tripolar de cerca de 50 km de diâmetro e que não possui um corpo ígneo aflorante. Deste modo, a melhor forma de abordar esta anomalia e compreender sua origem e dimensão é utilizando métodos indiretos, como a geofísica, e por meio de observação direta de afloramentos de rochas na superfície através da geologia estrutural. O estudo da geologia estrutural tenta entender como, ou se, a intrusão causou alterações na geometria de estruturas rúpteis e dúcteis nas proximidades da intrusão, mesmo que ela se localize em profundidade, além de servir de base para futuros trabalhos, caso o corpo venha a ser explotado. O estudo da geologia estrutural envolveu a utilização de modelo digital de elevação e imagens de satélite para a coleta de lineamentos regionais e foi complementado com trabalho de campo para coleta de dados de deformação rúptil próximos da anomalia. O estudo geofísico foi feito por meio de filtros como o Gradiente Total e Inclinação do Sinal Analítico para determinar os limites aproximados, assim como lineamentos magnéticos próximos. De forma complementar foram realizadas três inversões sem restrição dos dados magnéticos pelo método MVI para determinar a profundidade assim como a dimensão da intrusão. Três modelos de inversão foram gerados onde se variou o tamanho de célula com dimensões de 250x250x583, 500x500x680 e 1000x1000x925. As três inversões apresentaram dados similares de forma, profundidade (de aproximadamente dois quilômetros) e volume (entre 527 Km^3 e 762 Km^3). Foi possível observar que a intrusão não afetou a geometria das estruturas dúcteis encontradas em superfície, mas possivelmente alojou-se ao longo de lineamentos regionais de orientação aproximadamente E-W, uma vez que suas extremidades E e W acham-se alongadas segundo a modelagem geofísica. Desta forma é possível

estimar a dimensão e profundidade esperadas, assim como aspectos gerais da formação de Pratinha I.

Palavras-chave: Província Alcalina do Alto Paranaíba, anomalia magnética de Pratinha I, aeromagnetometria, geologia estrutural.

ABSTRACT

The Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) is a region in southeastern Brazil where a set of aligned circular structures occurs that resulted from alkaline magmatism that occurred in the Upper Cretaceous. Intrusive processes have modified the geometry of brittle and ductile structures imprinted on the rocks of the Brasília Belt since pre-Cretaceous times. APIP has alkaline-carbonatite intrusions that are characterized by the presence of associated magnetic anomalies. The Pratinha I magnetic anomaly, the focus of this dissertation, is one of these alkaline intrusions, which presents a tripolar magnetic anomaly of about 50 km in diameter and which does not have an outcropping igneous body. Thus, the best way to approach this anomaly and understand its origin and dimension is through indirect methods, such as geophysics, direct observation of outcrops, through structural geology. The study of structural geology tries to understand how, or if, the intrusion caused changes in the geometry of brittle and ductile structures in the vicinity of the intrusion, even if it is located in depth, in addition to being able to serve as a basis for future work, in case the body comes to be exploted. The structural geology study involved the use of a digital elevation model and satellite images to collect regional lineaments and was complemented with field work to collect brittle deformation data near the anomaly. The geophysical study used filters like Analytic Signal and Tilt Derivative to determine the limits and magnetic lineaments near the body. In a complementary way, three unconstrained magnetic data inversions using the MVI method to determine the depth as well as the size of the intrusion. Three inversion models were generated varying the cell size with dimensions of 250x250x583 m, 500x500x680 m, and 1000x1000x925 m. The three inversions presented similar data in shape, depth (about two kilometers) and volume (between 527 km³ and 762 km³). It was possible to observe that the intrusion did not affect the geometry of the ductile structures found on the surface, but possibly lodged along regional lineaments with approximately E-W orientation, since their E and W extremities are elongated according to geophysical modelling. In this way, it is possible to estimate the expected size and depth, as well as general aspects of the Pratinha I formation.

Keywords: Alto Paranaiba Alkaline Province, Pratinha I Magnetic Anomaly, aero magnetometry, structural geology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Campo Magnético Anômalo, limites aproximados das anomalias magnéticas de Pratinha I e Pratinha II destacados em amarelo. 14
Figura 2 - Mapa do Gradiente Total das anomalias próximas a Pratinha pertencentes a Província Ígnea do Alto Paranaíba destacadas em azul. 15
Figura 3 - Mapa geológico da Província Ígnea do Alto Paranaíba com a localização dos complexos alcalino-carbonatíticos e derrames kamafugíticos acrescido da projeção em superfície do corpo magnético de Pratinha I. Modificado de: Oliveira *et al*. (2004) *apud* Eberhardt (2014). 17
Figura 4- Mapa de Minas Gerais com o município de Pratinha destacado. Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1108464>. Acesso em: 18/07/22. 19
Figura 5 - Quadro geral das relações tectono-estratigráficas e seus contatos tectônicos compostos por zonas de cisalhamento na sinforma de Araxá. Fonte: Seer (1999). 20
Figura 6 - Estereograma da Foliação principal (S_3) no domínio II (Pratinha pertence a esse domínio). Fonte: Seer & Moraes (2011). 21
Figura 7 - Estereograma (A) e Diagrama de roseta (B) do fraturamento regional. Fonte: Seer & Moraes (2011). 21
Figura 8- Mapa geológico do Complexo Alcalino-carbonatíticos de Araxá. Fonte: Biondi, 2003. 22
Figura 9 - Diagramas de roseta para as fraturas (preto) e diques (cinza) no complexo do Barreiro. Fonte: Moraes et. al. (2008). 23
Figura 10 - Geologia do Complexo Mineral de Tapira. Fonte: http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras. Acesso em: 28/06/2022. 24
Figura 11 - Perfil geológico da mina de Tapira. Fonte: Brod et. al. (2000). 25
Figura 12 - Diagrama de roseta (a) e estereograma (b) do fraturamento em Tapira. Fonte: Campos (2022). 25
Figura 13 - Mapa do gradiente total contendo a separação aproximada dos Complexos Serra Negra e Salitre I, II e III. Fonte: Borges (2018). 26
Figura 14 - Mapa geológico esquemático do complexo de Serra Negra com base em amostras de sondagem, petrografia e amostras e interpretações geoquímicas. Fonte: Grasso (2010). 27
Figura 15 - Mapa geológico do complexo Salitre I. Fonte: Barbosa *et al*. (2012). 28
Figura 16 - Principais padrões de fraturas no complexo Salitre I. Fonte: Borges *et al*. (2019). 29
Figura 17 - Fotografia aérea de parte do Complexo de Salitre I, com estereogramas da deformação rúptil localizados na posição geográfica onde os dados foram coletados. Fonte: Borges (2018). 30
Figura 18 - Foto aérea do complexo de Catalão I, destacando os depósitos presentes, o anel de quartzitos e xistos do grupo Araxá que o cerca, assim como padrões de fraturamento identificados. Fonte: Ribeiro (2008). 31
Figura 19 - Tipos de fraturamento. Fratura de cisalhamento (*shear fracture*) e fraturamentos extensionais dos tipos junta (*joint*) e fissura (*fissure*). Fonte: Fossen (2015). 34
Figura 20 - Elementos geométricos das falhas. Fonte: Fossen (2012). 35

Figura 21 - Diagrama vetorial ilustrando entre os componentes de magnetização induzida (Ji), remanente (Jr) e total (J). Fonte: Kearey *et al*. 2002. 37
Figura 22 - Variação da intensidade do Campo Magnético Internacional (IGRF) em 2004. Fonte: Dentith & Mudge (2014). 38
Figura 23 - Variação da inclinação do campo magnético da Terra de acordo com a latitude. Fonte: Kearey *et al*. 2002. 39
Figura 24 - Variação da declinação do modelo atual do IGRF em graus. Fonte: BGS (2019). 40
Figura 25 - Variação de inclinação do modelo IGRF em graus. Fonte: BGS (2019). ... 40
Figura 26- Intensidade do campo magnético gerado por um corpo (e) em diferentes inclinações magnéticas: a) Inclinação nos pólos=90°; b) Inclinação hemisfério norte=+45°, c) Inclinação no Equador=0°; e d) Hemisfério Sul=-45°. Fonte: Dentith & Mudge (2014). 41
Figura 27 - Mapa esquemático representando as zonas onde o método de redução ao polo se torna ineficiente devido à baixa inclinação magnética. Fonte: Rocha (2009)... 43
Figura 28 - Ilustração da discretização utilizada em problemas geofísicos de inversão em 1D, 2D e 3D. Dentro da célula se assume que a propridade física é constante. Fonte: Oldenburg e Li (2005). 47
Figura 29 - - Fluxograma do processamento dos dados aeromagnéticos. Os processos em verde foram realizados pela CODEMIG, os processos em azul foram realizados neste trabalho. 49
Figura 30 - Mapa das linhas de voo realizadas pela CODEMIG durante a coleta de dados geofísicos na cidade de Pratinha-MG. 50
Figura 31 - Mapa de vias de acesso para facilitar o deslocamento em campo na região da anomalia magnética de Pratinha. Fonte da imagem de satélite: CNES Airbus (2021). 52
Figura 32 - Comparação entre estruturas coletadas em mapas de relevo sombreadas (A) e imagens de satélite (B). Fonte: Ribeiro *et al*. (2011). 53
Figura 33 - Fotografia tirada durante o trabalho de campo em quartzito aflorante no ponto MP7 (esquerda) e Diagrama de roseta dos 47 fraturamentos coletados no ponto (direita). 55
Figura 34 - Mapa de vias de acesso e pontos de coleta do trabalho. Fonte da imagem de satélite: CNES Airbus (2021). 56
Figura 35 - Lineamentos obtidos na análise do mapa de relevo sombreado. 60
Figura 36 - Diagrama de roseta dos lineamentos coletados por análise de imagem para a região de Pratinha. 61
Figura 37 - Diagramas de roseta de todos os lineamentos identificados em Tapira (a) e somente dos com persistência superior a 1Km. Fonte: Campos (2022). 62
Figura 38 - Mapa do Gradiente Total com a delimitação da anomalia magnética de Pratinha I utilizada para locomoção durante o trabalho de campo com a direção do mergulho das foliações nos pontos de pesquisa em campo. 63
Figura 39 - Estereograma das foliações observadas regionalmente por Seer & Moraes (2011) (A) e neste trabalho (B). 64
Figura 40 - Mapa dos Pontos de Amostragem com diagrama de roseta dos fraturamentos coletados em cada ponto. 64
Figura 41 - Mapa dos pontos de amostragem com os estereogramas dos fraturamentos dos respectivos pontos de amostragem. 65
Figura 42 - Estereogramas do fraturamento preenchido com Caulim em MP5 (A) e MP6 (B). 66

Figura 43 - Estereograma do fraturamento em campo, exceto de fraturas preenchidas com feldspato. 67
Figura 44 - Diagramas de roseta dos lineamentos coletados em fotografias aéreas (A) e dos fraturamentos observados em campo (B). 67
Figura 45 - Comparação entre os diagramas de roseta adquirido em análise de imagens (A) e no trabalho de Campo (B). Os padrões regionais são destacados por linhas mais finas e o padrão local por uma linha espessa. 68
Figura 46- Mapa do Campo Magnético Anômalo. 70
Figura 47 - Mapa de Gradiente Total do Campo Magnético da anomalia de Pratinha I. 71
Figura 48 - Gradiente total da anomalia de Pratinha I utilizando distribuição normal no esquema de coloração. 72
Figura 49 - Mapa do Gradiente Horizontal Total de Pratinha I. 73
Figura 50 - Derivada Vertical da Anomalia de Pratinha I. 74
Figura 51- Mapa da inclinação do sinal analítico de Pratinha I em cores. 75
Figura 52 - Mapa da inclinação do sinal analítico de Pratinha I em tons de cinza. 75
Figura 53 - Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza com os lineamentos magnéticos demarcados. 76
Figura 54 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 250 m x 250 m. 77
Figura 55 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 500 m x 500 m. 77
Figura 56 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 1000 m x 1000 m. 78
Figura 57 - Contorno dos modelos gerados pela inversão dos dados magnéticos sobre o mapa do campo magnético anômalo. 80
Figura 58 - Modelos invertidos e a localização de seu topo sobre o mapa de Gradiente Total da anomalia de Pratinha I. 80
Figura 59 - Contorno dos modelos gerados na inversão com os lineamentos estruturais identificados no mapa de relevo e os lineamentos magnéticos identificados na análise do mapa de inclinação do sinal magnético. 82
Figura 60 - Contorno dos modelos gerados para a intrusão de Pratinha I, seus topos e os pontos de coleta de dados em campo, pontos com fraturas preenchidas com caulim destacados em vermelho. 83
Figura 61 - Afloramento de muscovita hematita xisto em MP2. 105
Figura 62 - Afloramento de quartzito em MP2. 106
Figura 63 - Fratura preenchida com quartzo em MP3. 108
Figura 64 - Falha com movimento destral em quartzito em MP4. 109
Figura 65 - Veios feldspáticos oriundos de fenitização em MP5. 111
Figura 66 - Hematita muscovita xisto com veios de feldspato oriundos de fenitizaçãodestacadas em vermelho em MP6. 112
Figura 67 - Afloramento de Quartzito em MP7. 114

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 14

1.2 - Objetivo Geral 16

1.2.1 - Objetivos específicos 16

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

2.1 – Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) 17

2.1.1 - Anomalia Magnética de Pratinha I e seu contexto estrutural 18

2.1.2 – Complexo Alcalino-carbonatítico de Araxá e seu contexto estrutural 21

2.1.3 - Complexo Alcalino-carbonatítico de Tapira e seu contexto estrutural 23

2.1.4 - Complexos Alcalino-carbonatíticos de Serra Negra, Salitre I, Salitre II e Salitre III e seus contextos estruturais 26

2.1.5 - Complexos Alcalino-carbonatíticos de Catalão I e II 30

2.2 - Geologia estrutural 32

2.2.1 - Deformação Rúptil 33

2.3 - Geofísica 35

2.3.1- Levantamento magnético 35

2.3.1.1- Campo geomagnético e correções necessárias 38

2.3.2 – Processamento e Interpretação de anomalias magnéticas 42

2.3.2.1 - Filtro de Redução ao Polo 42

2.3.2.2 - Gradiente Total do Campo Magnético 44

2.3.2.3 – Gradiente Horizontal Total 44

2.3.2.4 – Gradiente Vertical 45

2.3.2.5 – Inclinação do Sinal Analítico 45

2.3.2.6 - Inversão de Dados Magnéticos 46

3 - METODOLOGIA 48

3.1 - Pesquisa Bibliográfica 48

3.2 - Dados geofísicos 48

3.3 - Obtenção do MDE, imagens de satélite e mapa de deslocamento em campo 51

3.4 - Levantamento de lineamentos regionais 52

3.5 - Levantamento estrutural em campo 53

3.6 - Tratamentos dos dados estruturais de campo 56

3.7 - Processamento dos dados geofísicos 57

3.8 - Interpretação dos resultados 59

4 - RESULTADOS 60
4.1 - Geologia Estrutural 60
4.2 - Magnetometria 69
4.3 - Correlação dos dados magnetométricos com a geologia estrutural 81
5 - CONCLUSÕES 84
6 - REFERÊNCIAS 87
7 – ANEXOS 95
7.1 - Apêndice A - Dados coletados em Campo 95
7.2 - Apêndice B - Fotografias, Diagramas de Roseta e Estereogramas dos fraturamentos observados em Campo 104
7.2.1 - MP1 104
7.2.2 - MP2 105
7.2.3 - MP3 108
7.2.4 - MP4 109
7.2.5 - MP5 111
7.2.6 - MP6 112
7.2.7 - MP7 114
7.2.8 - MP8 115

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

AIR-G - Applied Isotope Research Group.

ANM – Agência Nacional de Mineração.

BGS - British Geological Survey.

CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

DEM - Sigla do inglês que significa modelo de elevação digital.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

E – Leste.

ENE – Leste-Nordeste.

ESE – Leste-Sudeste.

ETR – Elementos de Terras Raras.

GPS – Sigla em inglês que significa Sistema de Posicionamento Global.

IGRF - International Geomagnetic Reference Field

Km – Quilômetros.

m - Metros

MVI – Sigla em inglês para o método de inversão do vetor de magnetização.

N – Norte.

NE – Nordeste.

NNE – Norte-Nordeste.

NNW – Norte-Noroeste.

NOAA - National Oceanic e Atmospheric Administration

nT – Nano Tesla.

nT/m – Nano Tesla por metro.

NW – Noroeste.

PIAP – Província Ígnea do Alto Paranaíba.

S – Sul.

SE – Sudeste.

S.I. – Sistema Internacional.

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

SRTM – Missão Topográfica Radar Shuttle.

SSE – Sul-Sudeste.

SW – Sudoeste.

SSW – Sul-Sudoeste.

Ti - Titânio

W – Oeste.

WNW – Oeste-Noroeste.

WSW – Oeste-Sudoeste.

ZBC – Zona de Cisalhamento da Bocaina.

1 – INTRODUÇÃO

A cidade de Pratinha está localizada a 324 Km de Belo Horizonte. Nas redondezas da cidade existem duas anomalias magnéticas denominadas Pratinha I e Pratinha II (Fig. I). Pratinha II é uma anomalia magnética em profundidade de composição e dimensão desconhecidas (Oliveira e Mantovani, 2011) e Pratinha I, uma anomalia magnética tripolar de cerca de 50 Km de diâmetro (Louro & Mantovani, 2010) originada de um corpo geológico em profundidade. Este corpo está alojado em rochas pertencentes ao Grupo Canastra (Seer & Moraes, 2011). Superficialmente, destacam-se xistos ricos em grafita e muscovita com intercalações de quartzitos.

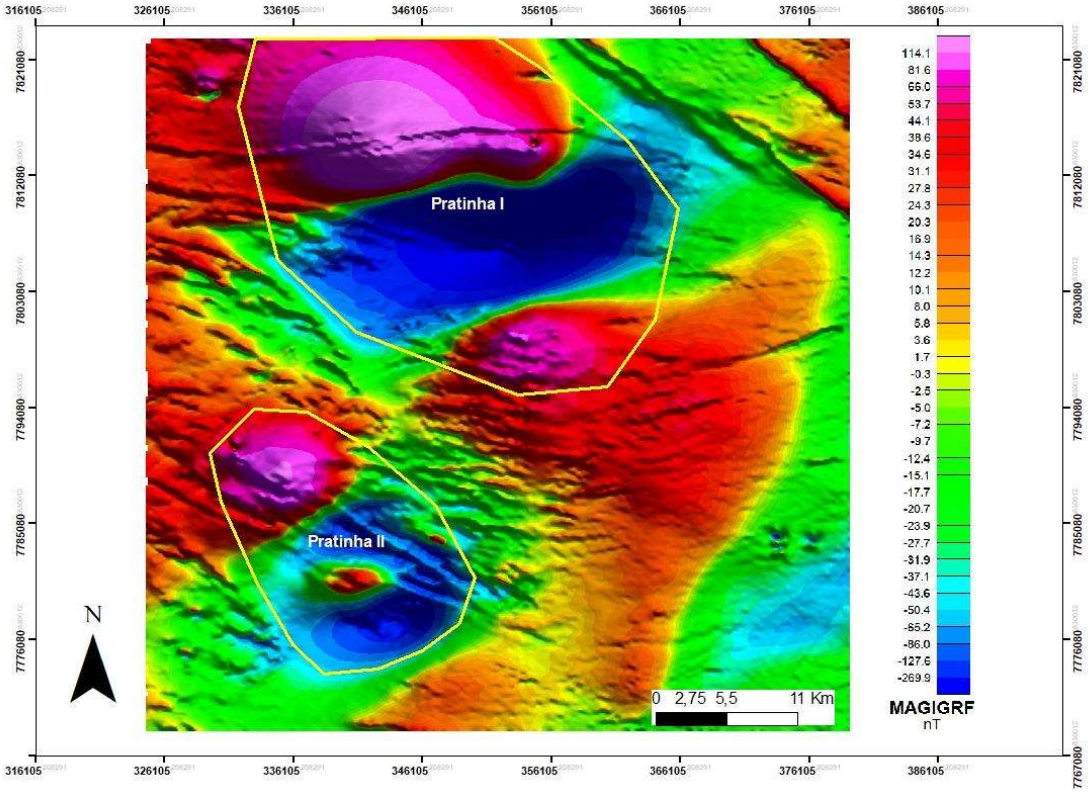


Figura 1 - Mapa do Campo Magnético Anômalo, limites aproximados das anomalias magnéticas de Pratinha I e Pratinha II destacados em amarelo.

A anomalia magnética de Pratinha I, foco desta dissertação, se encaixa no contexto geológico da Província Ígnea do Alto Paranaíba (Fig. 2) juntamente a complexos alcalino-carbonatíticos que possuem grande importância econômica e que se encontram em processo de exploração mineral, a exemplo dos complexos do Barreiro em Araxá-MG, de Tapira em Tapira-MG, de Salitre I em Patrocínio e dede Catalão I em Catalão-GO.

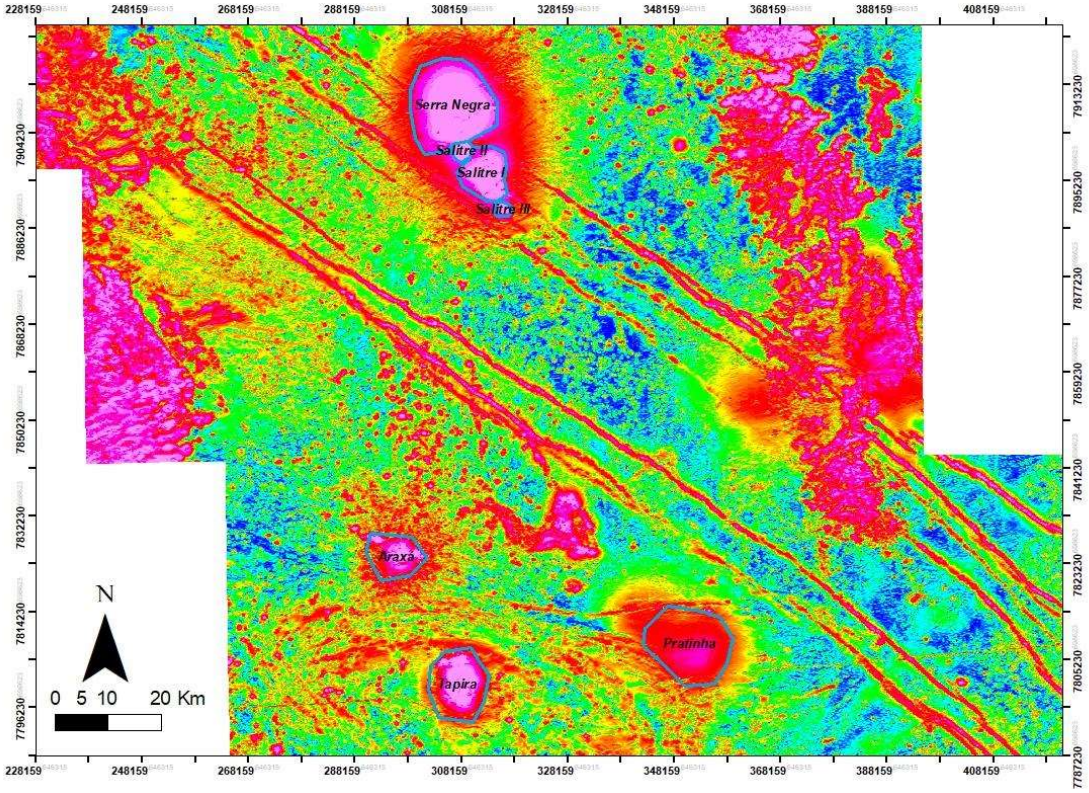


Figura 2 - Mapa do Gradiente Total das anomalias próximas a Pratinha pertencentes a Província Ígnea do Alto Paranaíba destacadas em azul.

Ao contrário das outras anomalias da Província Ígnea do Alto Paranaíba, as de Pratinha não possuem corpos aflorantes que possam ser identificados como responsáveis por suas origens. Este fato levou a escassez de estudos acerca da anomalia, pois as opções são limitadas a métodos indiretos, como a geofísica, ou onerosos, como a sondagem. Destacam-se, nesse caso, os modelamentos realizados por Louro & Mantovani (2011) e Oliveira & Mantovani (2011).

Neste trabalho, utiliza-se a geologia estrutural aliada ao processamento de dados aeromagnéticos coletados pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) em 2006, a fim de investigar o corpo responsável pela anomalia e auxiliar em um possível processo de sondagem e/ou exploração mineral.

1.2 - Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é conhecer melhor o corpo geológico relacionado a anomalia magnética de Pratinha I com a utilização de ferramentas da geologia estrutural e da geofísica uma vez que se trata de um possível corpo intrusivo localizado em profundidade.

1.2.1 - Objetivos específicos

- Identificar os padrões de fraturamento regionais com o uso de imagens de satélite e modelo digital de elevação.
- Identificar os principais padrões de fraturamento encontrados em afloramentos na região da anomalia.
- Entender se a intrusão do corpo alterou os padrões rúpteis/dúcteis locais.
- Determinar a forma e dimensão do corpo utilizando processamento e interpretação dos dados magnetométricos.
- Identificar alterações hidrotermais da possível intrusão nas encaixantes na região da anomalia.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP)

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP), uma província gerada por intenso magmatismo alcalino ocorrido no Neocretáceo, se estende do oeste de Minas Gerais ao sul de Goiás (Fig. 3) (Brod *et al*., 2004). Compreende corpos intrusivos e extrusivos de afinidade kamafugítica, em especial complexos alcalino-carbonatíticos que intrudem rochas metamórficas neoproterozóicas da Faixa Brasília (Brod *et al*., 2004).

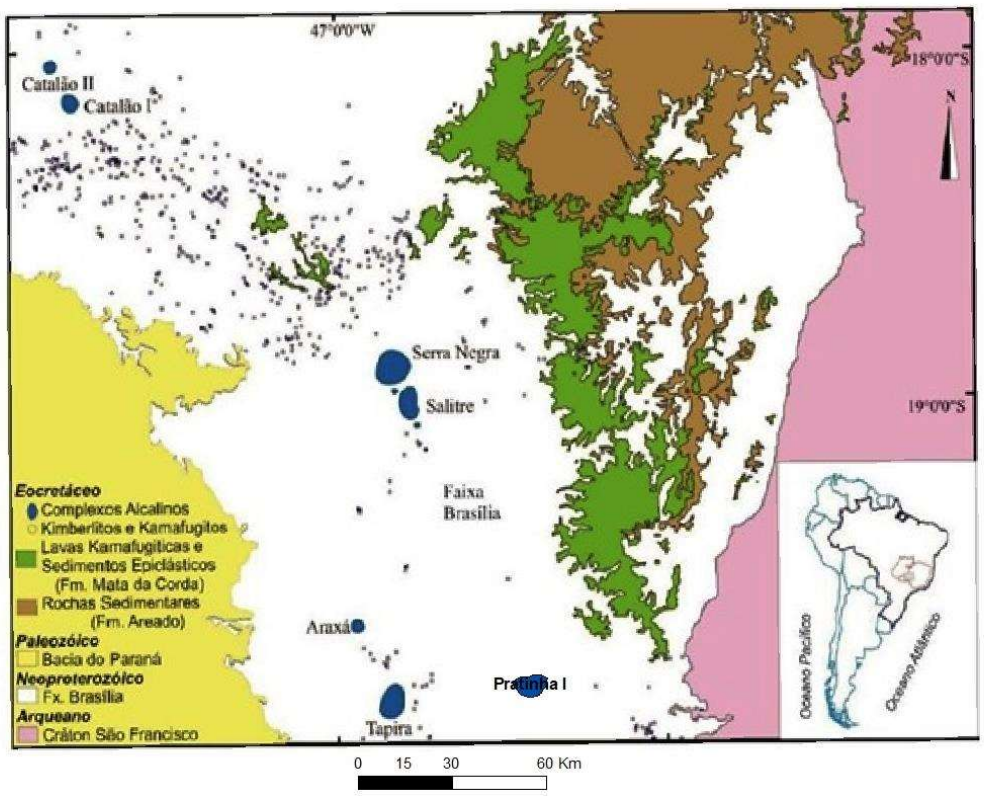


Figura 3 - Mapa geológico da Província Ígnea do Alto Paranaíba com a localização dos complexos alcalino-carbonatíticos e derrames kamafugíticos acrescido da projeção em superfície do corpo magnético de Pratinha I. Modificado de: Oliveira *et al*. (2004) *apud* Eberhardt (2014).

A PIAP é representada pelas intrusões alcalino-carbonatíticas de Salitre I, II e III e Complexo Serra Negra (Patrocínio-MG), Complexo de Araxá (Araxá-MG), Complexo de Tapira (Tapira-MG) e os complexos Catalão I e II (Catalão-GO) e duas anomalias magnéticas de fonte não aflorante denominadas

anomalias magnéticas de Pratinha I e II (Pratinha-MG). Além disto possui derrames e rochas piroclásticas denominadas Mata da Corda (Brod *et al*., 2000).

Os complexos intrusivos localizados nos estados de Goiás e Minas Gerais associam-se ao denominado lineamento 125° (Az 125°), um extenso conjunto de falhas com direção NW-SE. Estas serviram como conduto para ascensão de magma e se associam com mineralizações de grande relevância econômica (Rocha, 2013), como os diamantes de kimberlitos (Bardet, 1977 apud Rocha, 2013) e os depósitos de nióbio, fosfato, titânio e terras raras dos complexos alcalino-carbonatíticos citados.

.

2.1.1 - Anomalia Magnética de Pratinha I e seu contexto estrutural

As anomalias magnéticas de Pratinha I e II estão situadas na cidade de Pratinha-MG, localizada a 324 Km de Belo Horizonte (Fig. 4). A anomalia de Pratinha I, foco deste trabalho, é uma anomalia magnética tripolar de cerca de 50 Km de comprimento. Inversões magnetométricas de dados da CODEMIG (2006) realizadas por Louro & Mantovani (2011) indicam uma profundidade entre 1700 a 2700 m de acordo com o método de inversão de dados magnéticos utilizado e uma estrutura com forma de cone alongada no sentido E-W paralela a uma falha regional de grande porte.

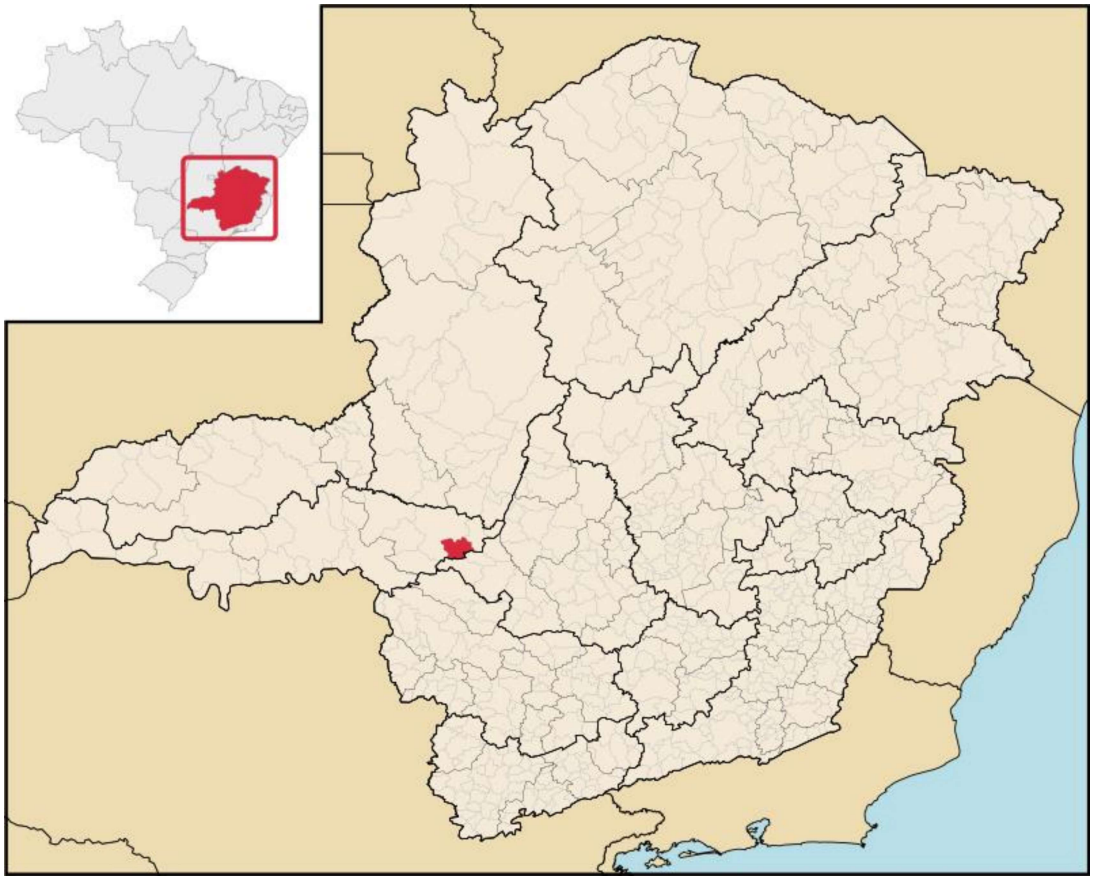


Figura 4- Mapa de Minas Gerais com o município de Pratinha destacado. Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1108464>. Acesso em: 18/07/22.

A anomalia magnética de Pratinha I diferencia-se dos demais complexos carbonatíticos da PIAP por não possuir uma fonte aflorante, impossibilitando assim determinar sua composição mineralógica.

O alto investimento inicial, aliado ao fato de não ter ocorrido enriquecimento supergênico desencoraja empresas a destinar recursos ao seu estudo e possível exploração. Principalmente tendo em vista que existem depósitos minerais aflorantes em outros complexos alcalino-carbonatíticos com teores suficientes para serem considerados viáveis para explotação. Entretanto conforme se exaurem estes depósitos e a tecnologia evolui, a anomalia de Pratinha I pode se tornar interessante do ponto de vista econômico e trabalhos como o desta dissertação podem nortear futuros estudos quanto a determinação de mineralizações, volume dos possíveis depósitos e geologia estrutural.

A anomalia de Pratinha I se localiza próxima dos contatos entre os grupos Ibiá, Araxá e Canastra, na Zona de Cisalhamento da Bocaina (ZCB) (Seer,

1999). Segundo este autor, esta região é caracterizada pela justaposição de três unidades tectono-estratigráficas. O Grupo Araxá está empurrado tectonicamente sobre o Grupo Ibiá, que por sua vez está empurrado sobre o Grupo Canastra e, em alguns locais, jaz em discordância erosiva sobre o mesmo. A ZCB representa uma rampa lateral sinistral de um sistema de napes do Grupo Canastra que está em contato direto com o Grupo Ibiá (Fig. 5).

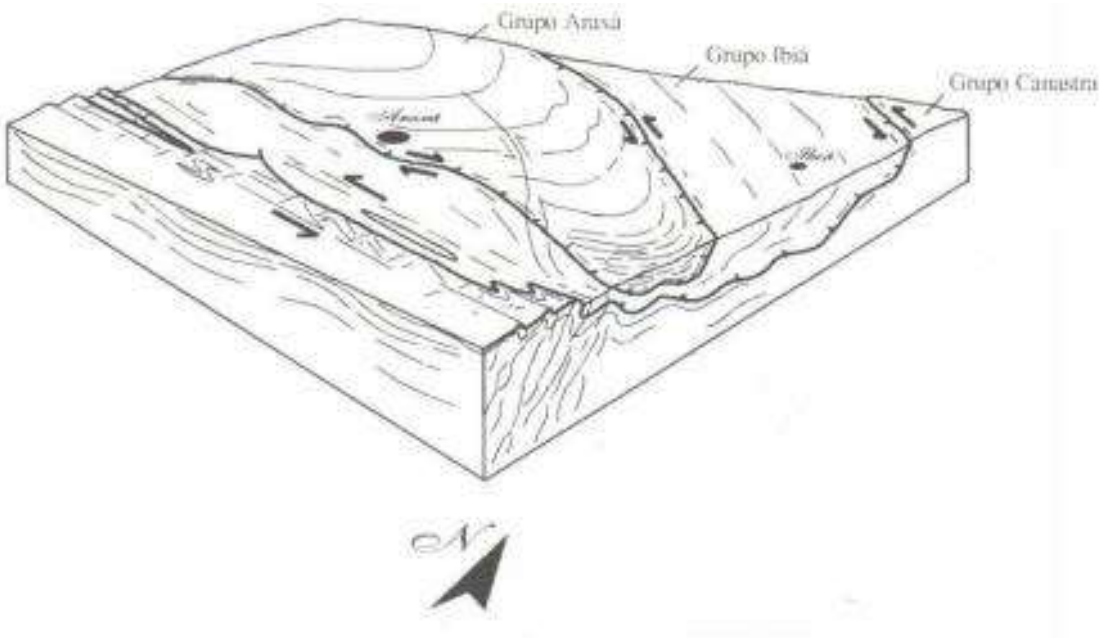


Figura 5 - Quadro geral das relações tectono-estratigráficas e seus contatos tectônicos compostos por zonas de cisalhamento na sinforma de Araxá. Fonte: Seer (1999).

Durante o mapeamento geológico em escala 1:100.000 por Seer & Moraes (2011), foram caracterizadas, na região de Pratinha e dentro do Grupo Canastra, foliações sub-horizontais com mergulho suave para oeste (Fig. 6). As fraturas observadas por aqueles autores constituem quatro famílias principais: 1) 50-60° NW; 2) 30-40° NE; 3) 80° NE; 4) 10° NW, todas com mergulho aproximadamente vertical (Fig. 7).

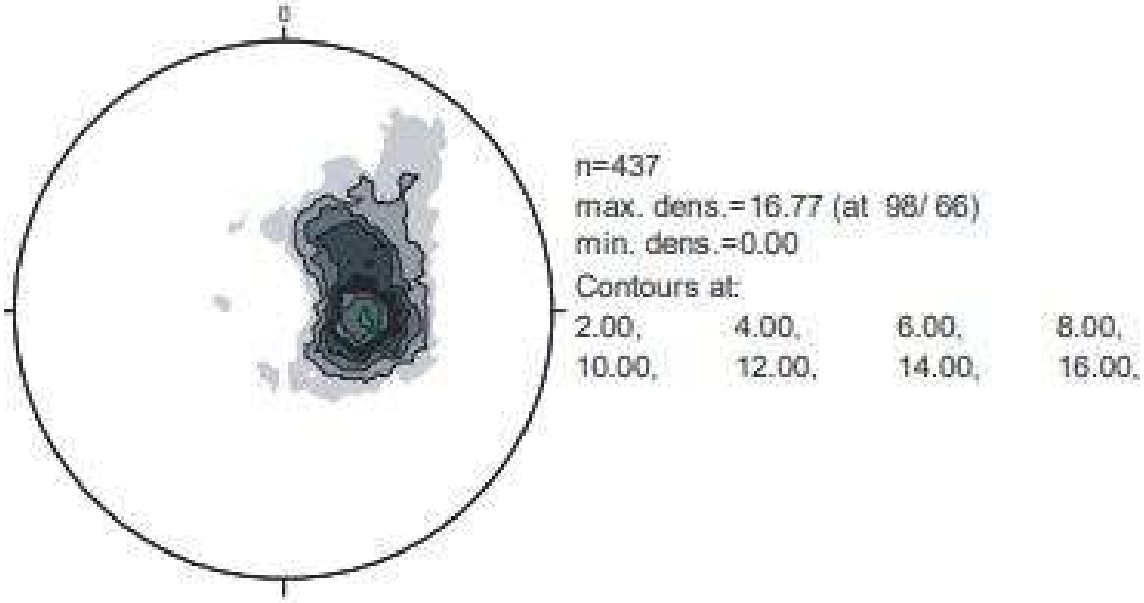


Figura 6 - Estereograma da Foliação principal (S_3) no domínio II (Pratinha pertence a esse domínio). Fonte: Seer & Moraes (2011).

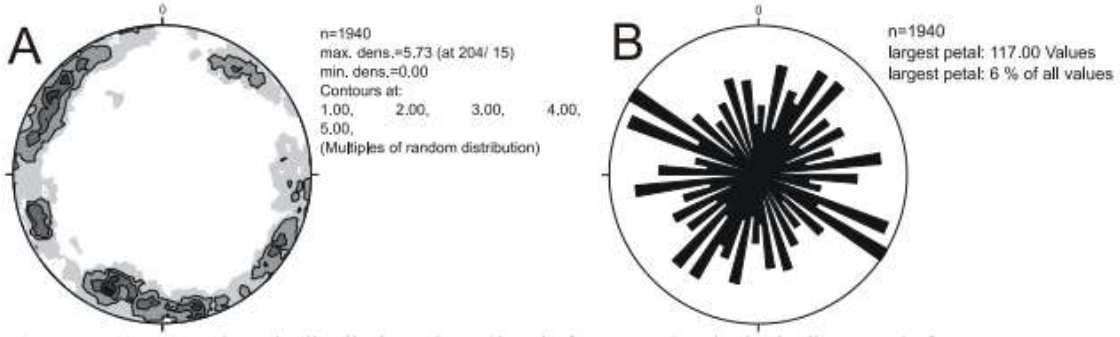


Figura 7 - Estereograma (A) e Diagrama de roseta (B) do fraturamento regional. Fonte: Seer & Moraes (2011).

2.1.2 – Complexo Alcalino-carbonatítico de Araxá e seu contexto estrutural

O Complexo de Araxá, também conhecido como Complexo do Barreiro, é uma intrusão alcalino-carbonatítica localizada a 6 Km ao sul da cidade de Araxá-MG. O corpo possui 4,5 Km de diâmetro máximo e 37 Km³ de volume segundo inversão de dados magnetométricos e gravimétricos (Pereira & Mantovani, 2012). Trata-se de um dos mais importantes complexos alcalino-carbonatíticos do mundo, onde se exploram nióbio e fosfato e onde recentemente a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) começou a produzir concentrados de terras raras.

Trata-se de intrusão circular com formato de domo (Fig. 8) que deformou xistos e quartzitos dos Grupos Ibiá e Canastra (Seer,1999). No complexo predominam dolomita carbonatitos com intensa alteração metassomática das rochas ultramáficas, com depósitos econômicos desenvolvidos devido a intenso intemperismo que em alguns pontos do perfil chega a 250 metros (Brod, 2000).

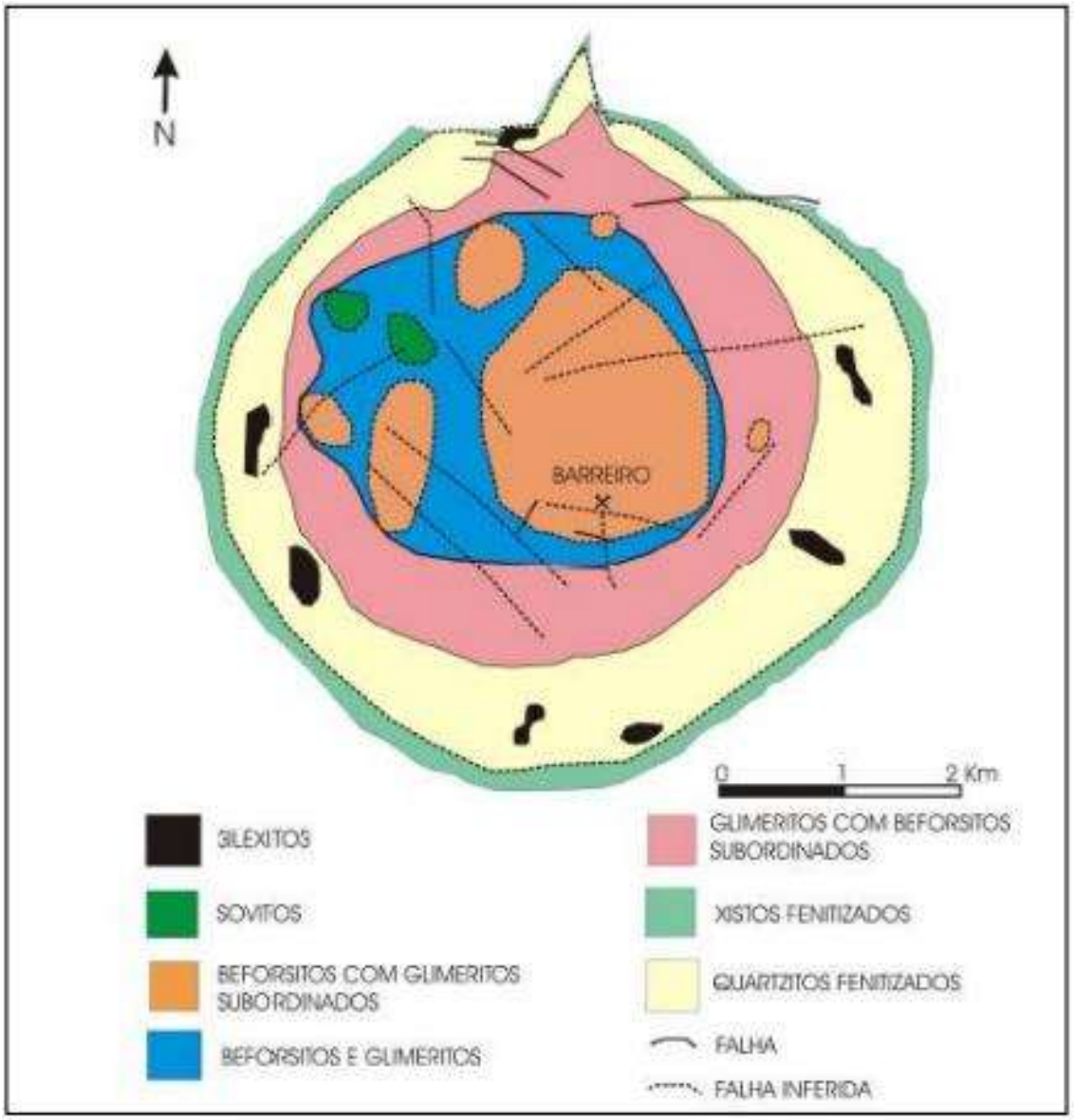


Figura 8- Mapa geológico do Complexo Alcalino-carbonatíticos de Araxá. Fonte: Biondi, 2003.

Do ponto de vista estrutural, Moraes et. al. (2008) constataram que a intrusão foi facilitada por fraturas NW e NNE pré-existentes, influenciando também estas estruturas na região do contato, o que pode ser notado no fato de que diques, com composição predominante de flogopita-picrito e bebedourito se

alojam segundo estas direções em regiões mais distantes da intrusão, enquanto que em sua proximidade tendem a assumir posições radiais e anelares (Fig. 9).

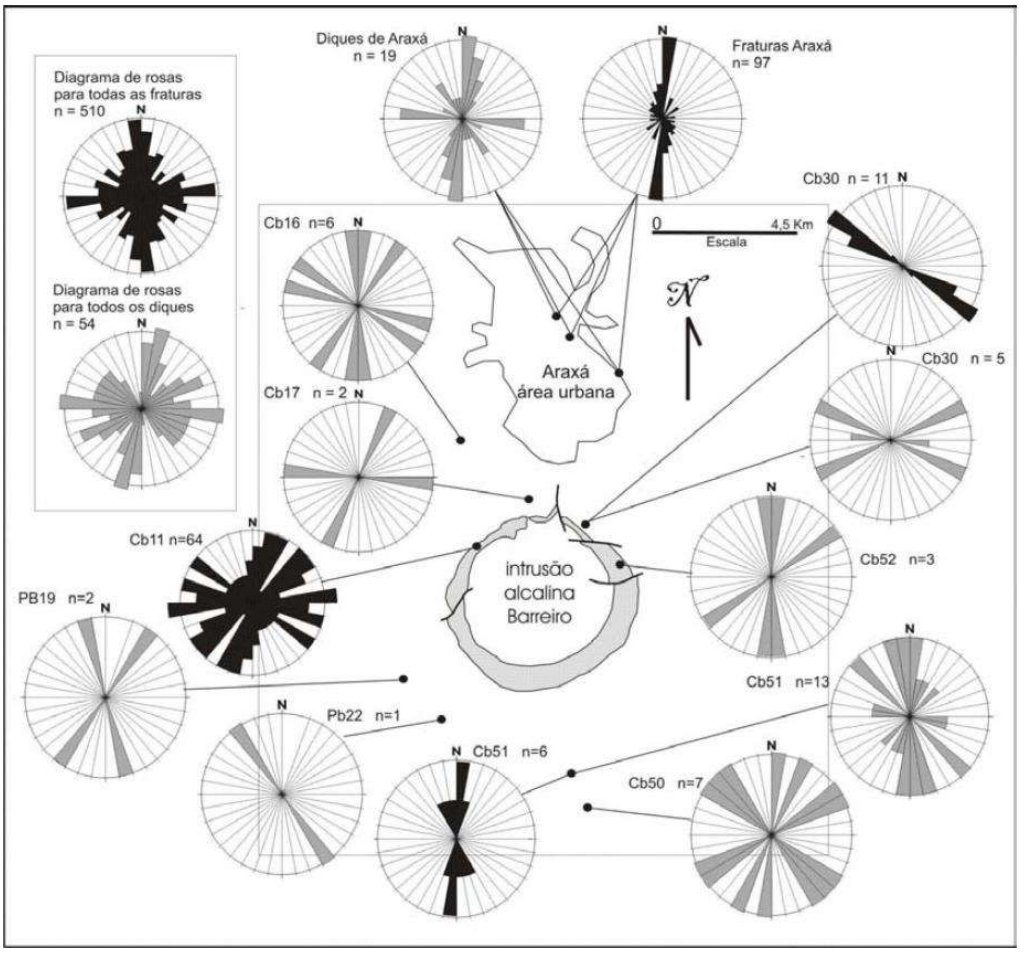


Figura 9 - Diagramas de roseta para as fraturas (preto) e diques (cinza) no complexo do Barreiro. Fonte: Moraes et. al. (2008).

2.1.3 - Complexo Alcalino-carbonatítico de Tapira e seu contexto estrutural

O complexo alcalino de Tapira localiza-se ao norte da cidade de Tapira e 30 Km a sudeste da cidade de Araxá. Trata-se de uma intrusão de formato elíptico de aproximadamente 35 Km² alongado NS (Fig. 10) que deformou as rochas encaixantes do Grupo Canastra em formato de domo (Brod et. al. 2000).

As litologias presentes são da série bebedourítica (bebedouritos e clinopiroxenitos, com enriquecimento de apatita, magnetita e perovskita) e carbonática (RMMG, 2018). A empresa *Mosaic* Fertilizantes minera atualmente o complexo, que produz fosfato a partir da apatita e contém teores que

futuramente podem levar a exploração de titânio, além de apresentar também nióbio e minerais de terras raras.

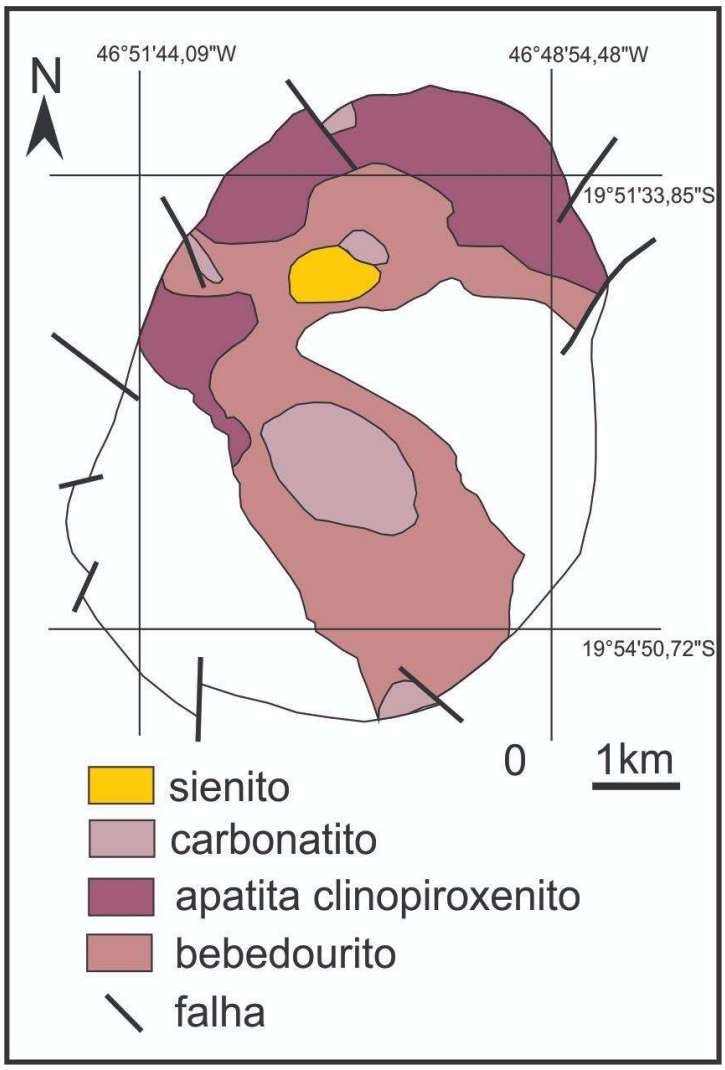


Figura 10 - Geologia do Complexo Mineral de Tapira. Fonte: http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras. Acesso em: 28/06/2022.

As concentrações de fosfato, titânio, terras raras e vermiculita estão intrinsecamente ligadas ao manto de intemperismo do complexo que condiciona verticalmente o teor e o tipo de minério (Brod et. al. 2000). O complexo possui minério friável, que possui maior grau de alteração e por isso maiores teores de minério granular, menos alterados e com teores inferiores, como pode ser visto na figura 11. A descrição do fraturamento rúptil pode ser vista no estereograma da figura 12.

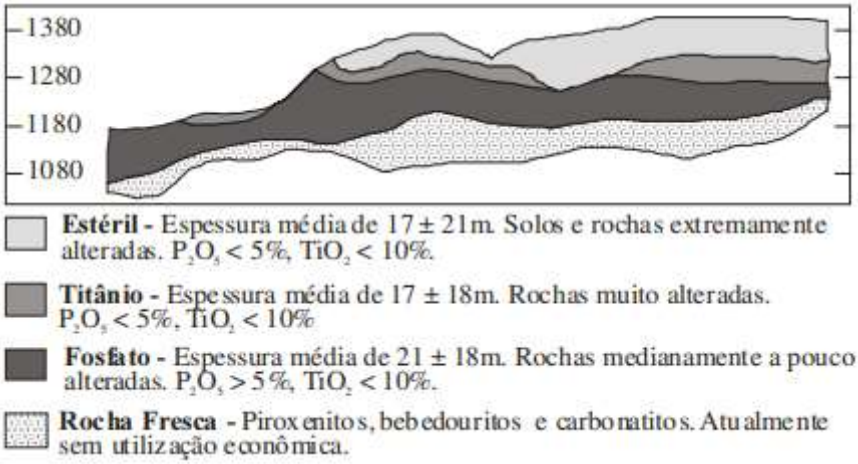


Figura 11 - Perfil geológico da mina de Tapira. Fonte: Brod et. al. (2000).

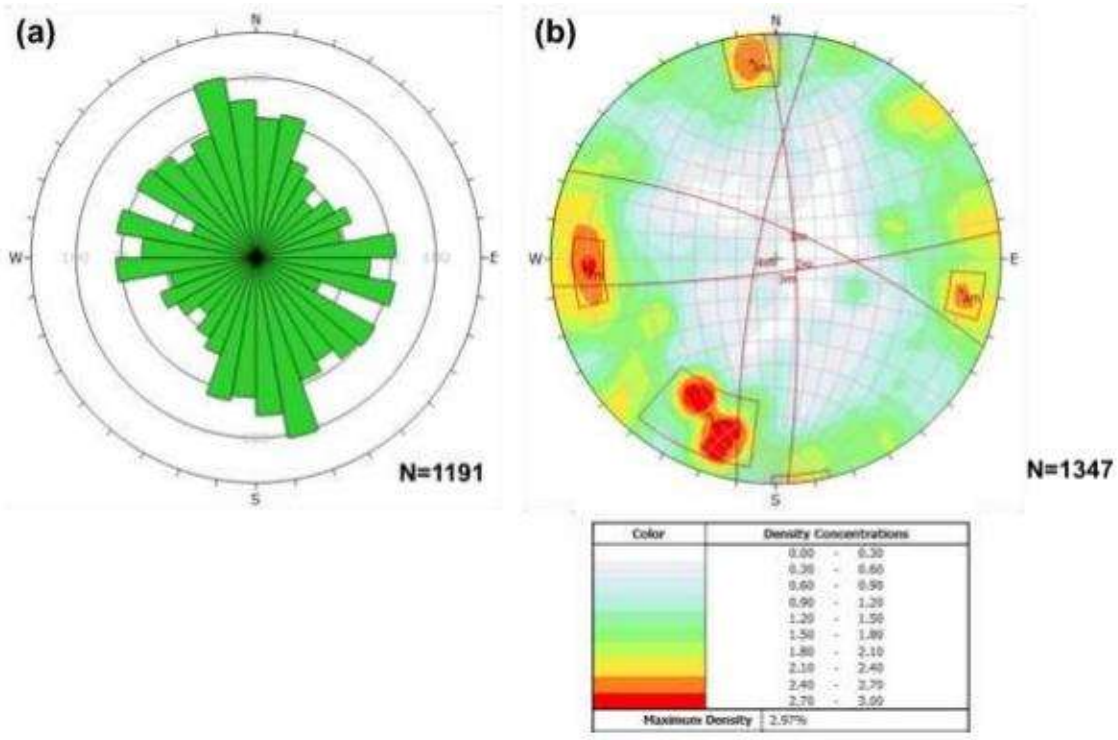


Figura 12 - Diagrama de roseta (a) e estereograma (b) do fraturamento em Tapira. Fonte: Campos (2022).

Os principais padrões de fraturamento observados por Campos (2022) em Tapira indicam fraturamento nas direções NNW-SSE e W-E com mergulhos próximos de comportamento vertical. Os fraturamentos nas rochas encaixantes próximas do complexo de Tapira apresentam comportamentos radiais e anelares segundo aquela autora.

2.1.4 - Complexos Alcalino-carbonatíticos de Serra Negra, Salitre I, Salitre II e Salitre III e seus contextos estruturais

Os complexos Salitre I, II e III e Serra Negra se localizam no município de Patrocínio-MG. Os complexos Salitre I, II e III ocorrem imediatamente ao sul do complexo Serra Negra (Fig. 13). Trata-se de quatro intrusões alcalino-carbonatíticas distintas e de dimensões variadas.

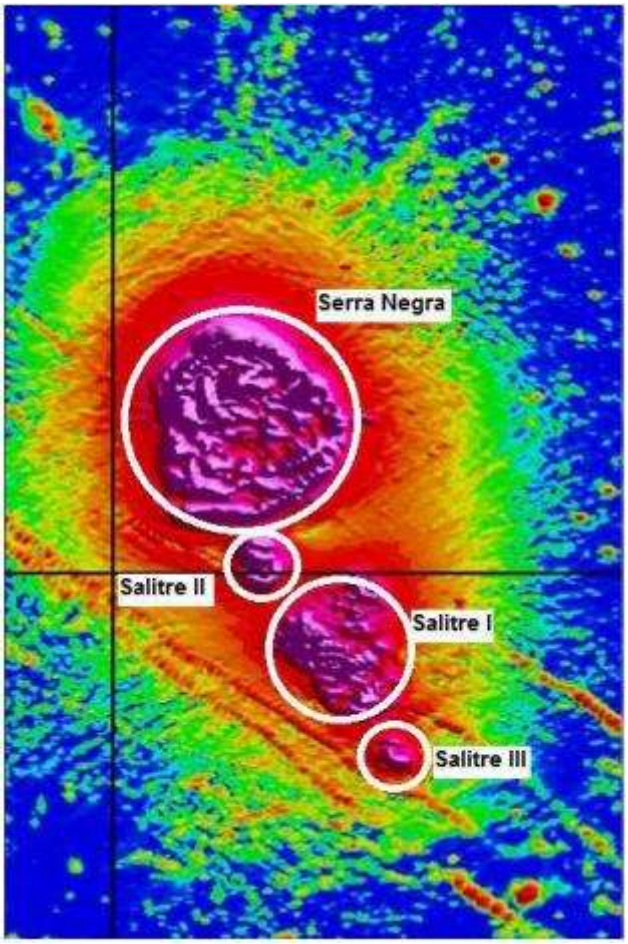


Figura 13 - Mapa do gradiente total contendo a separação aproximada dos Complexos Serra Negra e Salitre I, II e III. Fonte: Borges (2018).

O maior destes complexos é o de Serra Negra. Ele apresenta estrutura circular muito bem definida, sendo facilmente visível através de aerofotografias e imagens de satélite. Apresenta diâmetro aproximado de 11 a 14 km e de acordo com Uliana (2010) é composto principalmente por dunitos, peridotitos, serpentinitos, piroxenitos, magnetita clinopiroxenitos glimeritos e carbonatitos, sendo raramente aflorantes devido ao espesso manto laterítico originado a partir

de intenso intemperismo no período Terciário (Uliana, 2010). Um mapa geológico do complexo pode ser visto na figura 14, onde também pode-se notar que o complexo é cercado por camadas soerguidas de quartzitos e xistos, observando-se padrão radial de fraturamento.

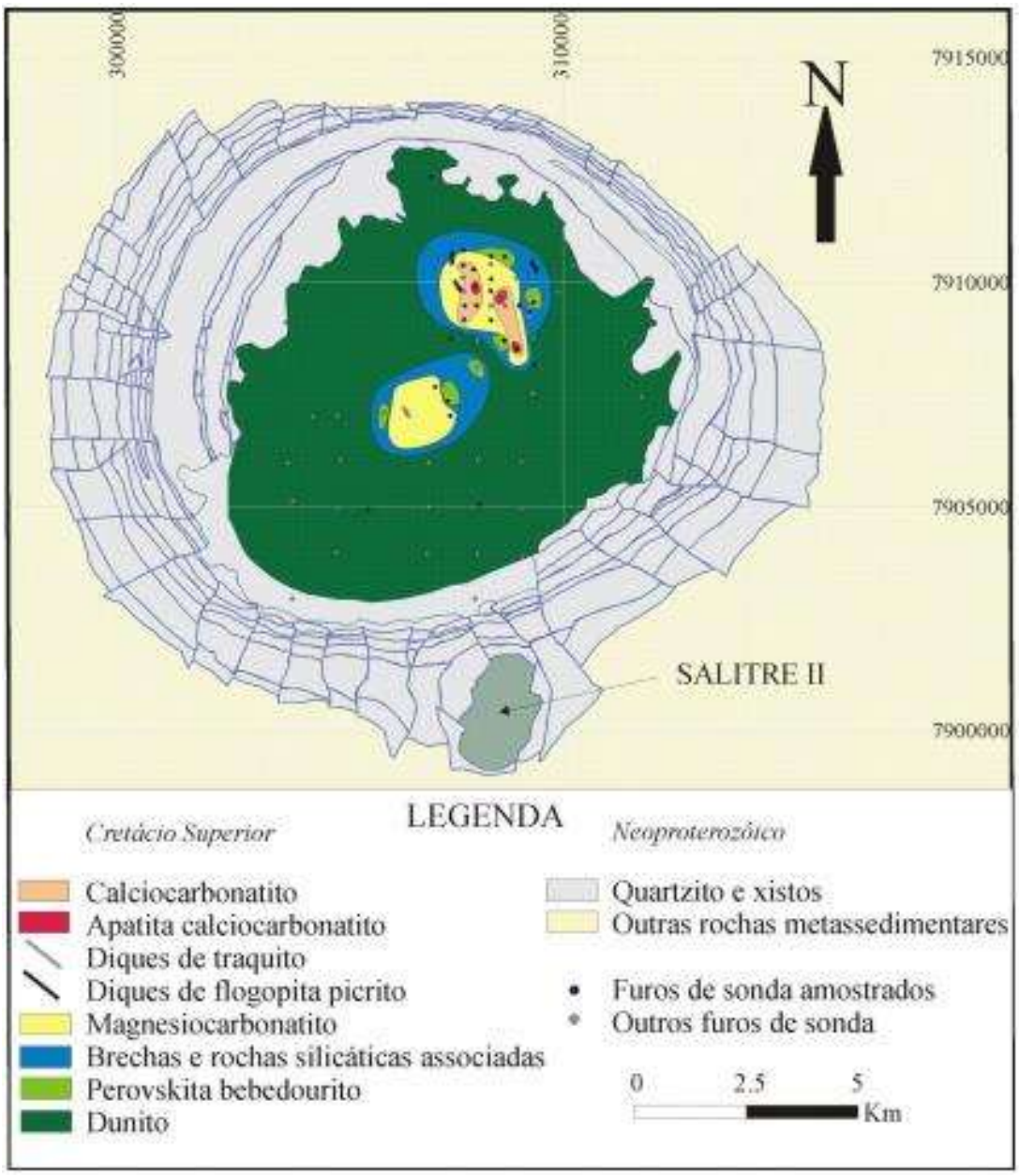


Figura 14 - Mapa geológico esquemático do complexo de Serra Negra com base em amostras de sondagem, petrografia e amostras e interpretações geoquímicas. Fonte: Grasso (2010).

Salitre I é o segundo maior corpo dentre os quatro, possuindo forma aproximadamente oval com 7 Km na direção N-S e 5 Km na direção EW e atualmente é o único sendo explotado economicamente. É composto

basicamente por bebedourito, tinguaito, traquito, fenito, apatita-carbonatito, calcita carbonatito e foscorito. De acordo com Araújo (2015) o complexo de Salitre I tem ao centro do corpo bebedouritos ricos em perovskita (B1), com ou sem olivina e na porção sul, bebedouritos ricos em Ti-andradita, piroxênio e flogopita, sendo essa uma intrusão independente e mais tardia (B2) (Barbosa *et al*., 2012).

Segundo Melo (1997), a mineralização de Salitre, assim como Tapira, Barreiro e Catalão, é constituída por hidroxiapatita, concentrada por intemperismo e lixiviação sobre as rochas originalmente ricas naquele mineral. Esse fenômeno é mais comum em regiões tropicais como o Brasil onde o intemperismo químico é acentuado, mas também pode ocorrer em outras regiões. A distribuição aproximada das rochas do complexo obtida por Barbosa *et al*. (2012) através de furos de sondagem e geofísica pode ser vista na figura 15.

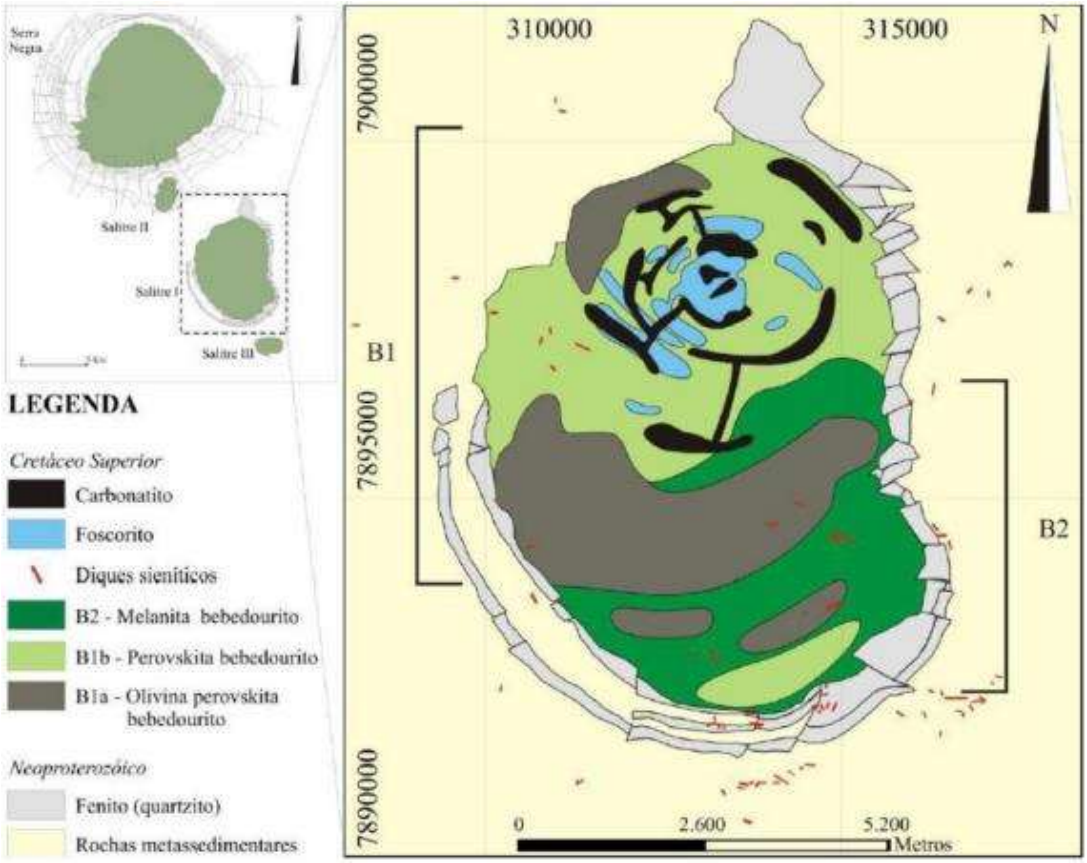


Figura 15 - Mapa geológico do complexo Salitre I. Fonte: Barbosa *et al*. (2012).

Borges *et al*. (2019) ao estudarem parte do interior do complexo notaram 2 padrões rúpteis de fraturamento que se destacam. Um deles apresenta direção aproximadamente NW-SE mergulhando 70° para SW e o outro com direção E-W com mergulho aproximadamente horizontal (Fig. 16).

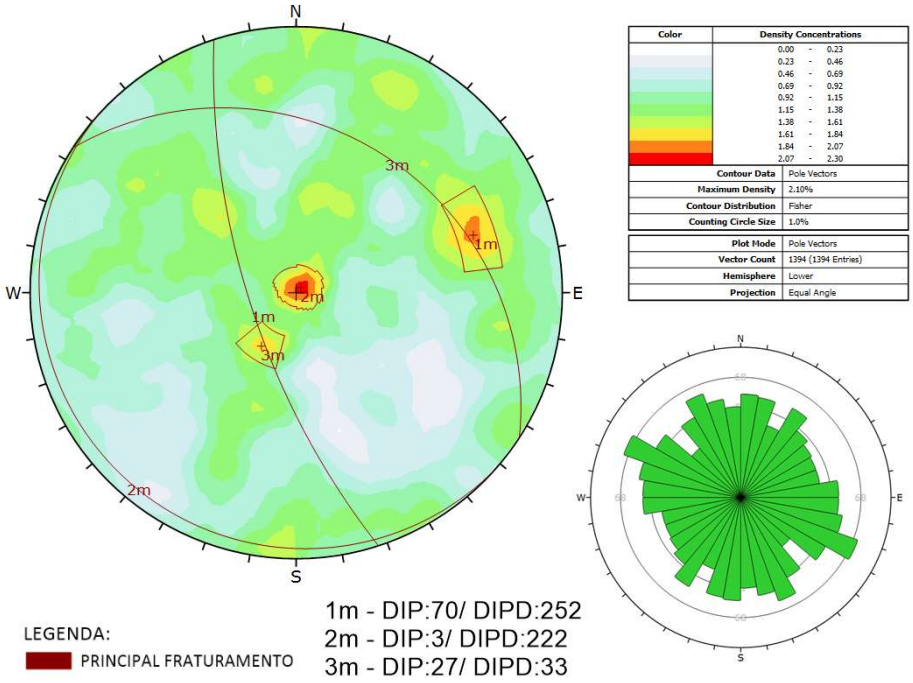


Figura 16 - Principais padrões de fraturas no complexo Salitre I. Fonte: Borges *et al*. (2019).

Entre Salitre I e Serra Negra, situa-se Salitre II, um modesto complexo de cerca de 2,5 Km² contendo principalmente rochas ultramáficas. Salitre III é um pequeno corpo ao sul de Salitre I, descoberto mais recentemente devido ao fato de não possuir expressão topográfica ao contrário dos outros 3 complexos (Brod *et al*., 2004). Formado basicamente por piroxenitos com foscoritos subordinados, apresenta rochas piroclásticas subordinadas (Seer *et al*., 2015).

Uma análise da deformação rúptil do anel de quartzito que cerca Salitre I e a deformação regional através de fotografias aéreas e pesquisa de campo foi realizada por Borges (2018). No que diz respeito ao quartzito que cerca o complexo, a intrusão gerou padrões radiais e anelares nestas rochas (Fig 17).

Já na análise de fotografias aéreas da região, notou-se um padrão distinto composto por fraturamentos NW e NE similares a mapas magnéticos regionais como o de Borges & Drews (2001).

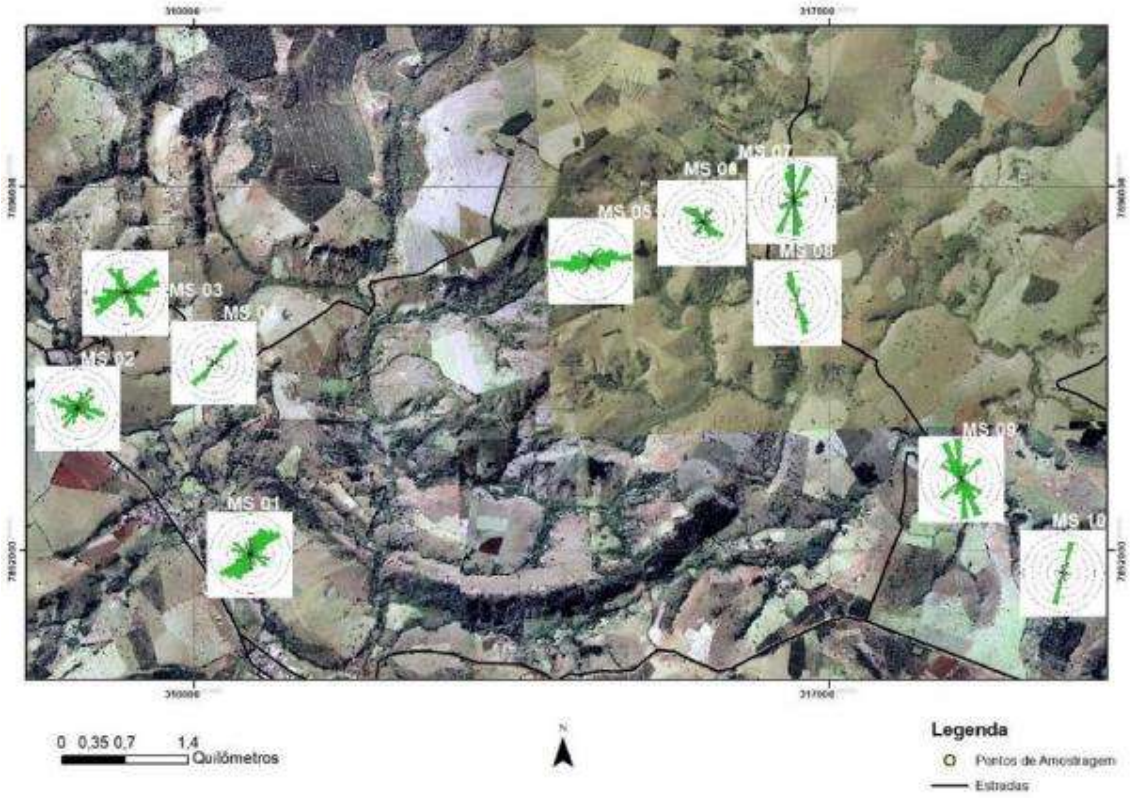


Figura 17 - Fotografia aérea de parte do Complexo de Salitre I, com estereogramas da deformação rúptil localizados na posição geográfica onde os dados foram coletados. Fonte: Borges (2018).

Borges (2018) notou também que embora o padrão NW fosse mais expressivo segundo a bibliografia, a intrusão do complexo parece ter reativado as fraturas NE de forma a aliviar a pressão na crosta.

2.1.5 - Complexos Alcalino-carbonatíticos de Catalão I e II

Catalão I e II são os complexos alcalinos da PIAP mais setentrionais (Brod, 2004), localizados no estado de Goiás a nordeste da cidade de mesmo nome.

Catalão I é o maior deles (27 Km²), trata-se de uma intrusão dômica multifásica de 6 Km de diâmetro na direção N-S e 5,5 Km na direção E-W. A intrusão provocou a deformação dômica de xistos e quartzitos encaixantes do

grupo Araxá. A litologia do complexo inclui dunitos, piroxenitos, bebedouritos, carbonatitos, foscoritos e flogopititos metassomáticos. O centro do complexo é dominado por um corpo de carbonatito e as porções externas são dominadas por flogopititos, o que evidencia o caráter particularmente intenso do metassomatismo que afetou as rochas ultramáficas primárias (Brod *et al.*, 2004).

O complexo apresenta ainda depósitos de fosfato, nióbio, titânio, ETR (Elementos de Terras Raras) e vermiculita (Fig. 18), sendo que atualmente somente os dois primeiros são economicamente viáveis e explotados (Ribeiro, 2008).



Figura 18 - Foto aérea do complexo de Catalão I, destacando os depósitos presentes, o anel de quartzitos e xistos do grupo Araxá que o cerca, assim como padrões de fraturamento identificados. Fonte: Ribeiro (2008).

O complexo de Catalão II é menor (18 Km²) e está localizado 5 Km a norte de Catalão I formando um pequeno alto topográfico irregular (Brod, 2004) alongado na direção NE-SW. O complexo carbonatítico intrude metassedimentos (quartzitos e micaxistos) fenitizados do grupo Araxá (Bilal *et al*., 2012).

Este complexo apresenta sovitas e piroxenitos enriquecidos em terras raras do estágio magmático e ao mesmo tempo se mostra com teores inferiores de fosfato em relação a Catalão I. Bilal *et al*. (2012) relacionam este fato ao enriquecimento do magma em ETR e titânio favorecido pela presença de uma fase carbonática e explicam que durante o intemperismo estes minerais perdem parte dos elementos de terras raras e bário na interação com os fluidos superficiais.

2.2 - Geologia estrutural

A geologia estrutural é o estudo da distribuição tridimensional de unidades de rocha em relação ao seu histórico deformacional. Utiliza medidas de estruturas de rochas atuais para desvendar sua história deformacional e compreender o campo de tensões que resultou na deformação e geometria finais (AIR-G, 2020). Os principais métodos de observação da deformação de rocha para definir os fenômenos que deram origem a formação rochosa atual são observações de campo, experimentos de laboratório e modelagem numérica.

Quando um sólido é submetido a tensões, este pode se deformar de forma elástica, quando o corpo retorna à sua forma original ao cessar a aplicação da tensão, ou plástica, quando o corpo mantém a deformação mesmo com o arrefecimento da tensão devido a magnitude da tensão ser superior a chamada tensão crítica (Zerfass & Chemale, 2011).

Se as tensões atuantes no corpo mineral continuarem aumentando acima de um valor crítico, os corpos passam de um comportamento elástico para um comportamento plástico, deformando-se então de forma permanente (Belousov, 1974 e Hobbs et al., 1976).

Hobbs et al. (1976) definem o que é a deformação rúptil. Segundo eles, se trata da deformação de rochas com o desenvolvimento de descontinuidades, que por acontecerem em situações de baixa temperatura e pressão hidrostática, geram quebras de coesão, como as juntas e falhas.

2.2.1 - Deformação Rúptil

A observação de estruturas rúpteis e dúcteis pode auxiliar no entendimento dos eventos geológicos que levaram à geologia observada atualmente em campo. Também é possível inferir como estas mesmas estruturas se comportam em profundidade.

Dentre estas estruturas, as rúpteis são mais comuns na crosta terrestre devido ao fato que a formação deste tipo de estrutura acontece próximo a superfície, onde as condições de temperatura e pressão são favoráveis. Estas estruturas muitas vezes podem ser identificadas como lineamentos através de fotografias aéreas ou imagens de satélites (Campos, 2022).

Trabalhos de campo também são particularmente úteis em sua identificação, já que podem mostrar estruturas em escalas inferiores as coletadas por imagens, além de possibilitar a coleta de dados não disponíveis de outra forma, como atitude espacial, a rugosidade das fraturas, presença de estrias, mineralogia e presença de alterações hidrotermais.

Segundo Fossen (2012) fraturas são descontinuidades planas ou subplanas, delgadas em uma direção em comparação às outras duas. E são formadas devido a esforços internos ou externos. As fraturas podem ser divididas em fraturas de cisalhamento e fraturas abertas ou de extensão (Fig. 20).

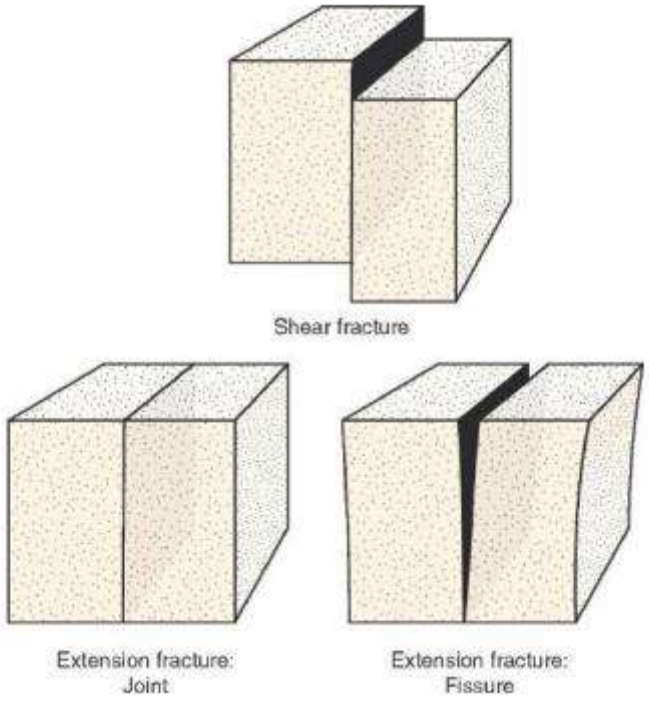


Figura 19 - Tipos de fraturamento. Fratura de cisalhamento (*shear fracture*) e fraturamentos extensionais dos tipos junta (*joint*) e fissura (*fissure*). Fonte: Fossen (2015).

Fraturas de cisalhamento ocorrem quando há movimento relativo paralelo a fratura e seu tamanho pode variar de milímetros a quilômetros. Quando o rejeito (deslocamento relativo) tem dimensões significativamente altas, usa-se o termo falha (Fossen, 2012).

Quando o movimento relativo é perpendicular à direção da fratura tem-se as chamadas fraturas extensionais. Estas são classificadas como juntas quando o deslocamento é pequeno, sendo raramente visível a olho nu nesse caso. Os tipos restantes são classificados quando ao seu preenchimento (Fissuras - preenchimento por fluidos, veios - preenchimento por minerais e diques - preenchimento por magma) (Fossen, 2012).

Segundo Pinheiro (2015), as falhas tem a capacidade de interromper a continuidade lateral entre terrenos geológicos e deslocar grandes volumes de rochas, tanto verticalmente quanto lateralmente. E a descrição geométrica (Fig. 21) dessas falhas pode ser feita definindo seu plano de ruptura, capa e lapa e o

deslocamento relativo entre os blocos durante o processo de fraturamento (Fossen, 2012).

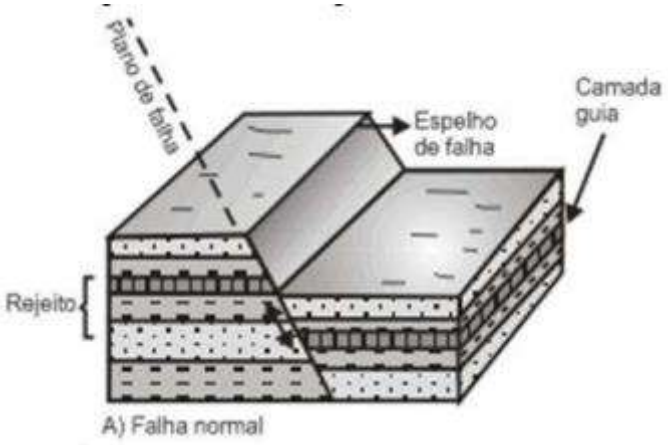


Figura 20 - Elementos geométricos das falhas. Fonte: Fossen (2012).

2.3 - Geofísica

Segundo Kearey *et al*. (2002), a geofísica é a aplicação dos princípios da física ao estudo da Terra. Trata-se de um método de investigação indireta no qual as propriedades físicas dos corpos minerais em subsuperfície são medidos na superfície ou próximo a ela.

Os métodos de levantamento geofísico envolvem a investigação de propriedades geofísicas como: densidade, módulo de elasticidade, susceptibilidade magnética e remanência, condutividade elétrica e capacitância elétrica. Por meio da variação dessas propriedades em relação aos campos naturais terrestres (magnético, elétrico, eletromagnético e gravitacional) é possível determinar a localização de corpos minerais ou lençóis freáticos, por exemplo (Kearey *et al*., 2002).

2.3.1- Levantamento magnético

O objetivo de um levantamento magnético é a investigação da geologia utilizando as anomalias do campo magnético da Terra em função da susceptibilidade magnética das rochas em subsuperfície (Kearey *et al*., 2002).

A intensidade do campo magnético (B) de um corpo submetido a um campo magnético externo pode ser dada pela relação entre força magnética (H) e a permeabilidade relativa (μ). A constante de permeabilidade magnética é utilizada com valores iguais a permeabilidade magnética no vácuo ($4\pi \times 10^{-7}$ Hm^{-1}), pois seus valores no ar e na água são muito próximos deste valor, sendo submetido a alterações por indução (Ji) quando corpos magnéticos alteram o campo (Kearey *et al*., 2002). As equações do campo magnético de um corpo no vácuo (equação 1), da indução magnética (equação 2) e do campo magnético total (equação 3) podem ser vistas a seguir:

(Equação 1) $$B = \mu o H$$

Onde:

B - Intensidade do campo magnético no vácuo.

μ_o - Permeabilidade magnética no vácuo.

H - Força de magnética.

(Equação 2) $$Ji = \mu o k H$$

Onde:

Ji - Intensidade do campo magnético induzido.

μ_o - Permeabilidade magnética no vácuo.

k - Susceptibilidade Magnética.

H - Força de magnetização.

Desta forma o campo magnético total é dado pela soma da força de magnetização do campo magnético induzido e a intensidade do campo magnético total e pode ser dado pela equação 3:

(Equação 3) $$B = \mu o H + \mu o k H = \mu o (1 + k) H$$

Onde:

B - Intensidade do campo magnético total.

μo - Permeabilidade magnética no vácuo.

H - Força de magnetização do campo induzido.

Segundo Kearey *et al*. (2002) a magnetização de substâncias ferromagnéticas e ferrimagnéticas tende a diminuir a intensidade de magnetização com o aumento da temperatura e cessa acima da chamada *temperatura de Curie*. Campos magnéticos criados por indução nessas substâncias também tendem a cessar após se retirar o campo induzido, porém campos magnéticos muito altos podem causar magnetização que não cessa mesmo após a retirada do campo indutor se tornando permanente. Essa magnetização herdada após a retirada do campo de indução é conhecida como *magnetização remanente* (Jr) podendo ser adquirida durante a formação da rocha ou lentamente na presença de um campo magnético ambiente.

As rochas podem possuir ambos os tipos de magnetização induzida e remanente e nem sempre estas possuem direções e magnitudes similares. Desta forma a rocha apresentará uma resultante magnética (J) destas duas forças (Fig. 22). A intensidade de J determina a amplitude da anomalia magnética e sua orientação tem influência na forma da anomalia (Kearey *et al*. 2002).

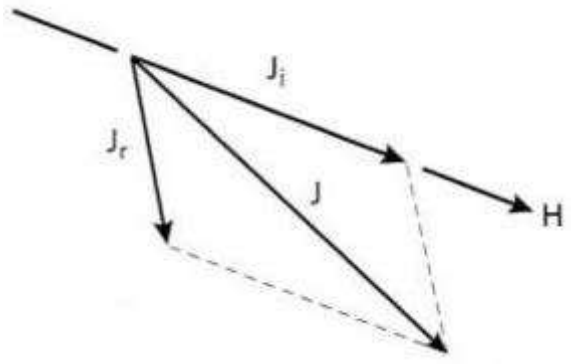


Figura 21 - Diagrama vetorial ilustrando entre os componentes de magnetização induzida (Ji), remanente (Jr) e total (J).
Fonte: Kearey *et al*. 2002.

2.3.1.1- Campo geomagnético e correções necessárias

Certas correções devem ser realizadas quando se trabalha com dados magnetométricos devido a variações decorrentes da coleta dos dados assim como das variações que ocorrem no campo magnético da Terra (Campo geomagnético).

O campo geomagnético é geometricamente mais complexo que o campo gravitacional da Terra, e exibe variações irregulares em orientação e magnitude com a latitude, a longitude e o tempo (Kearey *et al*. 2002). O vetor campo magnético B varia em intensidade (Fig. 23), cerca de 25000 nT em regiões equatoriais e 70000 nT nos polos (Kearey *et al*. 2002).

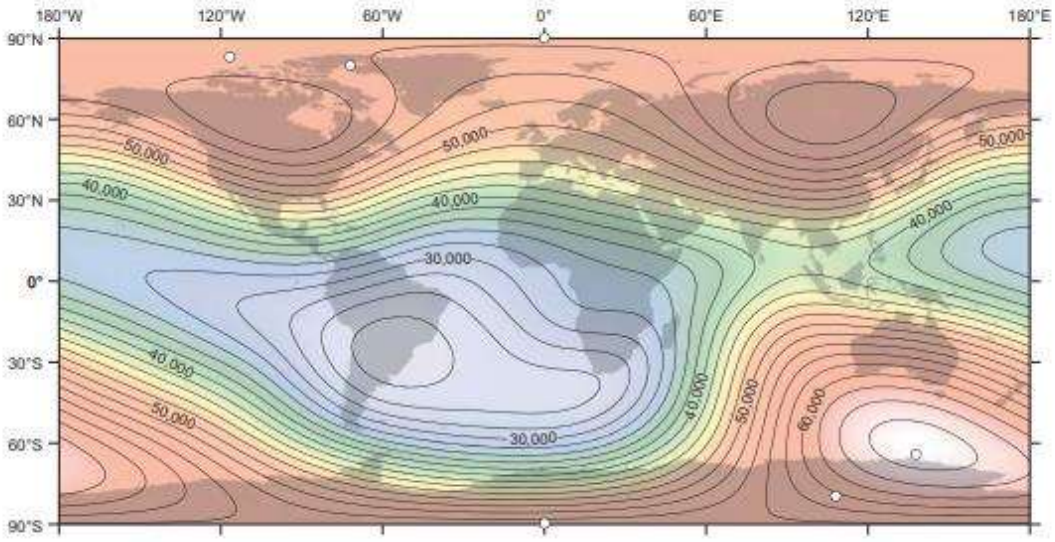


Figura 22 - Variação da intensidade do Campo Magnético Internacional (IGRF) em 2004. Fonte: Dentith & Mudge (2014).

É importante também entender que o norte magnético possui localização geográfica que difere do norte geográfico e o ângulo medido em qualquer parte da superfície terrestre entre os dois é chamado de declinação magnética (Souza, 1997). Outro aspecto importante é a inclinação do campo magnético, que muda de acordo com a localização na superfície terrestre devido à natureza vetorial do campo magnético. No hemisfério norte ele se inclina para baixo em direção ao norte e é vertical no polo norte. Já no hemisfério sul a inclinação é para cima em direção ao norte (Kearey *et al*. 2002) (Fig. 22).

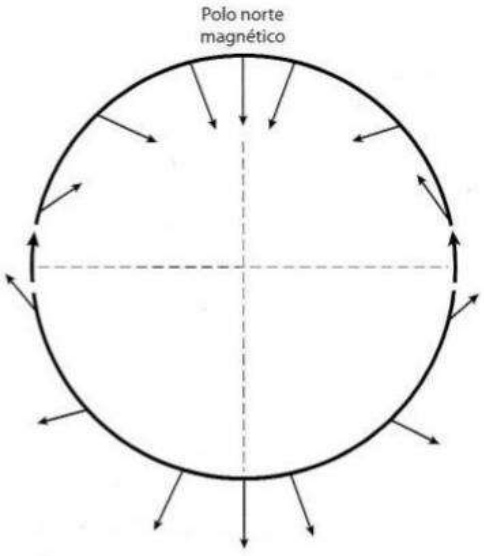


Figura 23 - Variação da inclinação do campo magnético da Terra de acordo com a latitude. Fonte: Kearey *et al*. 2002.

Existe atualmente um modelo que descreve o campo magnético terrestre com o tempo, este modelo também apresenta como a declinação (Fig. 25) e inclinação (Fig. 26) desse campo variam na superfície terrestre. Este modelo foi criado em meados de 1970 e vem sendo atualizado a cada 5 anos. É conhecido como *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)* e constitui uma ferramenta comum de pesquisa para geofísicos e cientistas espaciais e atualmente está em sua 13ª versão, criada em 2019 (*British Geological Survey*, 2019).

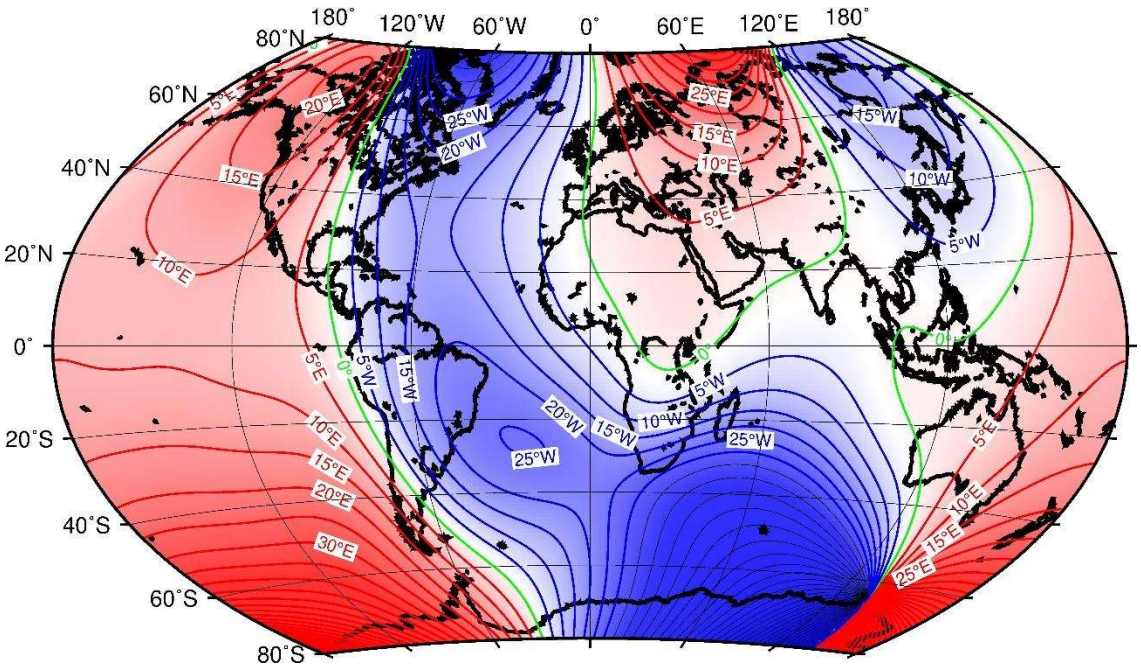


Figura 24 - Variação da declinação do modelo atual do IGRF em graus. Fonte: BGS (2019).

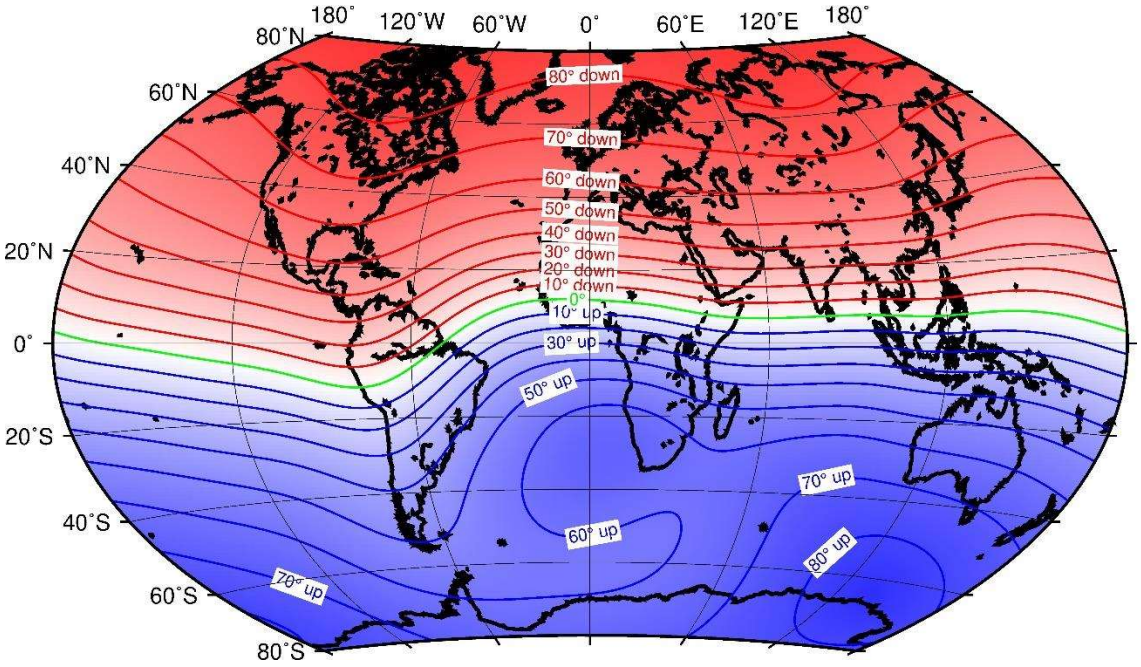


Figura 25 - Variação de inclinação do modelo IGRF em graus. Fonte: BGS (2019).

A forma de uma anomalia varia conforme a inclinação magnética na região em que se encontra. Anomalias próximas aos polos apresentam forma simétrica, ou seja, a posição do corpo mineral responsável pela anomalia será a mesma do pico da anomalia. No Equador magnético as anomalias tendem a apresentar grandes baixos magnéticos com altos menores a norte e sul, e nos valores médios dos hemisférios Norte e Sul apresentam-se como dipolos (Fig. 27).

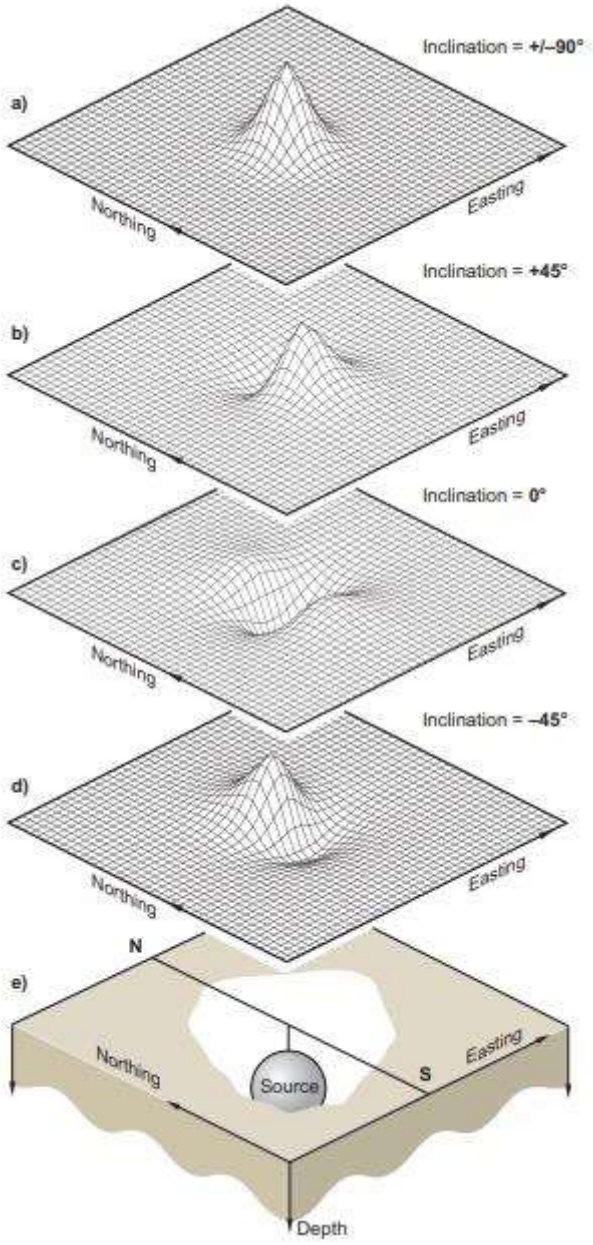


Figura 26- Intensidade do campo magnético gerado por um corpo (e) em diferentes inclinações magnéticas: a) Inclinação nos pólos=90°; b) Inclinação hemisfério norte=+45°, c) Inclinação no Equador=0°; e d) Hemisfério Sul=-45°. Fonte: Dentith & Mudge (2014).

O campo geomagnético tem como principal fonte o campo gerado internamente pelo movimento do ferro e níquel no núcleo externo que geram correntes elétricas e por consequência um campo magnético na chamada Teoria do dínamo (Kearey *et al*., 2002).

Apesar de representar uma pequena parte do magnetismo da Terra, o magnetismo por fontes externas resulta nas chamadas variações diurnas que se modificam em razão dos efeitos de maré, do sol e da lua (Kearey *et al*. 2002).

As correções diurnas e a correção geomagnética que consiste na redução do *IGRF* estão entre os passos necessários para a preparação dos dados de um levantamento magnetométrico para evitar que variações advindas dessas fontes interfiram nos dados obtidos. Além destas correções é importante também realizar correções como nivelamento da malha de voo (distribuição dos erros verificados entre os perfis de amostragem e de controle) no caso de um levantamento aeromagnético (Silva, 2006).

2.3.2 – Processamento e Interpretação de anomalias magnéticas

A distribuição irregular dos pontos de amostragem durante a coleta de dados geofísicos pode produzir distorções nas anomalias observadas (Dentith & Mudge, 2014), o que torna necessário a aplicação de filtros para corrigir estas distorções.

No caso de Pratinha dados foram coletados a cada 4 metros no sentido N-S, porém estas linhas eram espaçadas 400 metros entre si. Esta disparidade na amostragem em apenas um sentido gera ruídos bem definidos na direção das linhas de voo. Por este motivo, aplicam-se filtros em direção perpendicular a estas linhas (neste caso, na direção E-W) a fim de diminuir o ruído.

Alguns dos filtros mais utilizados são os Filtros Passa-Baixa, Passa-Alta e Passa-Banda. O filtro Passa Baixa, retira os curtos comprimentos de onda para que as fontes profundas sejam analisadas. No Passa Alta, retiram-se as baixas frequências (altos comprimentos de onda) para a análise de fontes rasas. E caso seja necessário selecionar um domínio específico de frequência utiliza-se o Passa Banda. (GEOSOFT, 1994 e Silva, 2015).

2.3.2.1 - Filtro de Redução ao Polo

O filtro de redução ao polo é uma técnica que converte uma anomalia magnética em sua forma equivalente no polo norte. Este processo simplifica as anomalias magnéticas, pois o campo ambiente se torna vertical e corpos com somente magnetismo induzido produzem anomalias simétricas ao seu eixo (Kearey *et al*. 2002).

Silva (1986) e Mendonça & Silva (1992) falam sobre as limitações do filtro. Um destes problemas segundo eles, se deve a sua aplicabilidade em baixas latitudes, onde a inclinação magnética apresenta baixos valores (Fig. 23), neste caso o filtro apresenta instabilidade numérica e tende a criar feições na direção da declinação magnética devido a sua dependência do valor da inclinação, como pode ser visto na equação 5 fornecida por Li (2008). Outro problema decorrente do filtro é que para sua otimização deve-se conhecer o vetor de magnetização da fonte e se há ou não magnetização remanente.

(Equação 5) $$R(r,\theta) = R(\theta) = \frac{1}{[sen(I)+icos(I)\cos(D-\theta)]^2}; i = \sqrt{-1}$$

Onde:

I = Inclinação do campo magnético total; e

D = Declinação do campo magnético total

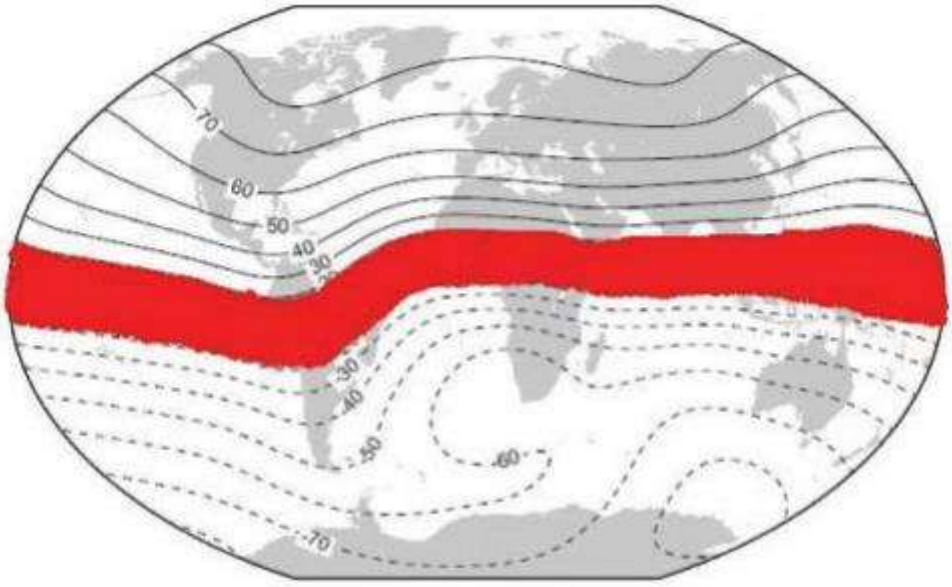


Figura 27 - Mapa esquemático representando as zonas onde o método de redução ao polo se torna ineficiente devido à baixa inclinação magnética. Fonte: Rocha (2009).

2.3.2.2 - Gradiente Total do Campo Magnético

O Gradiente Total é um método automático ou semi-automático baseado no uso de gradientes (derivadas) horizontais e verticais de anomalias de campos potenciais (equação 6), como as causadas por campos magnéticos (Nabighian 1972, 1974). Este método independe dos parâmetros do campo magnético terrestre e da direção de magnetização da fonte (Roest *et al*., 1992).

(Equação 6) $$GT\ (X,Y) = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial Y}\right)^2}$$

A Gradiente Total do Campo Magnético é útil para determinar a localização e bordas de corpos de fontes magnéticas, particularmente quando há remanência e/ou interpretações complicadas em baixas latitudes magnéticas (Roest *et al*., 1992).

Segundo Santos (2004) transformações lineares do campo magnético (como Gradiente Total, Gradiente Horizontal Total, Inclinação do sinal analítico e Gradiente Vertical) podem ser utilizadas para definir descontinuidades geofísicas e fontes magnéticas que indicam feições e unidades geológicas.

2.3.2.3 – Gradiente Horizontal Total

O gradiente horizontal total (também conhecido como amplitude do sinal analítico) de uma anomalia de campo potencial é um filtro Passa-alta que pode indicar mudanças laterais abruptas de propriedade física e tende a revelar picos acima dos limites das fontes causadoras de anomalias (Blum, 1999). Seu cálculo (Equação 7) envolve as derivadas parciais do campo magnético em relação às coordenadas horizontais (x e y). Essas derivadas representam as taxas de variação da intensidade do campo magnético em cada direção horizontal (Davis, 1986).

(Equação 7) $$GHT = \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial y}\right)^2}$$

2.3.2.4 – Gradiente Vertical

Segundo (Blum, 1999) o Gradiente Vertical (ou derivada vertical) é um filtro passa-alta que mede a taxa de variação do campo magnético à medida que se afasta ou se aproxima da fonte causadora. Nesta técnica, as altas frequências do sinal magnético são realçadas através da primeira derivada da componente vertical do campo anômalo magnético, equação 7. Desta forma, as contribuições de fontes profundas (baixas frequências) são muito atenuadas e desconsideradas.

(Equação 7) $$DZ = \left(\frac{\delta A}{\delta Z}\right)$$

Onde:

DZ – Gradiente Vertical.

δA – Derivada da amplitude da anomalia magnética.

δZ – Derivada da direção vertical.

2.3.2.5 – Inclinação do Sinal Analítico

A inclinação do sinal analítico (TILT Derivative) indica as posições dos contatos ou limites das fontes magnéticas e define muitas feições lineares e pode ser utilizada para extrair estruturas lineares e sua textura para delimitar domínios magnéticos (Santos, 2006).

Este método foi descrito primeiramente por Miller & Singh (1994), e é definida pelo arco tangente da razão entre a derivada vertical pela amplitude do gradiente horizontal total (equação 8).

(Equação 8) $$TDR\,(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{\delta A/\delta Z}{\sqrt{\left(\delta A/\delta Z\right)^2 + \left(\delta A/\delta Z\right)^2}}\right)$$

2.3.2.6 - Inversão de Dados Magnéticos

Durante a prospecção mineral busca-se determinar a localização e dimensão de dado corpo mineral. Estes corpos nem sempre estão aflorantes, o que torna a análise de dados provenientes de propriedades físicas como susceptibilidade magnética e resistividade úteis para inferir sua posição, forma, volume e possível composição mineralógica. De forma similar ao feito por Louro e Montavani (2011), Oliveira e Montavani (2011) e Portela Filho & Ferreira (2003).

Não se possui a priori um modelo 3D do corpo mineral, contendo sua localização, forma, dimensão e características. O que se possui é a resposta, a medição do campo físico gerado por ele (Oldenburg & Li, 2005). Sendo o papel da inversão criar um modelo das propriedades do meio a partir dos dados de campo (Nascimento, 2011).

Quando se lida com inversões é importante ter em mente que nenhuma solução apresentada pelo algoritmo de inversão é única e caso encontremos uma solução que se adeque ao problema, inúmeras outras também existem (Oldenburg & Li, 2005). Dessa forma, dados a priori, como a geologia local e dados de sondagens, podem refinar o modelo, tornando-o uma representação mais acurada do corpo real.

Oldenburg & Li (2005) explicam como a adequação dos dados é avaliada. Segundo eles deve haver alguma estimativa do ruído (incompatibilidades entre o modelo e os dados colhidos em campo). Com esta estimativa define-se o desajuste (*misfit*), ou seja, o quanto os resultados do modelo diferem dos originais e até que o valor de desajuste do modelo possa ser considerado adequado. Ainda segundo aqueles autores, para computar a solução numérica ao problema, deve-se discretizar os dados. No caso da inversão de dados magnéticos para criação de um modelo 3D da anomalia realizado neste trabalho, utiliza-se células cuboides 3D.

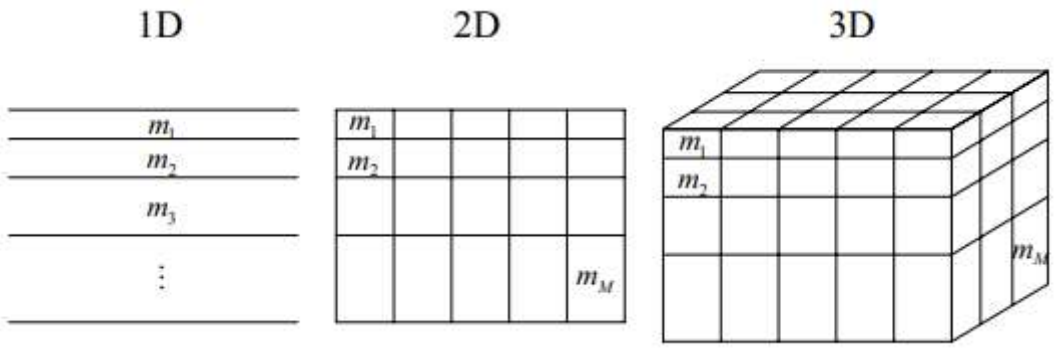


Figura 28 - Ilustração da discretização utilizada em problemas geofísicos de inversão em 1D, 2D e 3D. Dentro da célula se assume que a propridade física é constante. Fonte: Oldenburg e Li (2005).

3 - METODOLOGIA

Este trabalho consistiu na análise da anomalia magnética de Pratinha I pela utilização de dois campos distintos das geociências, a geologia estrutural e a geofísica. As etapas desenvolvidas durante o projeto foram a pesquisa bibliográfica, a obtenção dos dados magnetométricos, obtenção de MDE (modelo digital de elevação) e imagens de satélite, levantamento de lineamentos regionais pela análise destas imagens, trabalho de campo de geologia estrutural, processamento dos dados geofísicos, análise dos dados estruturais e geofísicos e interpretação dos resultados.

3.1 - Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica realizada teve como foco os dados disponíveis acerca das anomalias de Pratinha I e II, assim como dados relevantes das outras anomalias relacionadas a complexos alcalino-carbonatíticos pertencentes a PIAP.

A anomalia de Pratinha I possui poucos estudos relacionados, devido as dificuldades na análise direta de corpos em profundidade. Por este motivo, a análise das demais anomalias pertencentes aos complexos alcalinos carbonatíticos são importantes. Afinal, estas anomalias derivam do mesmo processo magmático que a anomalia de Pratinha I, porém são aflorantes e, muitas delas, tem grande importância econômica, o que implica na abundância de estudos a seu respeito.

O conhecimento destas anomalias pode auxiliar na análise dos resultados do estudo, já que similaridades entre os complexos são esperadas visto que derivam do mesmo processo de formação.

3.2 - Dados geofísicos

A sequência do processamento realizado deve seguir uma ordem lógica, visando minimizar sinais ruidosos e suavizar a anomalia para a inversão. O fluxograma das atividades realizadas (Fig. 30), mostra as etapas do processo de redução e inversão dos dados, desde o pré-processamento até a elaboração dos modelos finais.

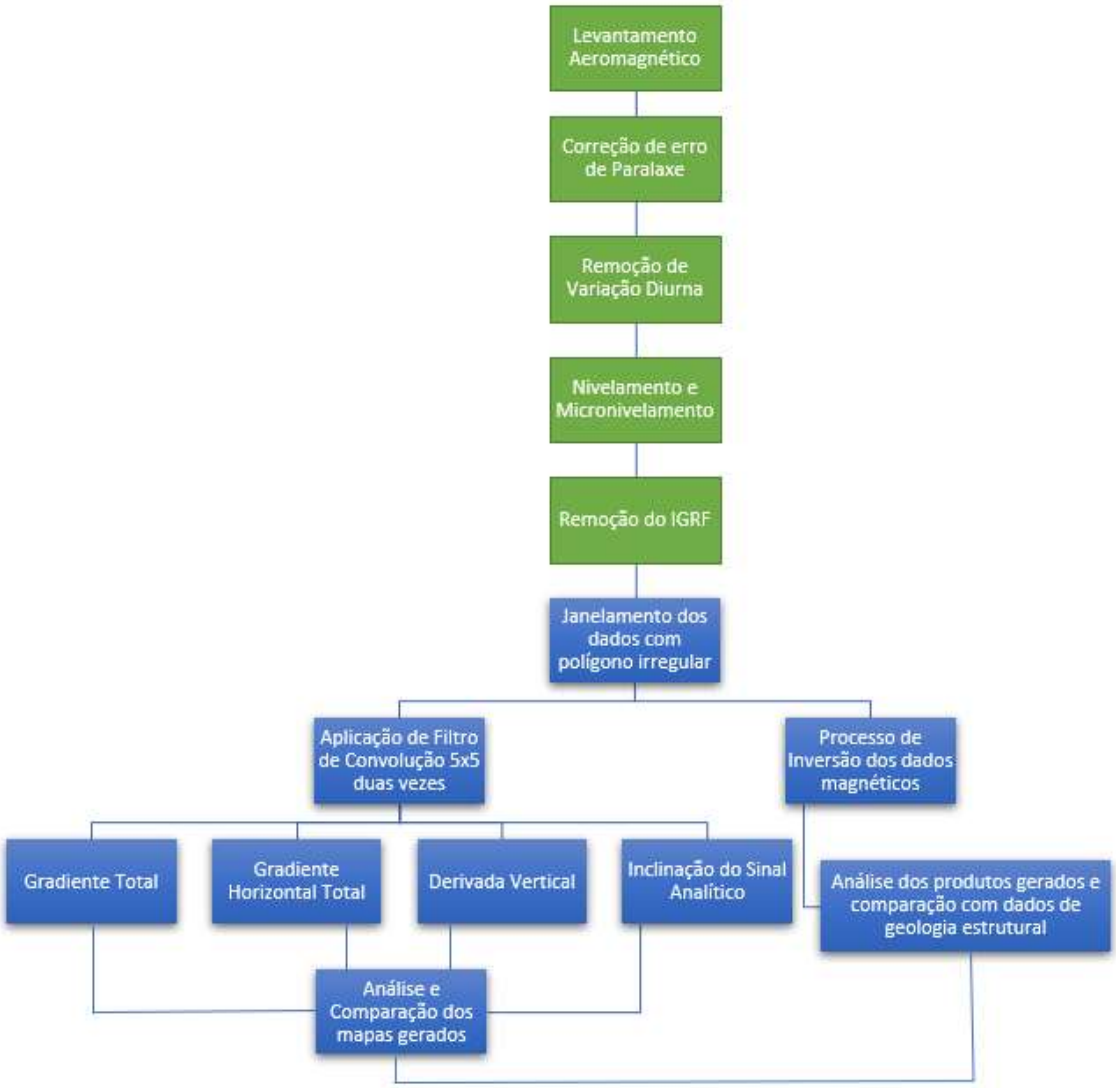


Figura 29 - - Fluxograma do processamento dos dados aeromagnéticos. Os processos em verde foram realizados pela CODEMIG, os processos em azul foram realizados neste trabalho.

Os dados regionais de magnetometria foram obtidos de um levantamento aeromagnetométrico realizado na região no ano de 2006 pela CODEMIG com altitude média de 100 metros. Estes dados foram coletados a cada 4 metros em linhas N-S com espaçamento de 400 metros entre si e linhas de controle com direção E-W espaçadas em 8 Km entre si (Fig. 31).

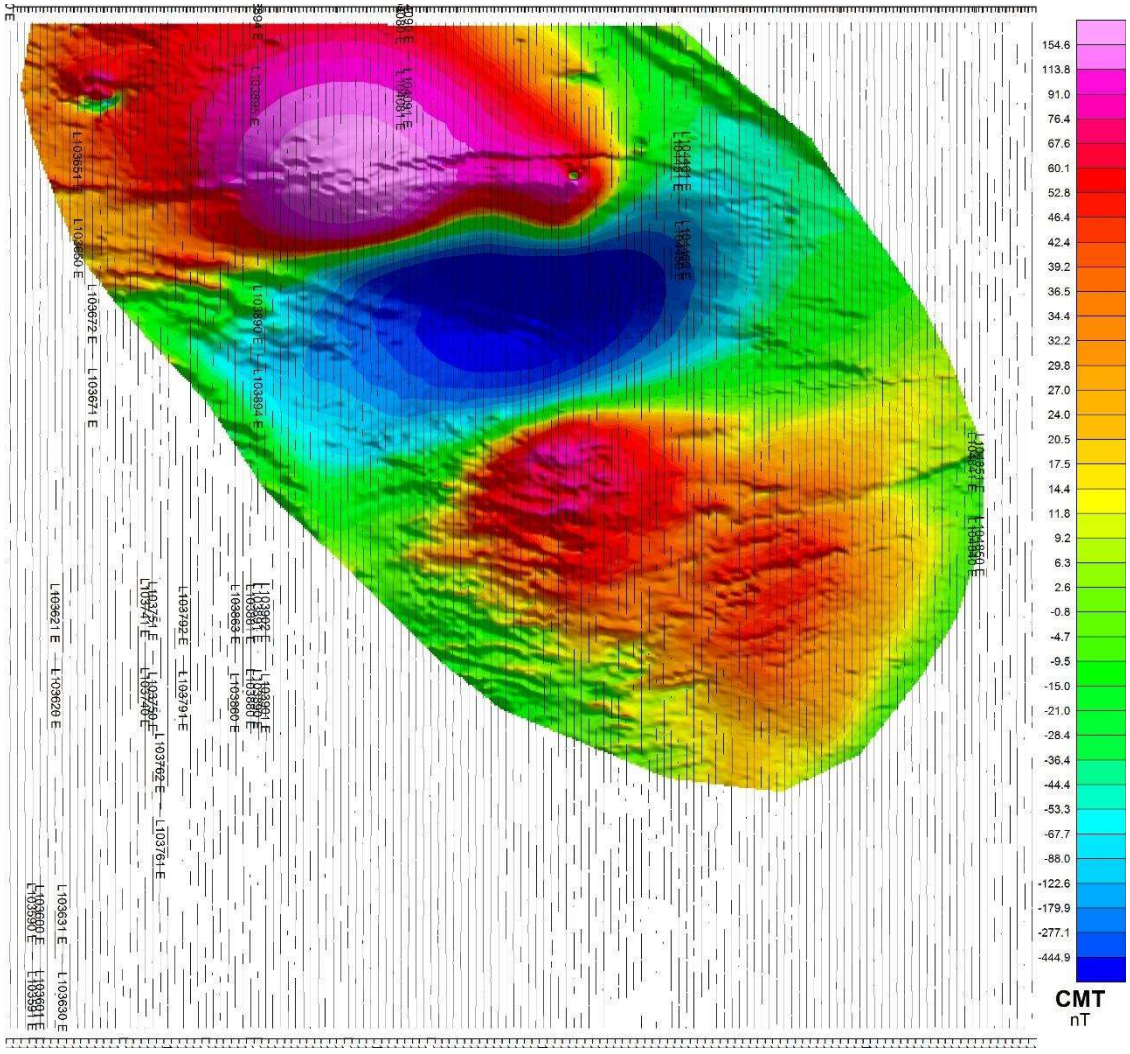


Figura 30 - Mapa das linhas de voo realizadas pela CODEMIG durante a coleta de dados geofísicos na cidade de Pratinha-MG.

A declinação, inclinação e intensidade do campo magnético total da área no momento da coleta de dados pela CODEMIG foi obtido pelo site do Departamento de Administração Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA). Seus respectivos valores foram -20,6974° de declinação, -29,634° de inclinação e 23290,3 nT de intensidade do campo magnético Total.

3.3 - Obtenção do MDE, imagens de satélite e mapa de deslocamento em campo

As imagens de satélite e modelo digital de elevação (MDE) são utilizadas para duas finalidades principais. A primeira delas é delimitar as vias de acesso e os limites aproximados da anomalia (auxiliando na movimentação e coleta de dados em campo). A outra finalidade está relacionada a identificação e marcação de lineamentos estruturais regionais para análise e comparação com as encontradas em campo. Dessa forma, as características das imagens utilizadas para cada finalidade também são diferentes.

A delimitação das vias de acesso, exige imagens coloridas (para facilitar a identificação de estradas rurais) e atualizadas, já que as mesmas mudam constantemente.

O processo de confecção do mapa de deslocamento envolve criar um arquivo vetorial do tipo pontos no ArcMAP. Esses pontos são distribuídos de forma a definir os limites do mapa desejados (recomenda-se a utilização de no mínimo quatro pontos para minimizar deformações na figura após o georreferenciamento) com base na anomalia fornecida pelo mapa de sinal analítico da CODEMIG. Esses pontos são então transformados na extensão .kml e exportados para o *Google Earth*. Com isso, obtém-se uma imagem da área (nesse caso foi obtida uma imagem do CNES Airbus datando de 2021), que é então georreferenciada no ArcMAP e pode-se finalmente desenhar os prováveis limites da anomalia e os acessos (Fig. 32).

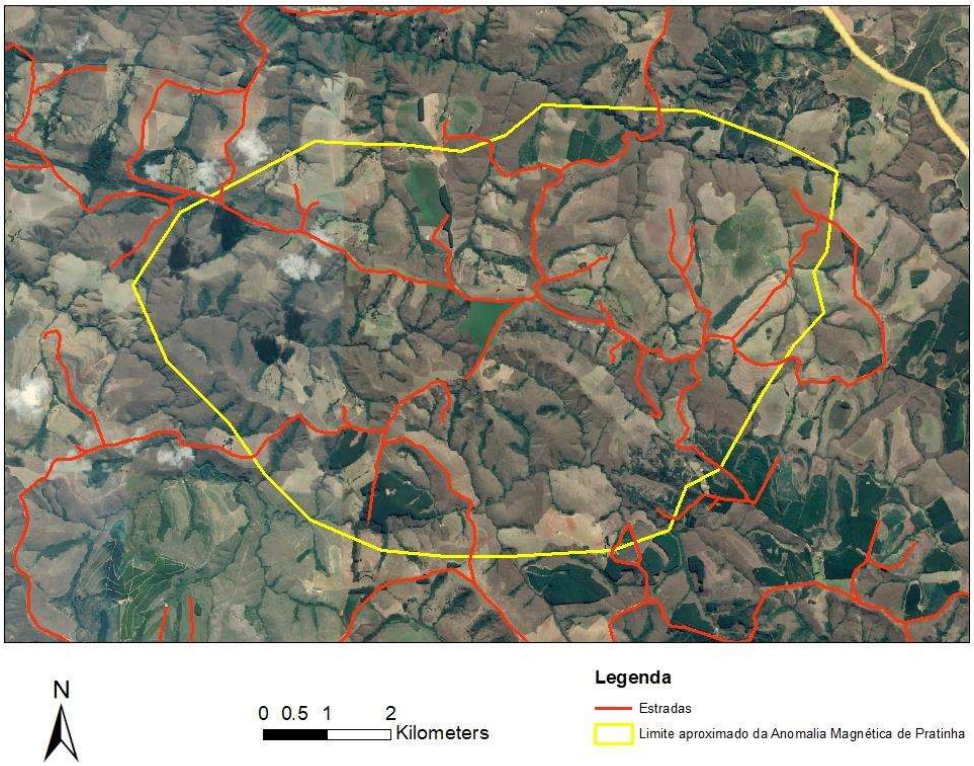


Figura 31 - Mapa de vias de acesso para facilitar o deslocamento em campo na região da anomalia magnética de Pratinha. Fonte da imagem de satélite: CNES Airbus (2021).

3.4 - Levantamento de lineamentos regionais

Para coleta de estruturas em imagens, mapas de relevo sombreado oferecem melhores resultados que imagens de satélite (Ribeiro *et al*. 2011). A figura 33 mostra um exemplo de coleta de dados utilizando os dois tipos de imagens. Estes mapas podem ser obtidos de satélites diferentes. No caso deste trabalho utilizou-se dados do SRTM para sua confecção.

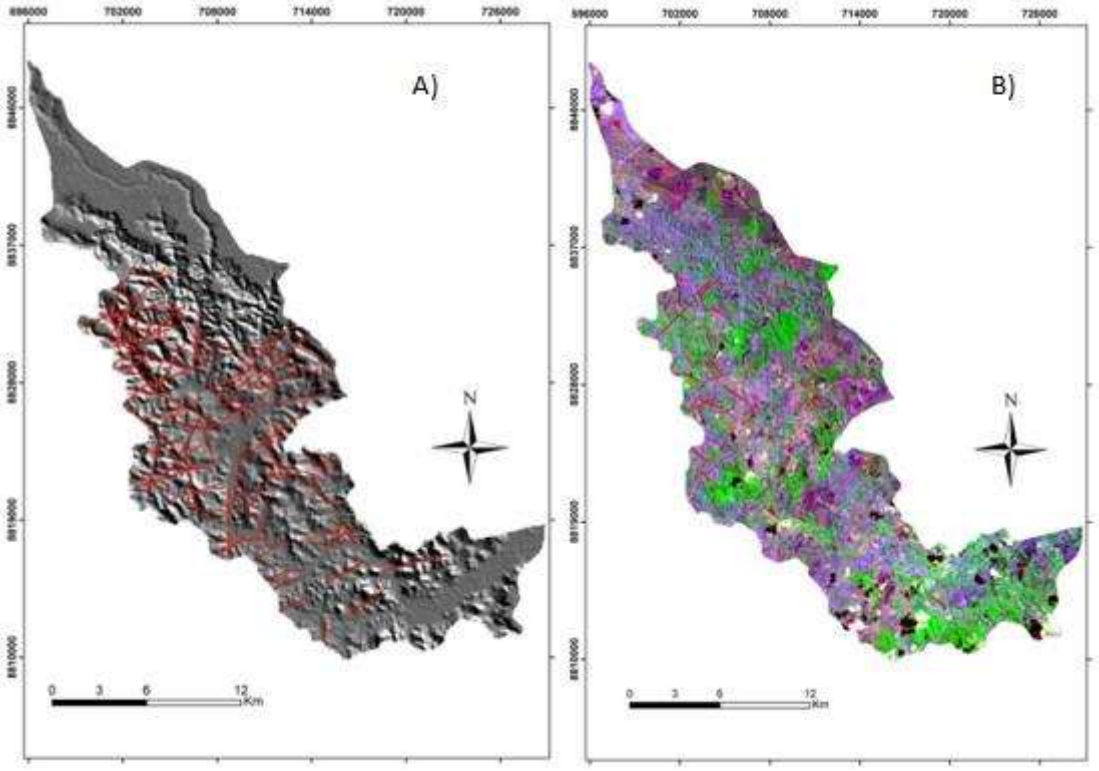


Figura 32 - Comparação entre estruturas coletadas em mapas de relevo sombreadas (A) e imagens de satélite (B). Fonte: Ribeiro *et al*. (2011).

O *arquivo vetorial* dos lineamentos foi então tratado com a extensão *AzimuthFinder* (Salamuni, 2014). Esta extensão retornou os valores de direção do fraturamento. Há duas maneiras possíveis de se trabalhar com esta extensão. A primeira delas, chamada pelo aplicativo de frequência, cataloga a direção de cada linha reta do fraturamento. A segunda opção chamada de comprimento define um peso de acordo com a extensão de cada fratura para análise.

Os dados fornecidos são a direção do lineamento e o peso adequado de acordo com sua persistência. O mergulho não pode ser obtido. Estes dados são transferidos então para o programa Excel.

Estes dados são então transferidos ao programa DIPS que gera os diagramas de roseta.

3.5 - Levantamento estrutural em campo

Para realizar o levantamento de dados em campo, de posse do mapa de vias de acesso, deve-se locomover até a região com os seguintes materiais de campo:

- Martelo de geólogo;
- Caderneta ou caderno para anotação das observações de campo;
- Placa de alumínio pequena para apoiar o celular e facilitar a coleta dos dados;
- Caneta;
- GPS;
- Fita métrica;
- Perneira;
- Filtro solar;
- Água;
- Celular com o aplicativo *Field Move Clino* instalado e funcional; e
- Bússola para atestar ou calibrar o aplicativo.

Deve-se procurar por locais próximos ou dentro da anomalia onde possa-se notar rochas com padrões de fraturamento visíveis. Uma vez que se encontra um afloramento, utiliza-se o GPS para marcar as coordenadas e a altitude do local. Estes dados são anotados na caderneta e o ponto é identificado. Pode-se então catalogar as foliações e os fraturamentos encontrados naquele ponto (Fig. 34). Os dados coletados para este trabalho foram a atitude de foliações e fraturas, medindo também a persistência caso ocorram fraturas de maior porte. Como o trabalho não tem foco na hidrogeologia dados como presença de água e umidade não foram coletados.

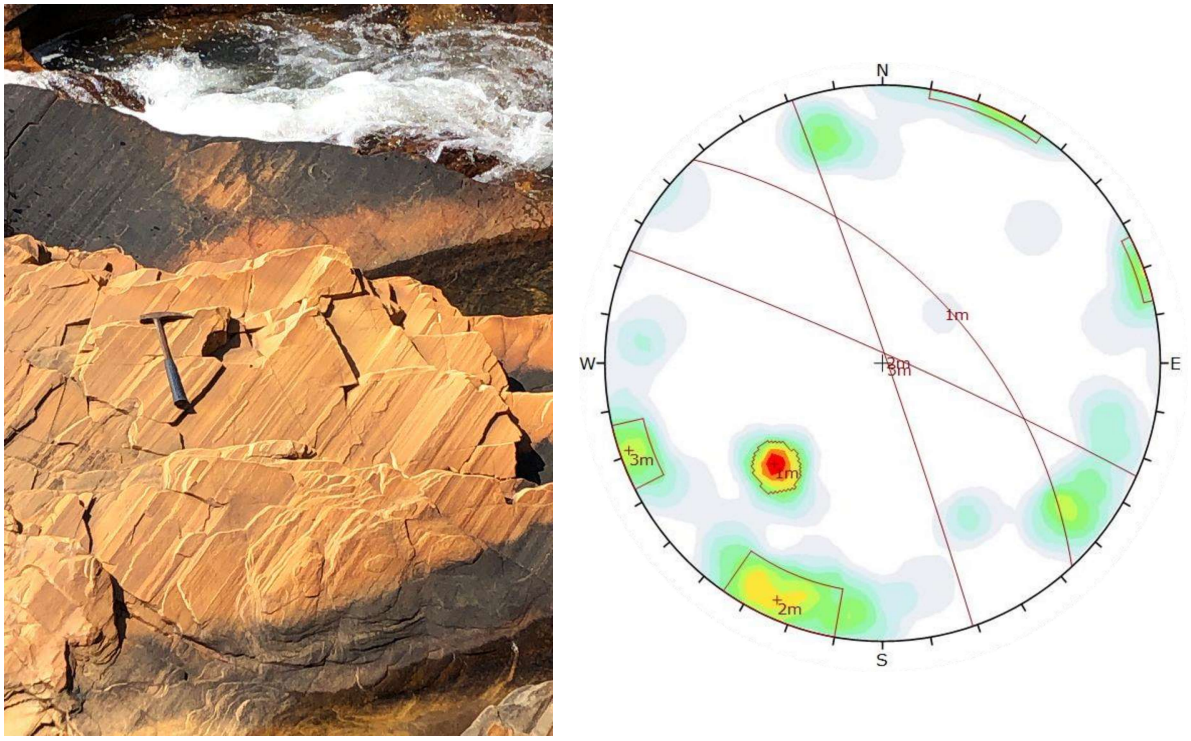


Figura 33 - Fotografia tirada durante o trabalho de campo em quartzito aflorante no ponto MP7 (esquerda) e Diagrama de roseta dos 47 fraturamentos coletados no ponto (direita).

Utilizou-se neste caso a nomenclatura CLAR (alemã) para descrição geométrica das fraturas e atitude das camadas e foliações. Esta nomenclatura facilita a descrição. Nesta nomenclatura são utilizados somente a direção do mergulho (perpendicular à direção da camada no sentido em que ela mergulha) e o valor do mergulho (medido a partir da horizontal com valores de 0 a 90°).

A coleta de estruturas foi realizada em cortes de estrada, encostas e topos de morro e leitos de rio. Deve-se lembrar que por se tratar de uma região predominantemente rural, estruturas preservadas são raras dentro do domo da anomalia, o que resultou em apenas 8 pontos de coleta válidos encontrados mesmo percorrendo todas as vias de acesso próximas ao polígono da anomalia. Estes afloramentos foram demarcados de MP1 a MP8 (Fig. 35). E estruturas diferenciadas como a presença de diques ou fenitizações podem ser anotadas separadamente para análise posterior.

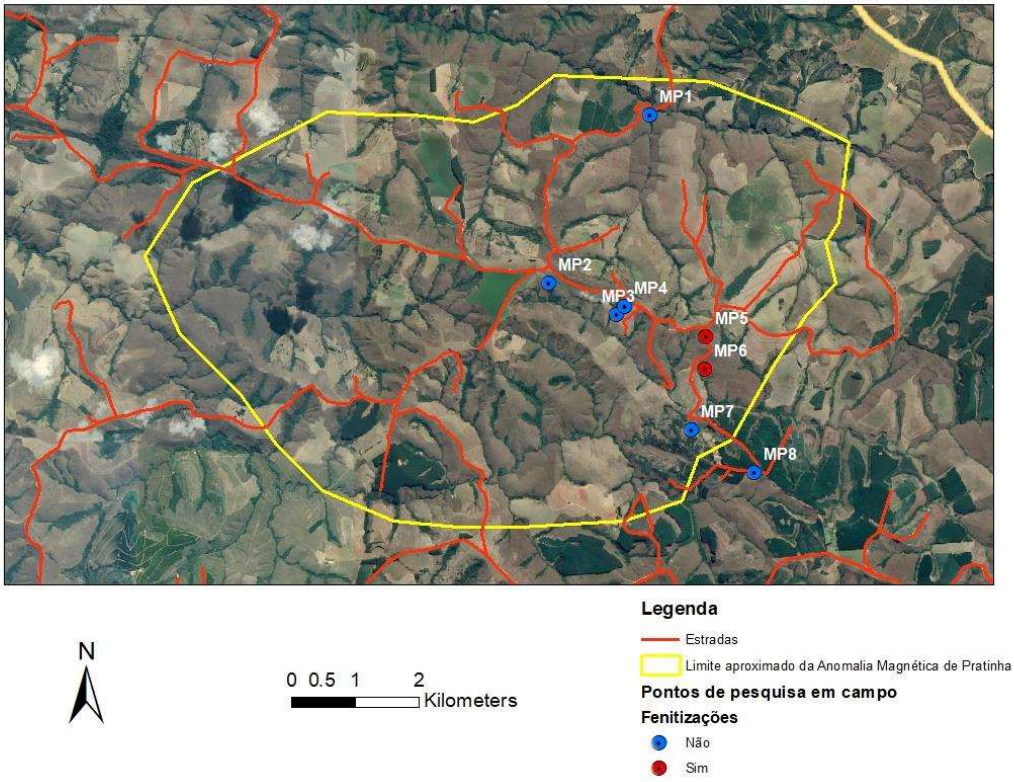


Figura 34 - Mapa de vias de acesso e pontos de coleta do trabalho. Fonte da imagem de satélite: CNES Airbus (2021).

3.6 - Tratamentos dos dados estruturais de campo

O primeiro passo no tratamento é anotar os dados em tabelas no Excel já na forma como serão inseridos no DIPS. Os dados podem ser separados pela nomenclatura do afloramento onde foram coletados e uma tabela contendo os dados de todos os fraturamentos também deve ser criada para que se possa realizar uma análise mais ampla e facilitar assim a comparação com os dados retirados das imagens de satélite.

Os dados são então inseridos no programa de computador DIPS, onde pode-se gerar estereogramas e diagramas de rosetas de todos os afloramentos separadamente, assim como dos dados gerais e um diagrama de roseta das fraturas retiradas das imagens de satélite, para análise das estruturas no local. Estereogramas não são necessários no caso das imagens de satélite, uma vez que não é possível determinar o mergulho destes lineamentos.

Resta então a análise dos dados. O posicionamento geográfico dos estereogramas e/ou diagramas de roseta sobre o mapa da anomalia pode

auxiliar na visualização dos padrões de fraturamento presentes. Isso permite ver exatamente os principais padrões de fraturas em relação a anomalia magnética. Utilizar as rosetas nesta etapa facilita ainda mais a visualização dos padrões de fraturamento, embora não seja possível notar como o mergulho se apresenta.

A comparação da roseta representando os dados de campo totais com a obtida através do mapa de relevo fornece dados de como a intrusão do corpo mineral pode ter afetado o fraturamento logo acima dele. Além disto, pode-se observar o padrão geométrico das foliações locais em relação às foliações regionais.

3.7 - Processamento dos dados geofísicos

Os dados do levantamento magnetométrico da CODEMIG (2006) foram processados no Oasis Montaj. Os principais produtos gerados nesse processo foram mapas da anomalia magnética, mapa de gradiente total, modelos 2D e 3D da anomalia assim como a visualização do modelo 3D do corpo utilizando o método de inversão do vetor de magnetização (MVI).

Este método foi apresentado por Ellis *et al*. (2012) e permite a recuperação do vetor de magnetização incluindo a sua direção e magnitude. O MVI leva em conta não somente a susceptibilidade magnética, mas também a magnetização remanente e a anisotropia. Este método é o mais recomendado para estimar o modelo inverso por alguns autores como (Telford *et al*., 1990) pois as propriedades magnéticas das rochas são caracterizadas por sua densidade de magnetização.

Deve-se atentar a diversos passos e parâmetros necessários na etapa de inversão dos dados magnéticos, por se tratar de um processo complexo, entre eles a geração de grids, utilização da declinação e inclinação magnética no local, data da aquisição de dados e tamanho de célula utilizada.

A declinação e inclinação podem ser obtidos no site da *National Oceanic e Atmospheric Administration (NOAA)*, necessitando-se da data de aquisição dos dados e sua localização, ambas disponíveis no banco de dados da CODEMIG.

Quanto ao tamanho da célula utilizada na confecção do grid, o recomendado pelo programa seria a utilização de células com ¼ do espaçamento entre linhas na coleta dos dados, nesse caso, as células seriam de 100 m x 100 m, esse tamanho de célula foi utilizado para a confecção da maioria dos produtos. Entretanto quanto menor a dimensão das células, maior densidade de células se tem na região de estudo, que por si própria já apresenta grandes proporções.

A operação de inversão magnetométrica para criação dos modelos 3D, utilizou células de diferentes tamanhos para sua geração (250 m x 250 m; 500 m x 500 m; e 1000 m x 1000m). Os produtos gerados forneceram uma interpretação satisfatória da anomalia. Usou-se também um polígono irregular para delimitar a anomalia magnética afim de diminuir o número de células utilizadas, diminuindo assim o tempo de processamento, e retirar qualquer influência que Pratinha II possa ter sobre Pratinha I.

O tamanho das células influencia no tempo de processamento assim como nas anomalias detectadas. Células muito grandes impedem que anomalias com baixa amplitude sejam detectadas, mas não há sentido em utilizar células muito inferiores ao espaçamento de voo, pois faltarão informações necessárias para preencher as células com dados mais precisos.

Três inversões *sem restrição* foram realizadas. Este tipo de inversão não considera disponibilidade de dados a priori e é o mais indicado no caso de Pratinha I, pois além de não terem sido realizadas perfurações, o corpo se encontra em grande profundidade e os dados geológicos disponíveis são apenas da superfície, não sendo relevantes para que fossem utilizados como restrição na criação dos modelos.

Estes modelos forneceram dados de proporção e localização da anomalia. O polígono foi também exportado para o ArcMap, onde se criou um arquivo vetorial para delimitação em planta do corpo e auxiliar na correlação com a geologia em superfície e os dados estruturais obtidos no trabalho em campo.

Pode-se então analisar a totalidade dos dados para entender melhor a anomalia de Pratinha I. Relacionando os dados rúpteis e dúcteis obtidos em campo com os resultados do processamento de dados geofísicos.

3.8 - Interpretação dos resultados

A última etapa consiste em correlacionar os dois tipos de dados, estruturais e geofísicos, para interpretar a anomalia magnética de Pratinha I. Estes dados também podem ser comparados ao restante das intrusões da PIAP, já que sua formação é similar, e aos escassos estudos existentes.

4 - RESULTADOS

4.1 - Geologia Estrutural

Utilizou-se do mapa de relevo sombreado do SRTM para demarcar os lineamentos mais relevantes observáveis a olho nu próximos a anomalia de Pratinha I (Fig. 36).

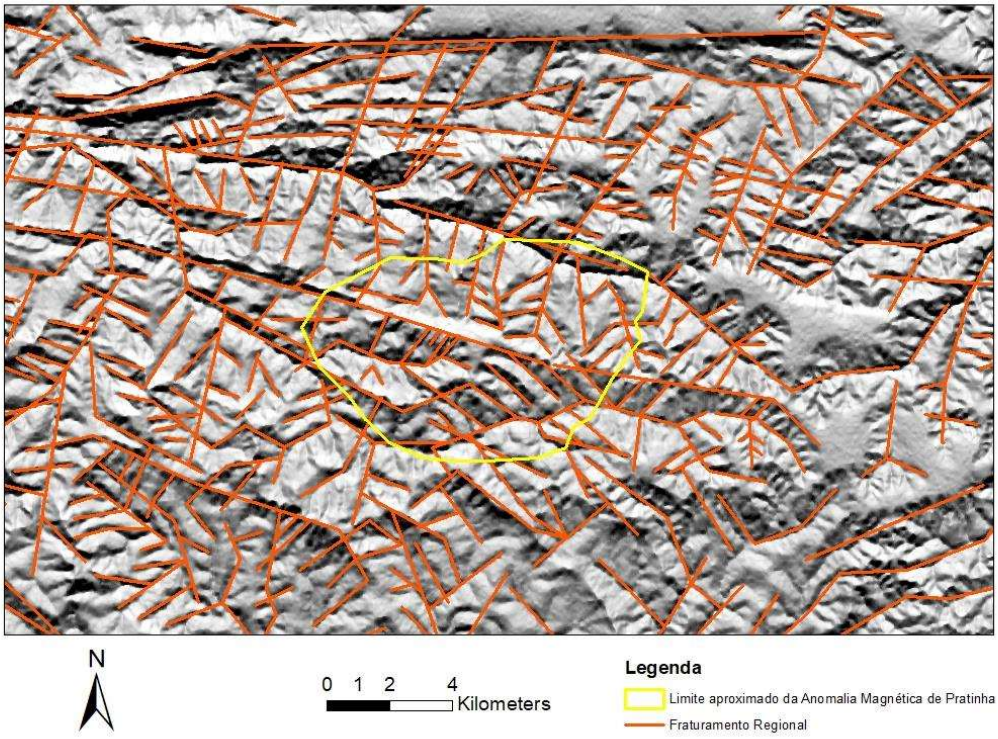


Figura 35 - Lineamentos obtidos na análise do mapa de relevo sombreado.

Após usar o *AzimuthFinder* para definir a direção desses lineamentos e transformá-las em direção do mergulho com o Excel, pode-se utilizar o DIPS para obter o diagrama de roseta (Fig. 37).

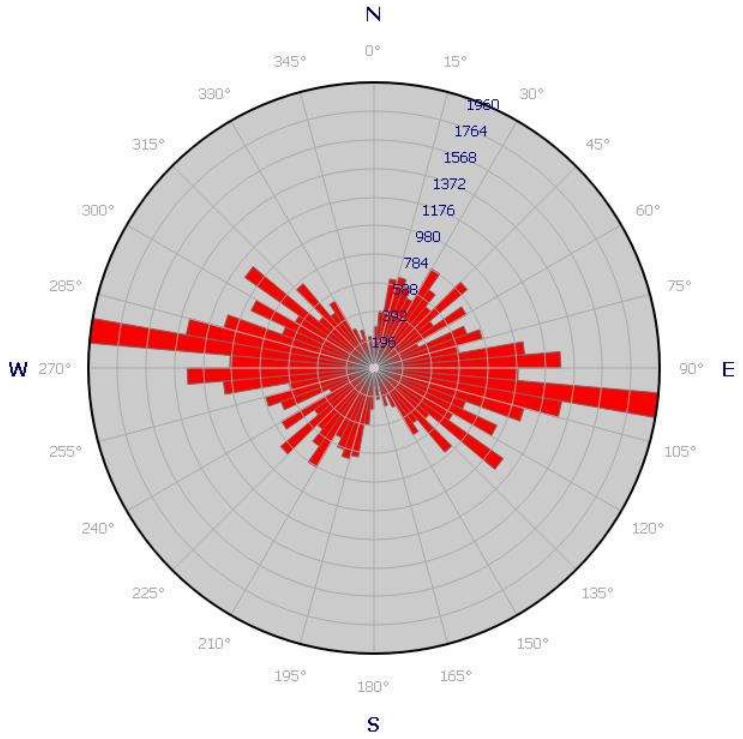


Figura 36 – Diagrama de roseta dos lineamentos coletados por análise de imagem para a região de Pratinha.

Como se pode notar os lineamentos WNW-ESE são os mais significativos regionalmente. Menos significantes, os lineamentos NNE-SSW também estão presentes e foram detectados também no trabalho de Campos (2022), embora não sejam os principais padrões. A expressão deles pode ser notada pela análise de lineamentos superiores a 1 Km em imagens da região do complexo de Tapira (Fig. 38). Deve-se destacar que os lineamentos WNW-ESE em parte representam as direções de camadas de quartzitos e foliações aflorantes e marcam bem a rampa lateral do Grupo Canastra na região. Em campo foram encontradas direções de fraturas paralelas a estes lineamentos e que podem representar reativações de estruturas mais antigas. Portanto, a expressão destes lineamentos observada na figura 37, deve ser interpretada com esta ressalva, isto é, nem sempre eles representam fraturamentos.

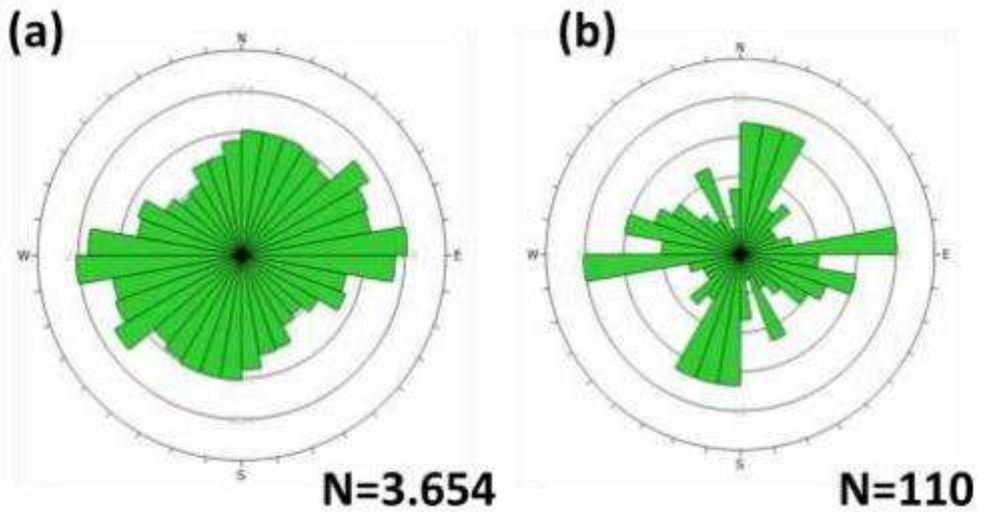


Figura 37 - Diagramas de roseta de todos os lineamentos identificados em Tapira (a) e somente dos com persistência superior a 1Km. Fonte: Campos (2022).

Lineamentos notados em Pratinha são muito similares aos encontrados nos complexos de Araxá (Moraes *et al*., 2008) e Tapira (Campos, 2022).

Quanto as fraturas observadas em campo, foram coletados 208 dados de fraturamento em 8 pontos distintos. Estes pontos foram nomeados de MP1 a MP8. Por se tratar de uma área onde não ocorre exploração mineral, a coleta de dados rúpteis e dúcteis em campo depende da disponibilidade de rochas aflorantes ou de cortes de estrada revelando os padrões de fraturamento e de foliações, destacando-se que a área é marcada por formações xistosas, que comumente não preservam dados rúpteis.

As litologias encontradas em campo se resumem a quartzitos e xistos com hematita e micas. A figura 39 mostra a direção e mergulho das foliações destas rochas encontradas em cada um dos pontos de campo sobre a delimitação da anomalia aproximada obtida do gradiente total fornecido pela CODEMIG.

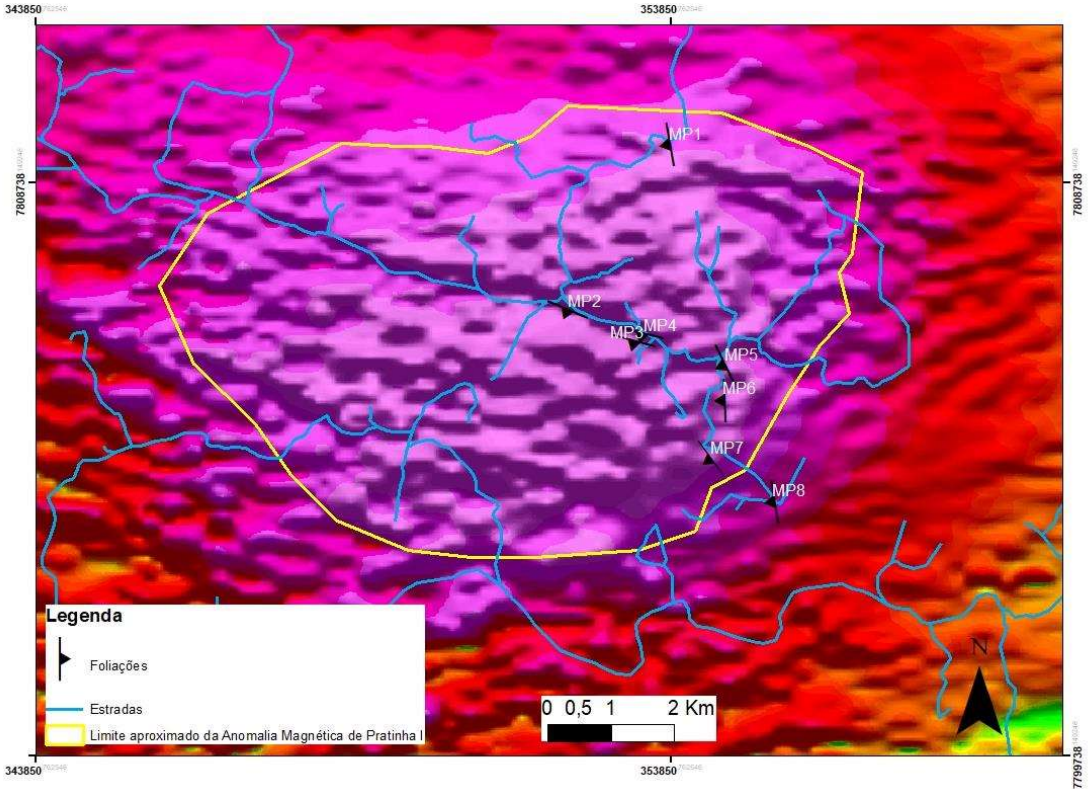


Figura 38 - Mapa do Gradiente Total com a delimitação da anomalia magnética de Pratinha I utilizada para locomoção durante o trabalho de campo com a direção do mergulho das foliações nos pontos de pesquisa em campo.

Como se pode notar, as foliações apresentam mergulhos suaves, cerca de 30° para os quadrantes W e SW, com direções variando entre 270 e 0°. Desta forma não há sinais visíveis que a intrusão de Pratinha I alterou a posição espacial das foliações próximo da atual superfície, talvez devido a profundidade em que está a intrusão. Este fato fica comprovado quando se compara os dados locais com dados regionais coletados por outros autores (Silva, 2003; Seer & Moraes, 2011) (Fig. 40). O arqueamento das foliações e rochas encaixantes nas proximidades dos demais complexos da APIP é fenômeno comum (Borges, 2018; Campos, 2022) e deve ser observado nas proximidades do corpo de Pratinha I, mas apenas em profundidade.

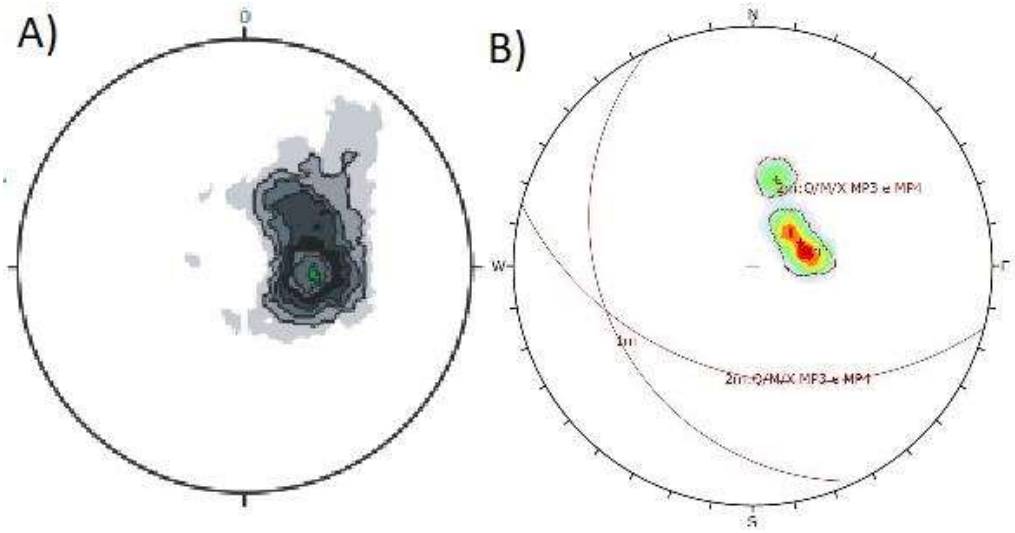


Figura 39 - Estereograma das foliações observadas regionalmente por Seer & Moraes (2011) (A) e neste trabalho (B).

Os dados de fraturamento coletados foram organizados em tabelas no Excel e tratados no DIPS, gerando diagramas de roseta e estereogramas. Uma forma mais simples de visualizar a distribuição espacial dos fraturamentos é localizar as rosetas (Fig. 41) ou estereogramas (Fig. 42) sobre o mapa da anomalia, similar ao feito por Borges (2018).

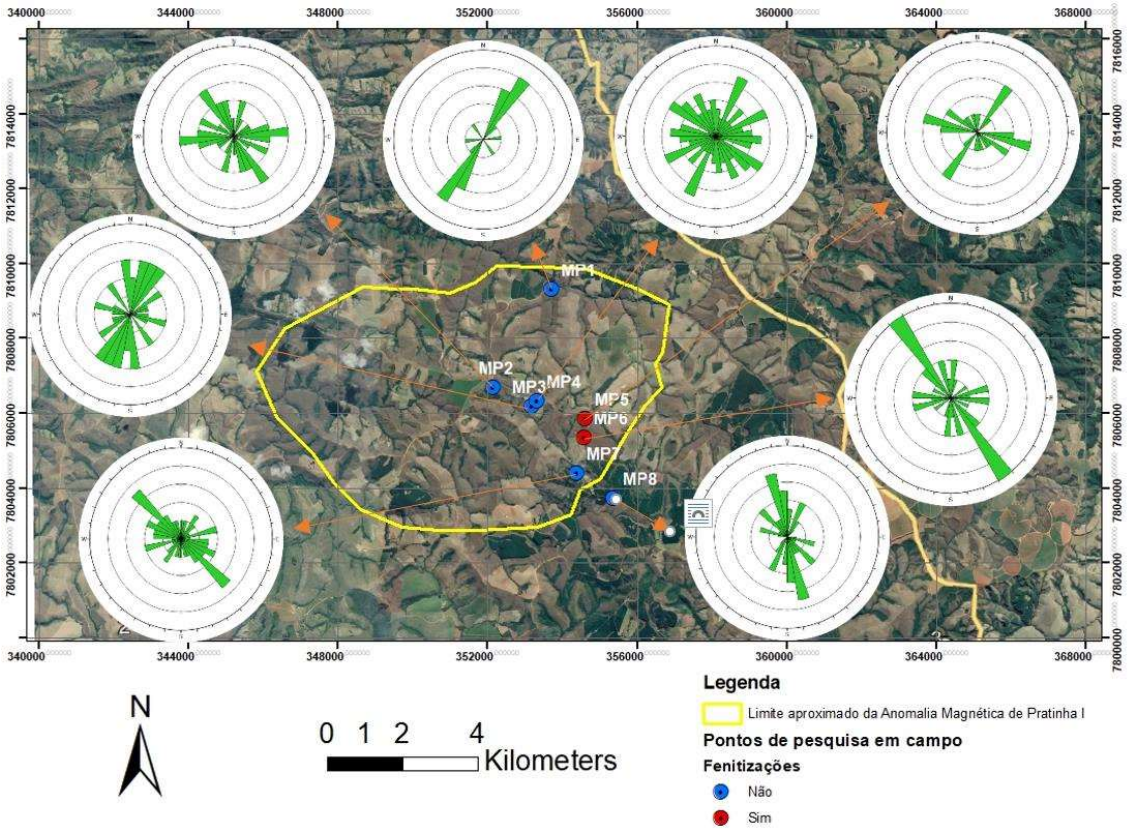


Figura 40 - Mapa dos Pontos de Amostragem com diagrama de roseta dos fraturamentos coletados em cada ponto.

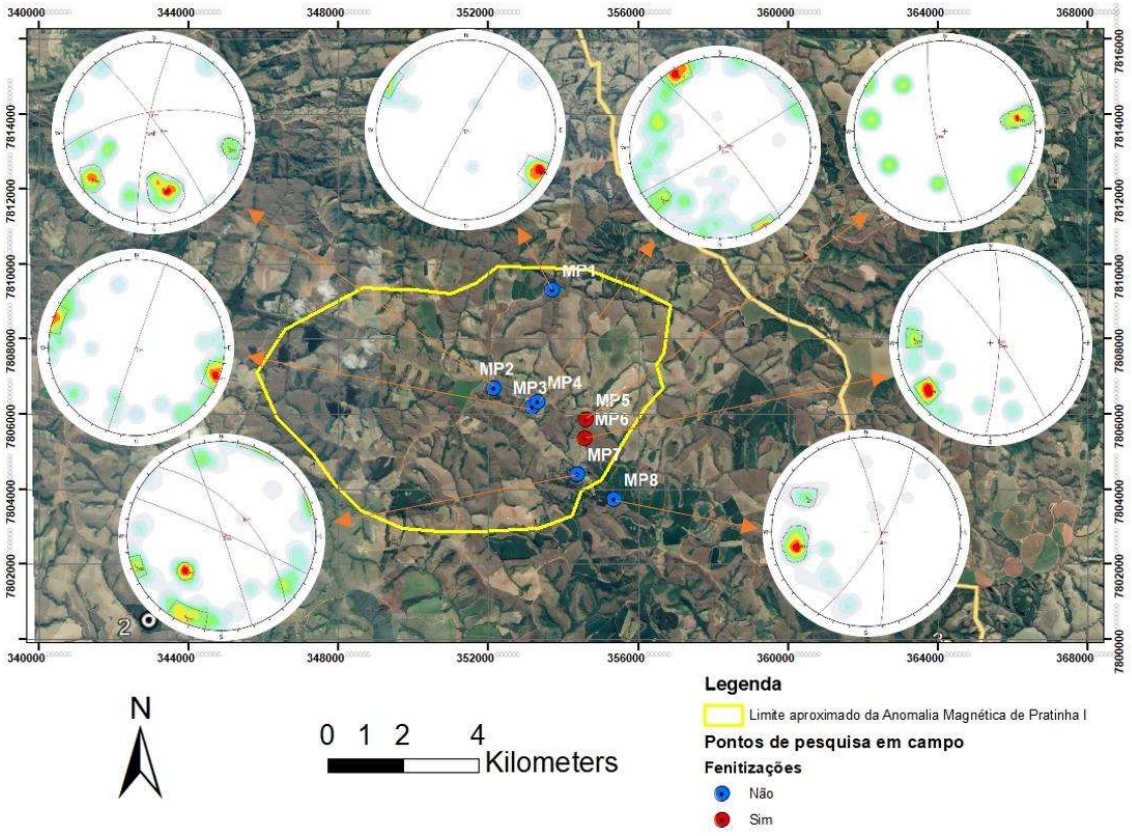


Figura 41 - Mapa dos pontos de amostragem com os estereogramas dos fraturamentos dos respectivos pontos de amostragem.

O diagrama de rosetas tem mais simples interpretação sobre fotografias aéreas e facilita a visualização do todo. Pela sua análise, pode-se notar que os padrões de fraturamento NNE-SSW e NNW-SSE são os mais relevantes na região.

Os estereogramas por sua vez apresentam adicionalmente dados de mergulho e através deles pode-se notar que fraturamentos verticais e quase verticais são muito comuns na região. Mergulhos inferiores a 40° são bastante incomuns e a horizontalidade é quase inexistente.

Nos pontos MP5 e MP6, observou-se a presença de veios preenchidos com caulim, produto da alteração intempérica de feldspato alcalino. Estes veios originaram-se pela percolação de fluidos que ascenderam às regiões mais rasas durante o evento de formação do corpo intrusivo da anomalia magnética de Pratinha I. Estes fluidos podem tanto ter usado fraturamentos pré-existentes

como ter criado novos padrões para subir a superfície e neste caso, devem ter sido gerados por fraturamento hidráulico.

Por este motivo, estes dados foram tratados separadamente. Foram criados estereogramas destes fraturamentos (Fig. 43) e eles foram comparados com o restante dos padrões observados durante o trabalho de campo (Fig. 44).

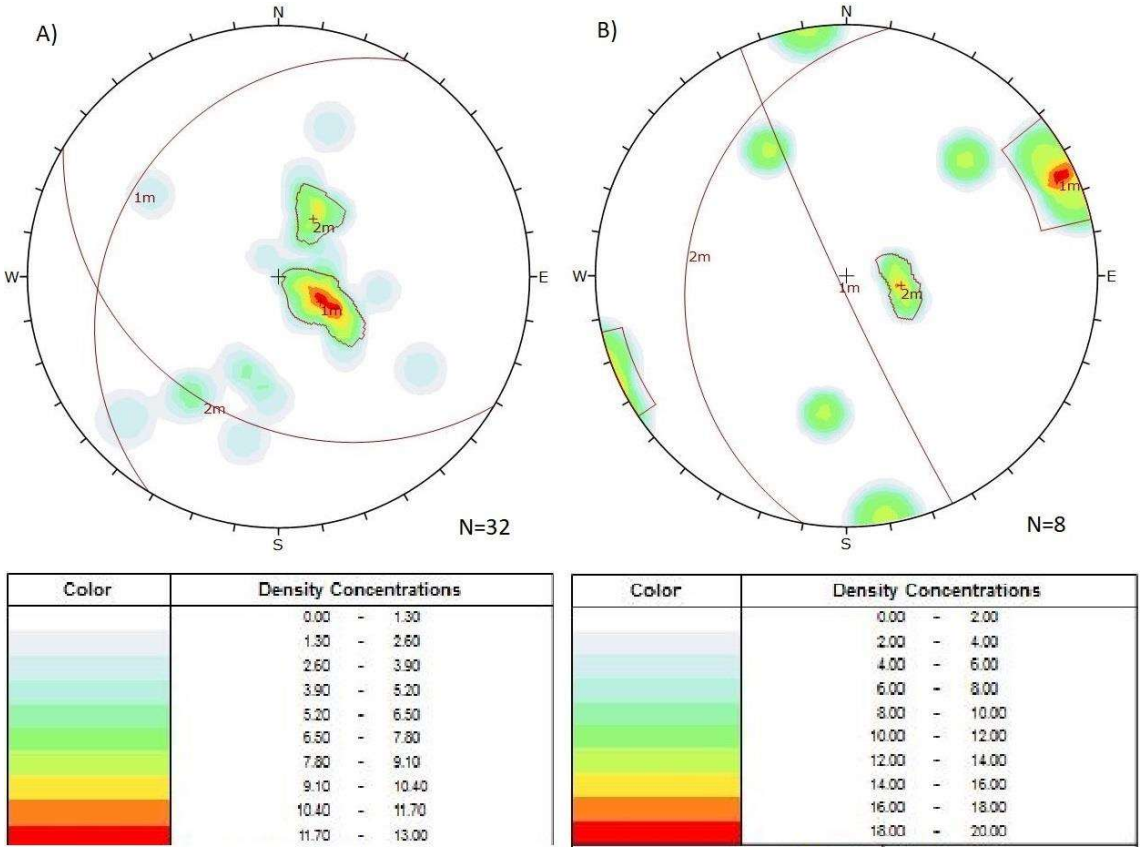


Figura 42 - Estereogramas do fraturamento preenchido com Caulim em MP5 (A) e MP6 (B).

Como se pode notar a família identificada como 1m em MP5 e 2m em MP6 é de fraturas que são inexistentes nos demais pontos amostrados (Fig. 44), isso indica que a pressão causada pela ascensão dos fluidos foi responsável pela criação de padrões de fraturamento não encontrados em nenhuma outra parte da área investigada e devem ser restritos às proximidades das regiões afetadas pela ascensão dos fluidos.

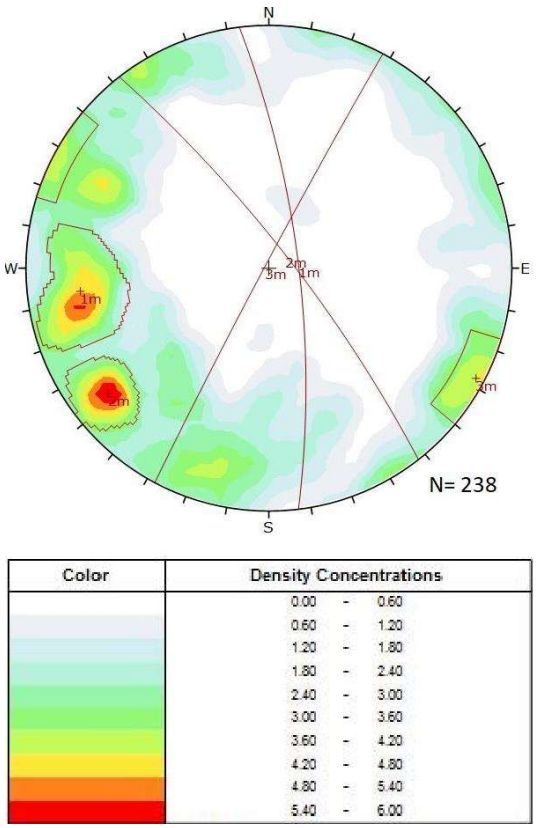


Figura 43 - Estereograma do fraturamento em campo, exceto de fraturas preenchidas com feldspato.

Por fim, pode-se comparar o fraturamento observado em campo ao fraturamento obtido por análise visual de imagens através de seus respectivos diagramas de roseta (Fig. 46).

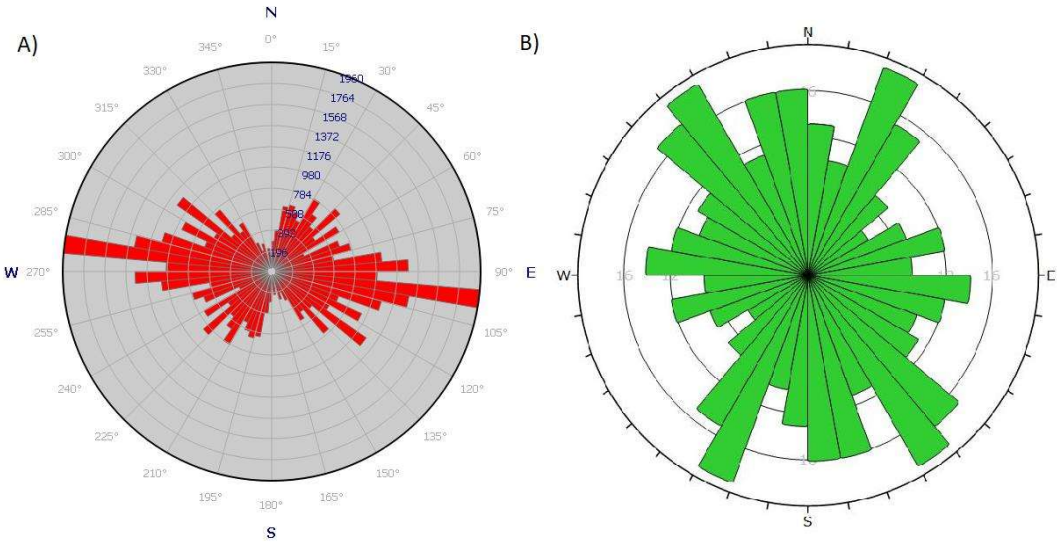


Figura 44 - Diagramas de roseta dos lineamentos coletados em fotografias aéreas (A) e dos fraturamentos observados em campo (B).

O principal padrão de lineamentos notado em imagens WNW-ESE é pouco relevante em relação aos fraturamentos medidos em campo como já observado anteriomente, porém os padrões NW-SE e NE-SW se mostram muito importantes localmente. Entretanto o mais interessante ao se comparar os dois diagramas é o fraturamento NNW-SSE. Este padrão de fraturamento é muito significativo nos fraturamentos observados em campo, porém não há correspondência nos lineamentos extraídos regionalmente. Dessa forma, este padrão pode ser considerado um padrão local importante (Fig. 46).

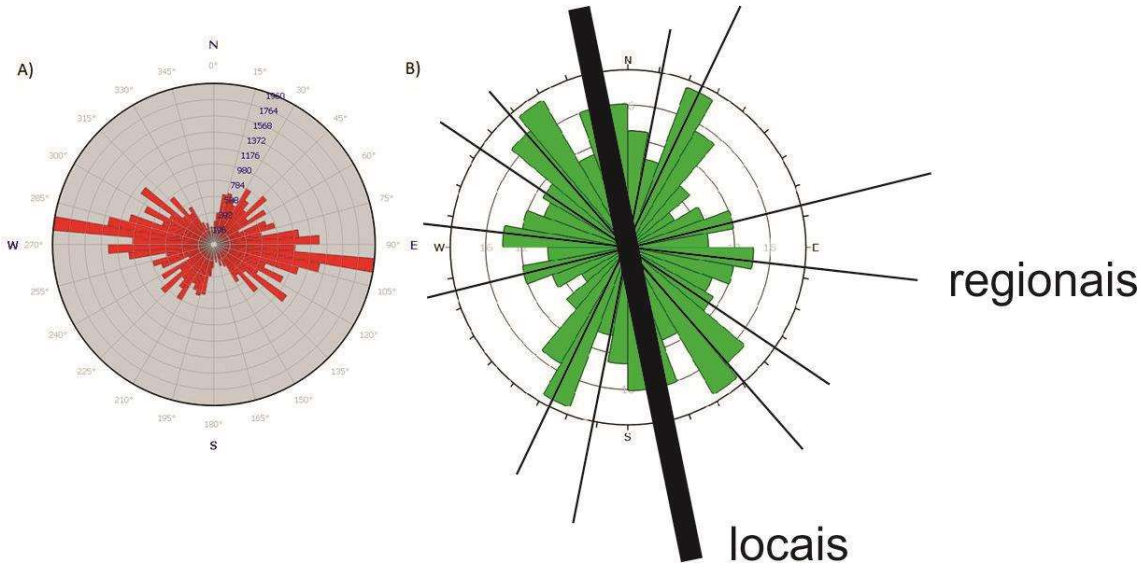


Figura 45 - Comparação entre os diagramas de roseta adquirido em análise de imagens (A) e no trabalho de Campo (B). Os padrões regionais são destacados por linhas mais finas e o padrão local por uma linha espessa.

Este importante padrão local de fraturamento dificilmente se deve a reativação de estruturas pré-existentes devido à ascensão do corpo intrusivo de Pratinha I. Pois se este fosse o caso, a foliação local teria sofrido alterações e não seria semelhante a encontrada na Folha Campos Altos por Seer & Moraes (2011).

Além disso, este mesmo padrão já foi detectado por outros autores como Borges (2018) em Salitre I, Campos (2022) em Tapira e na Folha Campos Altos por Seer & Moraes (2011). Deste modo, o mais provável é que ele possua expressão regional e seja derivado da constante tensão exercida pela placa Sul Americana que está em movimento constante para oeste desde o Cretáceo Superior (Hasui *et al*., 2019).

É difícil notar também padrões anelares ou radiais na região da anomalia, pois não há locais que permitam a coleta de fraturamentos nas proximidades da intrusão, ao contrário do que acontece em muitos dos complexos restantes da PIAP como Barreiro, Serra Negra, Salitre e Catalão, que apresentam um anel de quartzito que os cerca. Esse fato ocorre, pois durante a intrusão do corpo, camadas de quartzitos acima do complexo foram dobradas e posteriormente erodidas, restando apenas um anel de quartzito com as rochas alcalinas no centro (Borges, 2018).

Sendo assim, não há indícios de que a intrusão de Pratinha I causou alterações perceptíveis na geologia estrutural de superfície. A única exceção é o fraturamento hidráulico causado pela ascensão de fluidos durante a formação do corpo.

4.2 - Magnetometria

Foi feito um polígono irregular sobre a anomalia a fim de diminuir o número de células na etapa de inversão. Sobre este polígono foi gerado o mapa do Campo Magnético Anômalo com correção do IGRF (Fig. 47) com o intuito de mostrar a forma e a natureza tripolar da anomalia.

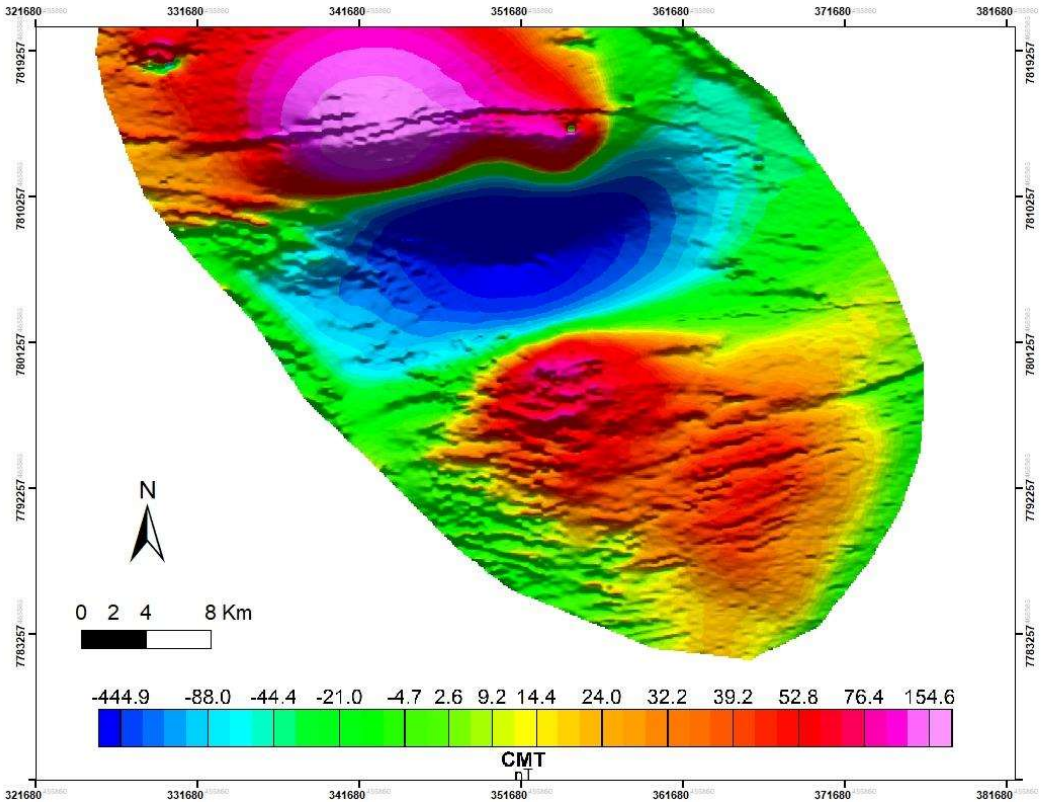


Figura 46- Mapa do Campo Magnético Anômalo.

A anomalia de Pratinha I se encontra na latitude magnética -20,6974°. Devido a esse fato a forma da anomalia de Pratinha I é algo intermediário entre as inclinações -45° e 0° (Fig. 48), com um alto magnético maior ao norte, um baixo magnético grande e outro alto magnético menor ao sul, forma já esperada tendo em vista sua localização. Deve-se ter em mente que fatores como magnetização remanente podem mudar a forma do corpo, o que parece não ser relevante neste caso.

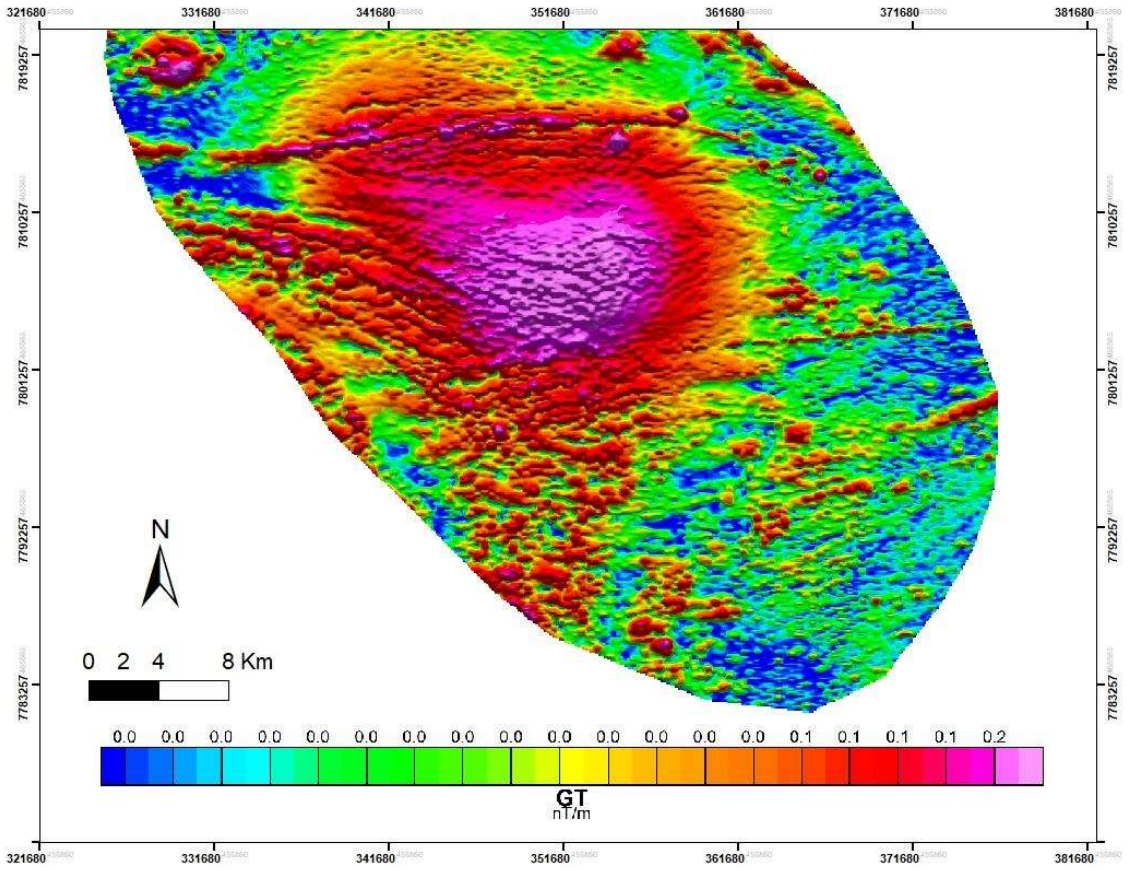


Figura 47 - Mapa de Gradiente Total do Campo Magnético da anomalia de Pratinha I.

Como se pode notar, o gradiente total simplifica a natureza dipolar da anomalia magnética de forma a representa-la como um alto magnético. No caso da anomalia de Pratinha I, mesmo possuindo dois altos magnéticos e apenas um baixo, o sinal analítico a representa como uma única anomalia.

Lineamentos magnéticos externos de alta frequência são visíveis nos arredores do corpo. Também pode-se notar que o método de transformação para zoneamento padrão do Oasis Montaj denominado equalização do histograma tem dificuldade para delimitar de forma adequada o corpo, por isso também se utilizou do método de distribuição normal (Fig. 49) que assume que os dados são de um modelo de distribuição normal.

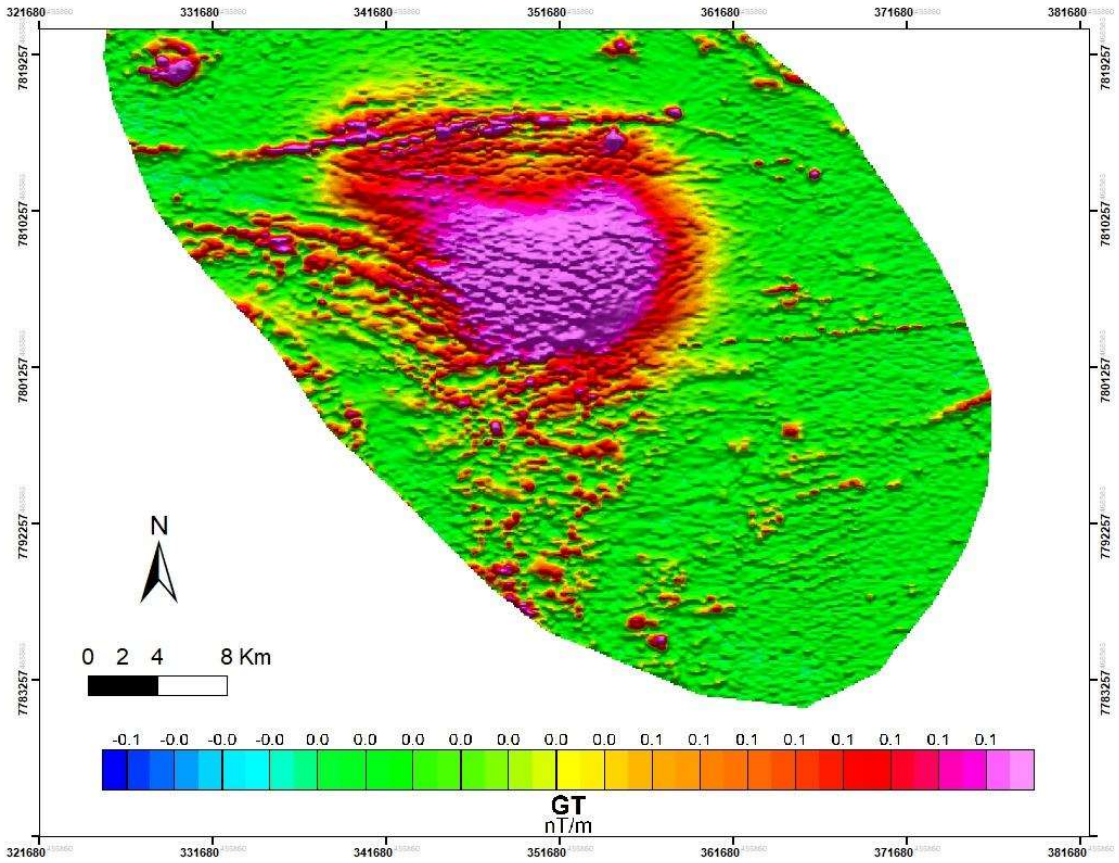


Figura 48 - Gradiente total da anomalia de Pratinha I utilizando distribuição normal no esquema de coloração.

Como se pode ver, o corpo é melhor delimitado pela distribuição normal, sendo assim também se optou por esse esquema de cores no Gradiente Horizontal Total (Fig. 50) já que este filtro é comumente utilizado para delimitar as bordas do corpo mineral.

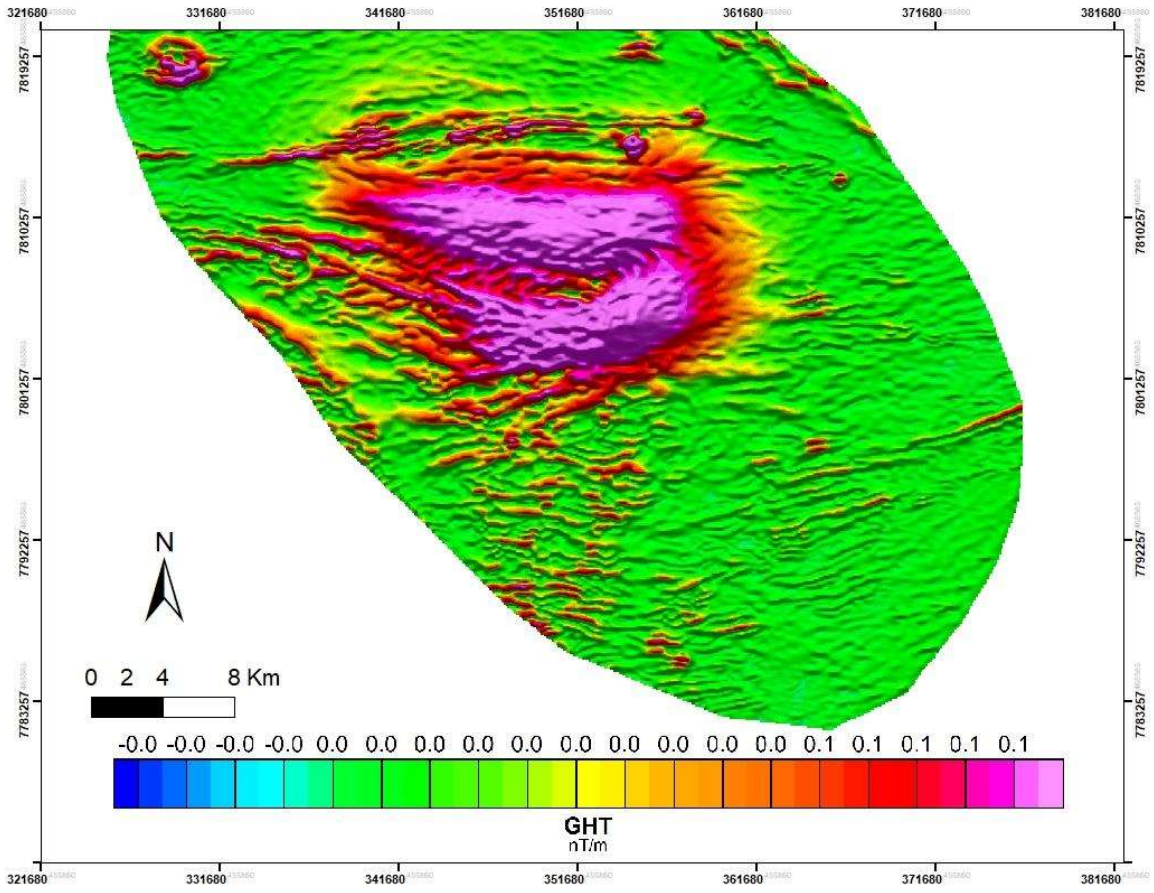


Figura 49 - Mapa do Gradiente Horizontal Total de Pratinha I.

A análise do Gradiente Horizontal Total pode mostrar mudanças laterais abruptas de susceptibilidade, o que auxilia a delimitação do corpo, que neste caso se mostra muito similar a encontrada pelo Gradiente Total. A seguir, utilizou-se a derivada vertical (Fig. 51) para destacar altas frequências, normalmente geradas por corpos mais próximos a superfície.

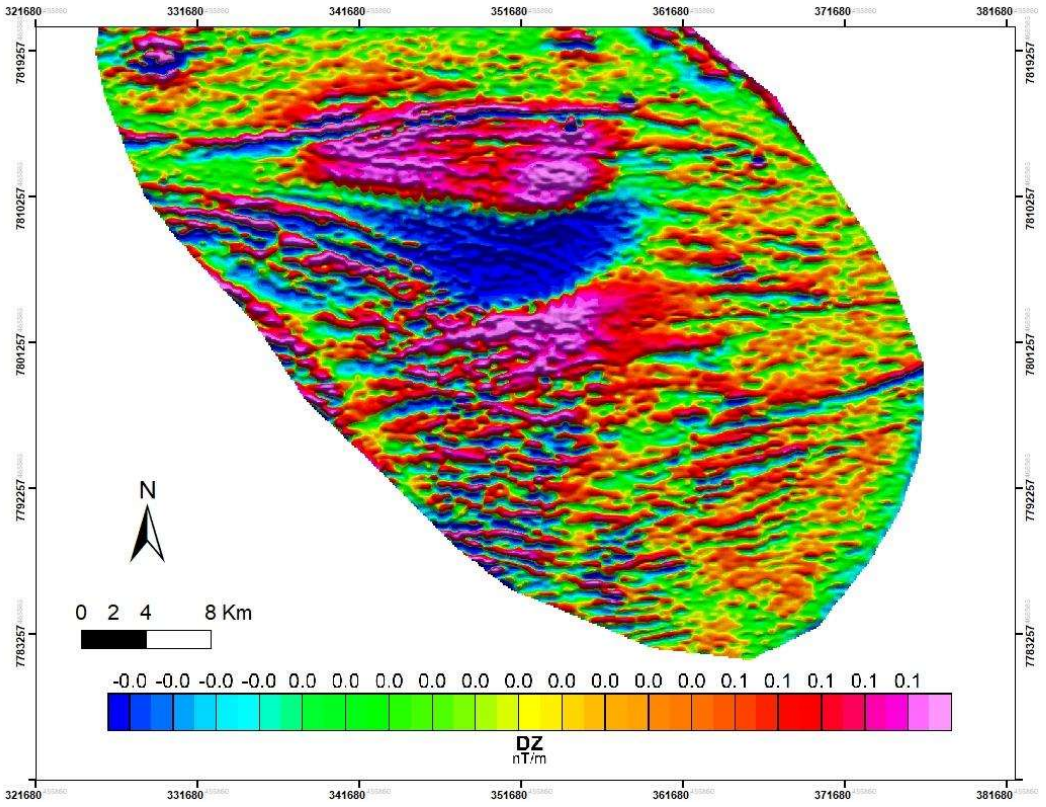


Figura 50 - Derivada Vertical da Anomalia de Pratinha I.

A derivada vertical da anomalia de Pratinha I se assemelha bastante ao mapa do Campo Magnético Anômalo, porém tem-se presença de muitas anomalias de alta frequência pois este método se foca em anomalias mais superficiais, o que evidencia a presença de corpos menores que em outras situações seriam mascarados pela anomalia de Pratinha I. Contudo o foco deste trabalho é Pratinha I, e o filtro neste caso tende a delimitar a parte mais superficial da anomalia, nos dando uma noção melhor de seus limites.

O último dos filtros feitos nesse trabalho foi a Inclinação do Sinal Analítico (*Tilt Derivative*), este filtro foi plotado em cores (Fig. 52) e em tons de cinza (Fig. 53) indicado para localizar contatos verticais entre anomalias e mostra domínios magnéticos mais facilmente notados pela textura na figura em tons de cinza.

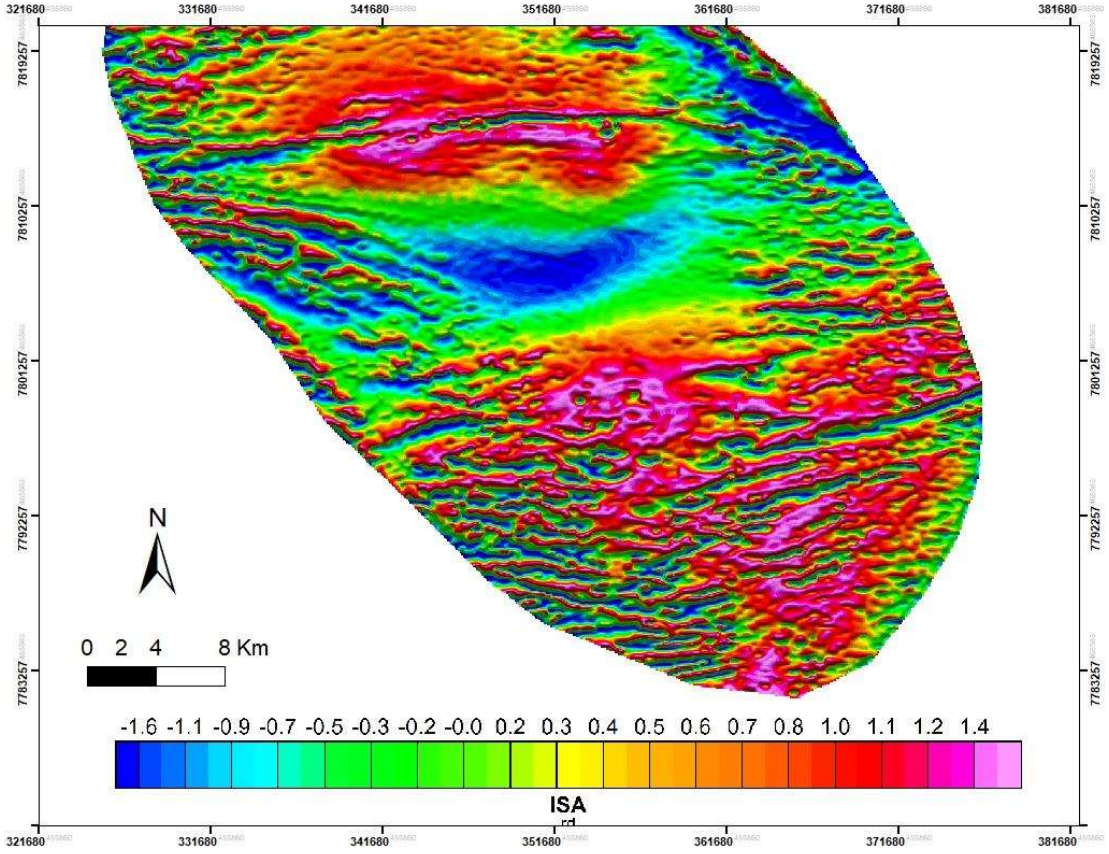


Figura 51- Mapa da inclinação do sinal analítico de Pratinha I em cores.

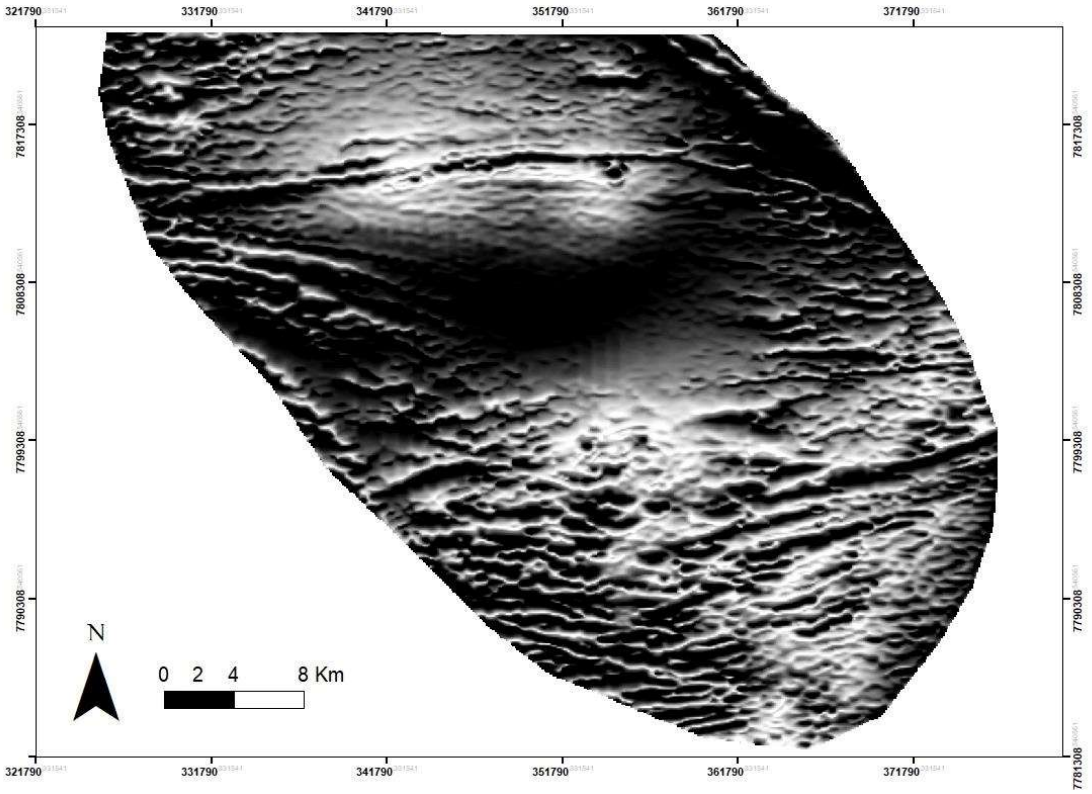


Figura 52 - Mapa da inclinação do sinal analítico de Pratinha I em tons de cinza.

Pela análise da inclinação do sinal analítico pode-se notar que a região é bem caracterizada por diversos lineamentos magnéticos (Fig. 54), porém a intrusão de Pratinha I, parece ter obliterado os lineamentos acima dela devido a sua intensidade. Pode-se notar que o domínio da anomalia de Pratinha I possui um único lineamento magnético que atravessa sua parte superior, próximo ao limite da anomalia. Este lineamento em específico é de grande porte, apresenta orientação E-W e também é muito bem demarcado em todos os produtos gerados. Representa em campo a linha de afloramentos de uma formação ferrífera associada ao Grupo Canastra e descrita por Diniz (2018). Os demais lineamentos magnéticos E-W representam principalmente quartzitos ricos em hematita e magnetita além de xistos com estes mesmos minerais (Seer & Moraes, 2011).

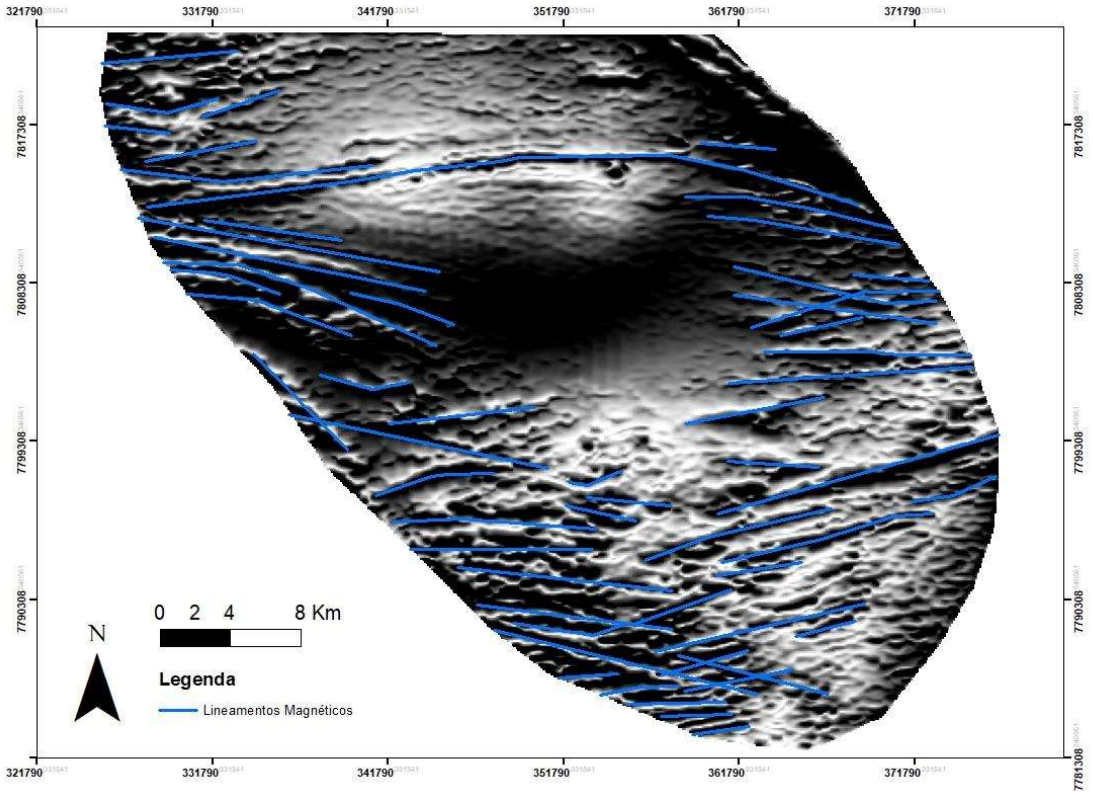


Figura 53 - Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza com os lineamentos magnéticos demarcados.

Para as inversões, o recomendado é utilizar tamanho de célula de ¼ da malha de amostragem durante a aeromagnetometria. Porém devido as restrições da licença do programa, o corpo mineral foi estimado utilizando os tamanhos de célula de 250x250x583 (Fig. 55), 500x500x680 (Fig. 56) e 1000x1000x925 (Fig. 57).

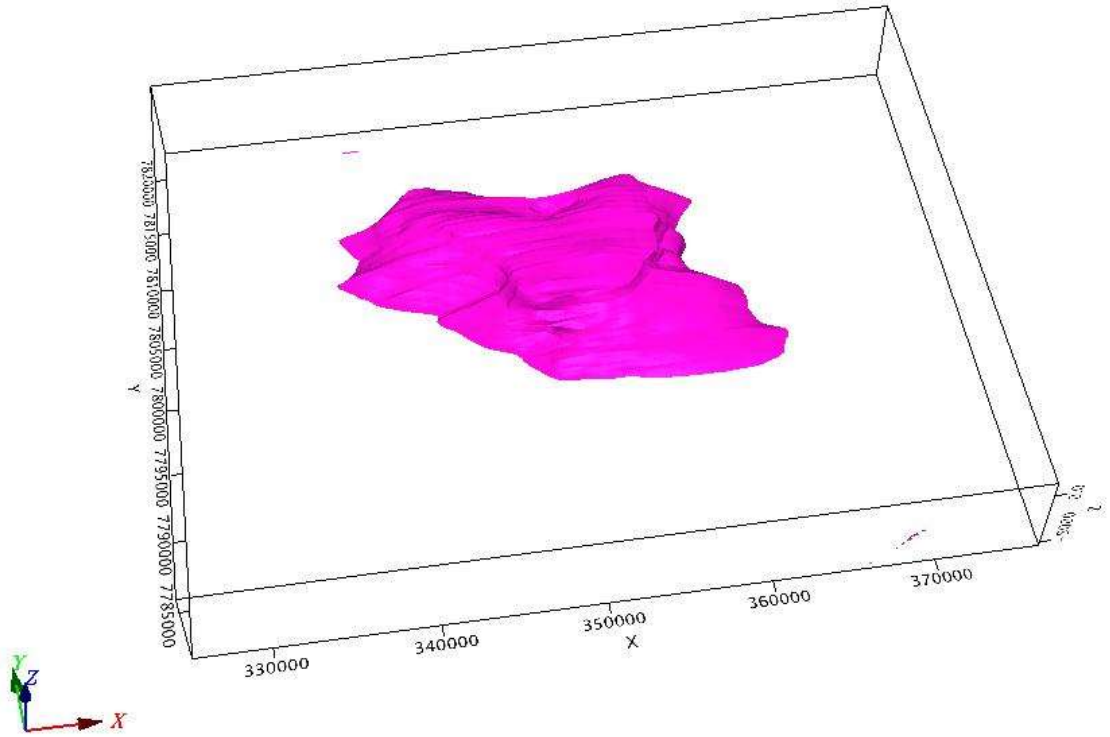


Figura 54 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 250 m x 250 m.

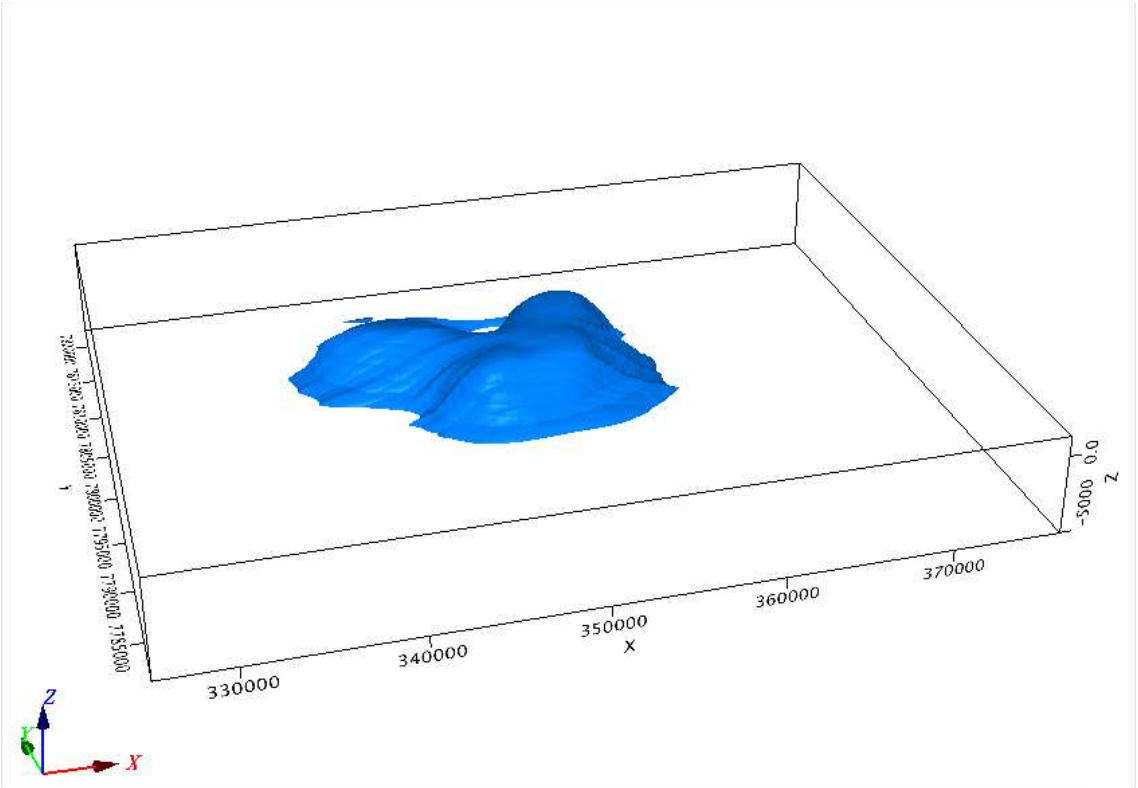


Figura 55 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 500 m x 500 m.

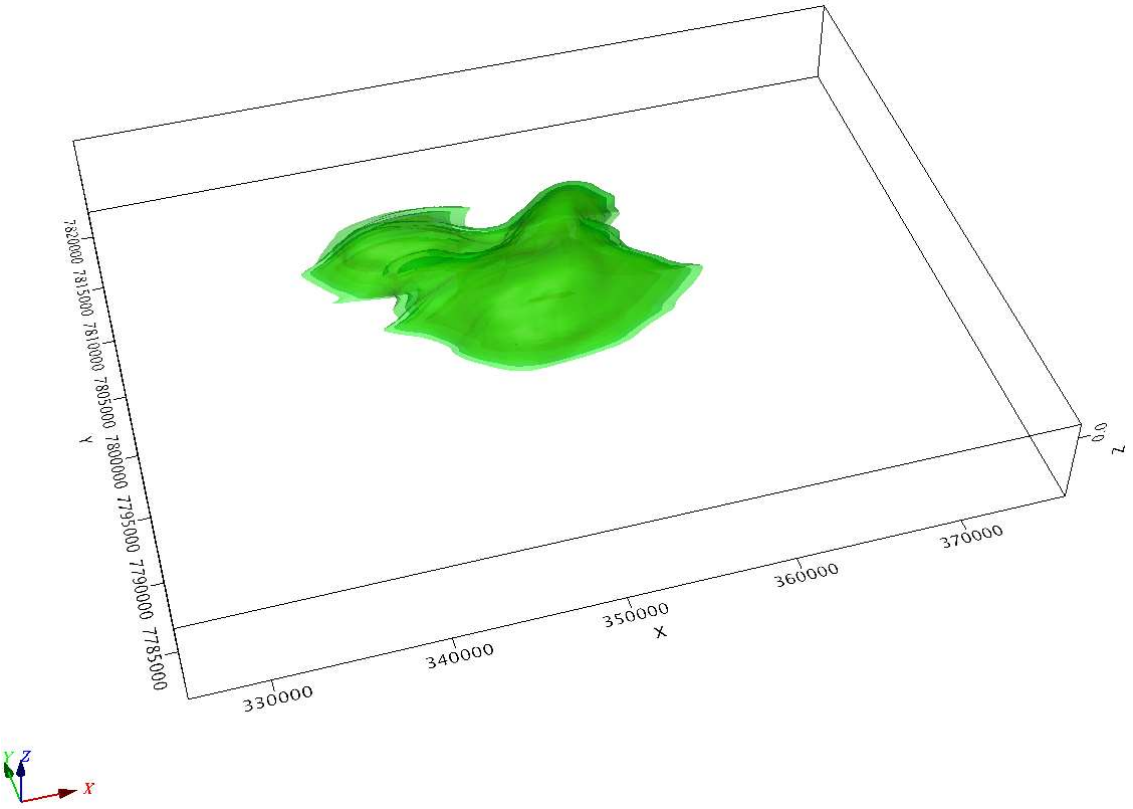


Figura 56 - Modelo gerado pela inversão dos dados magnetométricos utilizando tamanho de célula de 1000 m x 1000 m.

Como se pode notar todos os modelos gerados no processo de inversão se mostram bem similares e indicam que a anomalia magnética de Pratinha I, se deve a presença de um único corpo, similar ao encontrado por Louro & Mantovani (2010) e Louro & Mantovani (2012).

O modelo gerado na inversão com células de 250 m x 250 m apresentou um corpo similar ao sinal analítico gerado e possui um volume de aproximadamente 762 Km³, considerando uma variação de susceptibilidade entre 0,019 e 0,54 (SI) que os modelos gerados se estendem até 5000 m abaixo da linha do mar e seu ponto mais alto se encontra na coordenada UTM 352905 W e 7805232 S a uma profundidade de 2020 m abaixo da superfície.

O modelo de 500 m x 500 m propõe que, com um valor de susceptibilidade entre 0,005 e 0,476 (S.I.), o corpo mineral de Pratinha I tenha um volume de 675 Km³, seu topo estaria na coordenada 353142 W e 7805384 S e situado a cerca de 1910 m abaixo da superfície.

Por fim o modelo de 1000 m x 1000 m apresenta variação de susceptibilidade entre 0,01 e 0,533 (S.I.) propõe um corpo mineral com volume de cerca de 527 Km³, considerando a profundidade do modelo de 4938 metros abaixo da linha do mar. Seu topo estaria localizado em 353072 W e 7805138 S e a profundidade do topo semelhante aos demais modelos, cerca de 1900 m abaixo da superfície.

Os dados de profundidade de todos os modelos são similares (cerca de 2000 metros abaixo da superfície), estes dados são similares aos encontrados por Louro & Mantovani (2010), porém destoantes dos mesmos autores em Louro & Mantovani (2012).

Deve-se ter em mente que todos os modelos são representações aproximadas de um corpo mineral dotado de susceptibilidade magnética, proveniente de minerais ferrimagnéticos, e que foram utilizados tamanhos de células superiores ao recomendado. Assim sendo, o aumento do tamanho da célula impacta negativamente na acurácia do modelo. Deste modo o último modelo é o menos confiável dentre os três.

Outra característica importante das inversões realizadas é que se trata de inversões sem vínculo, ou seja, sem a inserção de dados *a priori*. Esse tipo de inversão teve de ser utilizado devido à inexistência de furos de sonda na área e a profundidade esperada do corpo, que impede que os dados geológicos superficiais sejam relevantes no processo de inversão dos dados magnéticos. Entretanto, o contorno das anomalias correspondeu satisfatoriamente ao mapa do campo magnético anômalo e ao gradiente total gerados e o resultado pode ser visto nas figuras 58 e 59. Outro dado importante é que o volume do corpo estimado também é similar entre os modelos, variando de 527 a 762 Km³.

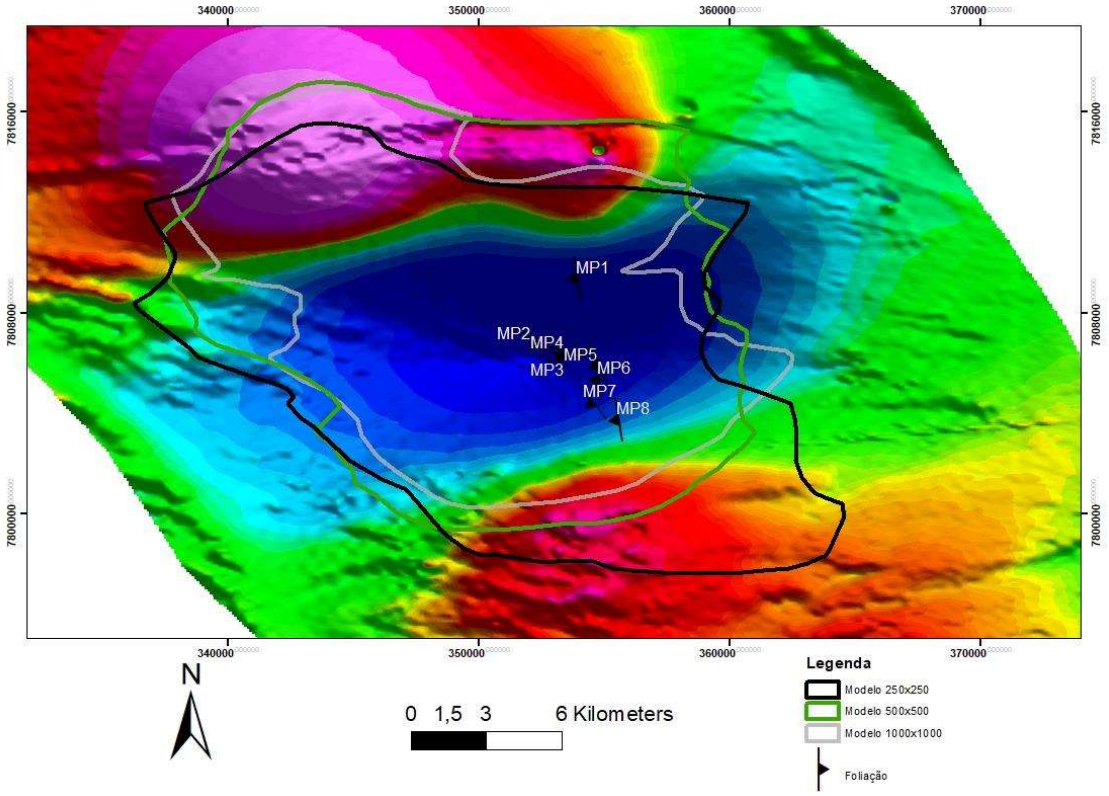


Figura 57 - Contorno dos modelos gerados pela inversão dos dados magnéticos sobre o mapa do campo magnético anômalo.

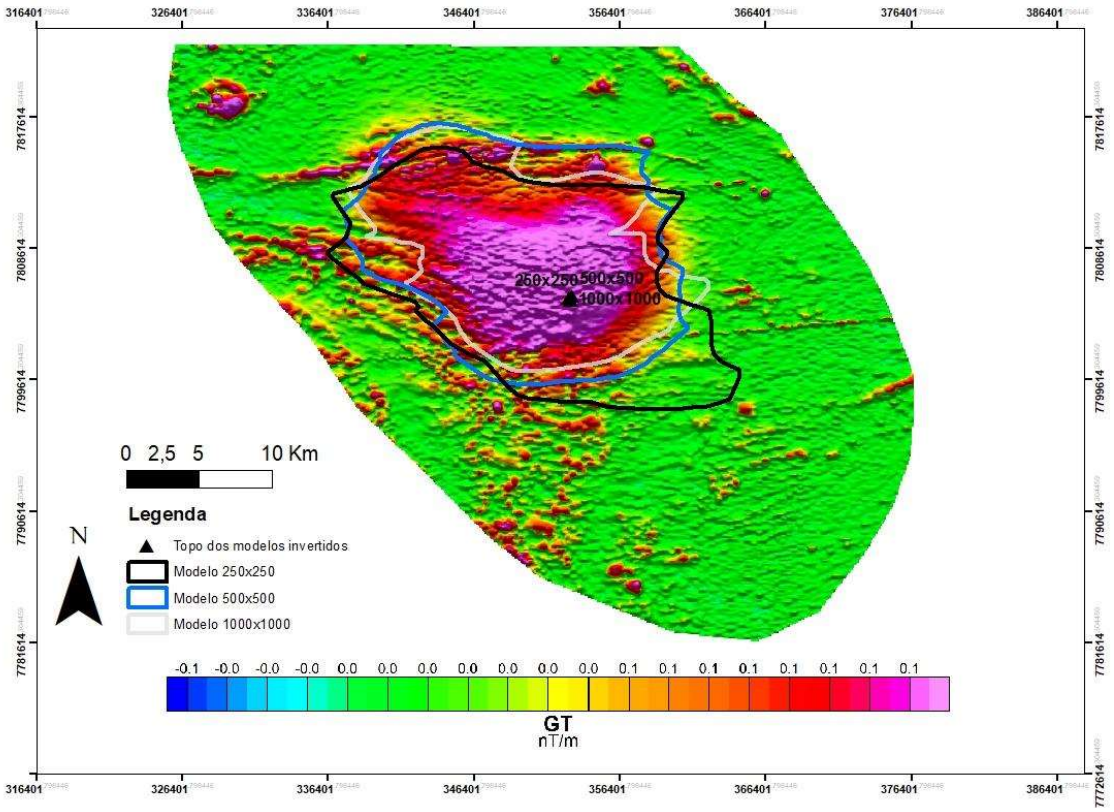


Figura 58 - Modelos invertidos e a localização de seu topo sobre o mapa de Gradiente Total da anomalia de Pratinha I.

A análise da figura 58 indica correspondência satisfatória entre os modelos gerados e a anomalia magnética, o modelo 1000x1000 sendo o único a apresentar dois corpos, porém, pode-se ver que ambos estão localizados nas zonas de interseção entre os altos e baixos magnéticos como era esperado. Pode-se ver também que as coletas de dados estruturais em campo foram realizadas somente no baixo magnético.

Entre os pontos de destaque da figura 59 estão a correspondência dos modelos ao mapa do gradiente total. Todos os modelos apresentam boa correlação, porém o modelo de 500x500 claramente se assemelha mais aos limites da anomalia apresentados no filtro de Gradiente Total. A proximidade geográfica dos topos desses modelos também é clara e indica que esta região pode ser a mais aconselhada para um futuro processo de sondagem.

4.3 - Correlação dos dados magnetométricos com a geologia estrutural

Tendo analisado de forma separada os dados magnéticos e de geologia estrutural pode-se então comparar os resultados e unir dados de ambos a fim de compreender a anomalia de Pratinha I.

Pode-se por exemplo relacionar a localização dos modelos gerados com os padrões estruturais regionais e os lineamentos magnéticos obtidos da análise da inclinação do sinal analítico obtidos das imagens de satélite (Fig. 60).

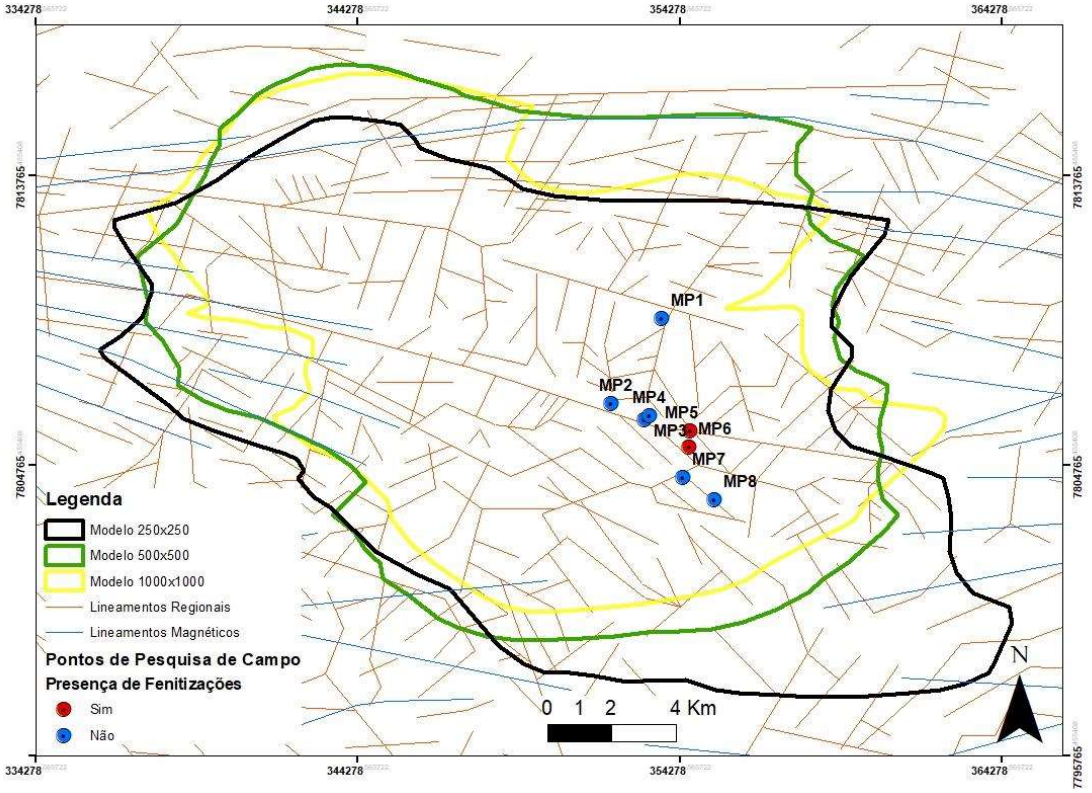


Figura 59 - Contorno dos modelos gerados na inversão com os lineamentos estruturais identificados no mapa de relevo e os lineamentos magnéticos identificados na análise do mapa de inclinação do sinal magnético.

Como se pode notar, a anomalia parece se localizar ao fim de uma série de lineamentos estruturais de maior porte WNW-ESE, onde pode-se notar que fraturas perpendiculares a ela são frequentes, porém com menor persistência. Esta região é marcada por zonas de cisalhamento E-W com movimento sinistral e é conhecida como Zona de Cisalhamento da Bocaina (Seer, 1999). Segundo este mesmo autor estes processos deformacionais ocorreram entre 630 e 600 Ma atrás.

Também é importante notar que a maioria dos lineamentos magnéticos não atravessa os modelos gerados, o que indica que a intrusão de Pratinha I se sobrepôs às fontes superficiais por ter intensidade muito superior a elas, sendo a única exceção um lineamento aproximadamente E-W de grande porte que atravessa a parte superior dos modelos de 500x500 e 250x250 e que possui lineamentos estruturais sobrepostos a eles. Como já explicado anteriormente corresponde ao afloramento de formações ferríferas.

Um dado relevante sobre a geologia estrutural encontrada no campo foi a presença de veios preenchidos por caulim em MP5 e MP6. Essas ocorrências

indicam que fluidos subiram no momento da formação do corpo intrusivo e alcançaram porções mais elevadas na crosta. Esse tipo de ocorrência é comum em corpos alcalino-carbonatíticos sendo notado, por exemplo, no entorno do Complexo de Tapira (Campos, 2022). Porém, normalmente se encontram próximas ao complexo, e não havia provas de que houvesse ocorrência em Pratinha, já que o corpo se encontra em elevada profundidade.

Outro fator de destaque é que à Leste e Oeste todos os modelos apresentam estruturas pontiagudas, com direção muito similar a direção principal dos lineamentos estruturais regionais coletados no mapa de relevo. Este fato pode indicar que o magma intrudiu por fraturas E-W pré-existentes.

Entretanto, como pode-se notar pela figura 61, os pontos MP5 e MP6 se encontram a leste, próximo do topo provável dos modelos, o que mostra que os fluidos ascenderam cerca de 2 km na crosta até chegar próximos da superfície e que o topo dos corpos realmente deve ser próximo destes pontos. Também é importante notar que outros pontos não apresentam estes veios. No entanto, sugere-se que mais investigação de campo seja realizada a fim de verificar a presença de outros locais com veios.

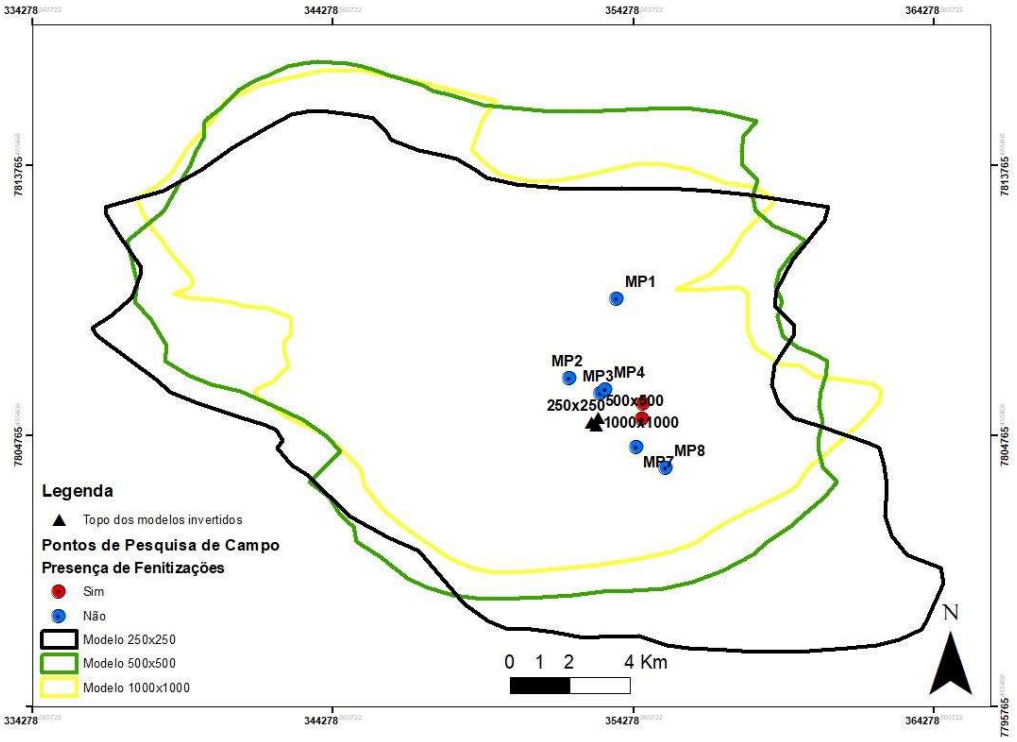


Figura 60 - Contorno dos modelos gerados para a intrusão de Pratinha I, seus topos e os pontos de coleta de dados em campo, pontos com fraturas preenchidas com caulim destacados em vermelho.

5 - CONCLUSÕES

A análise da geologia estrutural regional apresentou padrões similares aos do Azimute 125°, sendo também relevantes fraturamentos NE-SW, ENE-WSW, NNE-SSW.

O estereograma de foliações obtidas em campo retornou valores de direção NW-SE com mergulho leve a SW (cerca de 30°). Esses valores são muito similares aos obtidos por Seer & Moraes (2011), o que indica que a intrusão de Pratinha I não dobrou as foliações regionais durante a sua formação.

O mais interessante, porém, é quando se compara o diagrama de roseta da análise de imagem com o diagrama proveniente dos dados totais do fraturamento obtido em campo. Nesse caso podemos notar o padrão NNW-SSE relevante somente nos dados de campo. Como as foliações não sofreram alterações é pouco provável que a intrusão de Pratinha I seja a responsável por esse padrão. A movimentação da Placa Sul Americana para oeste desde o Cretáceo Superior pode ter gerado a maior parte dos padrões de fraturas observados, o que é reforçado pelo fato destes padrões também terem sido notados em Tapira (Campos, 2022). Além disso, esta discrepância nos dados pode ser oriunda da metodologia de amostragem em relação à quantidade de fraturas medidas em campo e à sua concentração geográfica.

A análise dos estereogramas do fraturamento em campo revela que predominam altos valores de mergulho, próximos a verticalidade. Estes diagramas também se assemelham ao restante dos obtidos para a Folha Campos Altos (Seer & Moraes, 2011).

Outro ponto importante é a presença de veios preenchidos por feldspato e o padrão de fraturamento no qual se apresentam. Sua presença indica que os fluidos alcalinos subiram por cerca de 2 quilômetros na crosta (dado obtido quando se associa à profundidade dos modelos obtidos pela inversão magnetométrica). O estudo das estruturas rúpteis mostra que a ascensão dos fluidos criou fraturas NW-SE com mergulho leve a NE, padrão não observado em nenhuma outra parte da área sobre a anomalia magnética.

A forma da anomalia obtida no mapa do campo magnético anômalo é muito similar ao esperado para a inclinação magnética na qual Pratinha I se encontra. O que indica que a magnetização remanente em Pratinha I não é alta o suficiente para alterar de forma significativa sua forma.

Os limites da anomalia obtidos com os mapas de Gradiente Total, Gradiente Horizontal Total e Derivada Horizontal foram muito semelhantes. Vale destacar que a Derivada Horizontal apresentou um grande número de anomalias de alta frequência, muito mascaradas nos demais filtros devido a intensidade da anomalia de Pratinha I que se encontra em profundidade.

A Inclinação do Sinal Analítico mostrou que o domínio magnético da anomalia é bem definido e permitiu identificar lineamentos magnéticos que cercam o corpo com comportamento similar ao lineamento estrutural coletado. Somente um destes lineamentos (com direção aproximadamente E-W) atravessa o domínio de Pratinha I à Norte indicando uma estrutura de forte intensidade magnética.

A inversão dos dados magnéticos da anomalia de Pratinha I foi realizada no modelo *sem restrição* e retornou valores de profundidade próximos a 2 quilômetros, valor similar à bibliografia. Os modelos gerados possuem forma similar ao mapa do Gradiente Total gerado. Seus volumes, profundidade e proximidade geográfica dos topos dos modelos também são bem similares.

O modelo gerado na inversão com células de 250 m x 250 m apresentou um corpo com volume aproximado de 762 Km² (considerando que os modelos gerados se estendem até 5000 m abaixo da linha do mar) e seu ponto mais alto se encontra na coordenada UTM 352905 W e 7805232 S a uma profundidade de 2020 m abaixo da superfície.

O modelo de 500 m x 500 m propõe que um corpo de 675 Km³ é o responsável pela anomalia, seu topo estaria na coordenada 353142 W e 7805384 S situado a cerca de 1910 m abaixo da superfície e entre todos os modelos gerados é o que mais se assemelha ao mapa de Gradiente Total.

O modelo de 1000 m x 1000 m apresenta variação de susceptibilidade entre 0,01 e 0,533 (S.I.) propõe um corpo mineral com volume de cerca de 527

Km³, considerando a profundidade do modelo de 4938 metros abaixo da linha do mar. Seu topo estaria localizado em 353072 W e 7805138 S e a profundidade do topo semelhante aos demais modelos, cerca de 1900 m abaixo da superfície.

Ao analisar todos os dados fornecidos pela inversão magnética junto aos dados estruturais, pode-se notar o motivo da geometria dos dados estruturais não ter sido alterada em superfície pela intrusão do corpo (exceto pelo fraturamento hidráulico), já que este se localiza a cerca de dois quilômetros de profundidade. Também é interessante a descoberta de que fluidos percorreram tal distância até a superfície causando fraturamento hidráulico.

Outro ponto de destaque é que todos os modelos gerados apresentam a Leste e Oeste estruturas pontiagudas concordantes com o padrão de lineamentos regionais. O que pode ser um indicativo que o magma adentrou por fraturamentos E-W pré-existentes.

Dito isso, deve-se notar que a inversão de dados magnéticos ideal da anomalia deveria ser realizada com o uso de restrições, porém, por estar em grande profundidade e devido à inexistência de furos de sondagem na região, este tipo de reversão é inviável no momento. Ainda assim, os modelos gerados parecem se adequar bem à anomalia e podem nortear futuros processos de sondagem, que, caso sejam realizados, podem então viabilizar a inversão de dados magnéticos com vínculos geológicos e de propriedades físicas.

6 - REFERÊNCIAS

AIR-G - APPLIED ISOTOPE RESEARCH GROUP. **Geologia Estrutural - 224**. 2020. Disponível em: <http://www.air.ufop.br/?p=123>. Acesso em: 01/11/2022.

ARAÚJO, I. M. C. de P. **Gênese e Controles da Mineralização Secundária de P, Ti e ETR no Complexo Alcalino Carbonatítico de Salitre, MG.** 2015. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 142 p.

BARBOSA, E. S. R. **Mineralogia e petrografia do complexo carbonatítico-foscorítico de Salitre, MG**. 2009. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: < http://repositorio.unb.br/handle/10482/10379?mode=full>. Acesso em: 12/03/2018.

BARBOSA, E. S. R. *et al*. **Bebedourite from its type area (Salitre I complex):** A key petrogenetic series in the Late-Cretaceous Alto Paranaiba kamafugite-carbonatite-phoscorite association, Central Brazil. 2012.144 p.

BELOUSOV V.V. 1974. **Geologia estructural**. Moscu: Editorial Mir, 303 p.

BEZERRA, M. A.; BROD, J. A. **Mineralogia do complexo alcalino-carbonatítico de Tapira**. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic-balcao/trabalhos/MATEUS_ARAUJO_BEZERRA.pdf>. Acesso em: 01/06/2018.

BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de textos. 2ª edição. 552 pg. 2003.

BILAL, E., MELLO, F. M. D. SOUBIÈS, F. BOUNAKHLA, M. **REE minerals in Catalão II, Goias, Brazil**. Romanian Journal of Mineral Deposits, 2012, p.14-18.

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

BLUM, M. L. B. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção**

mineral. 1999. 247 p. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília. 1999.

BORGES, A.J. & DREWS, M.G.P. **Características magnetométricas da Bacia do São Francisco em Minas Gerais**. In: PINTO, C.P. & MARTINS-NETO, M.A. (eds), Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Minas Gerais, p 55-66, 2001.

BORGES, M. E. **Estudo da deformação rúptil no complexo alcalino-carbonatítico de Salitre I**. 2018. 57 p. Trabalho de Conclusão do Curso – Curso de Engenharia de Minas – CEFET-MG, Araxá-MG, 2018.

BORGES, M. E.; DINIZ, L. SIQUEIRA, L. M.; OLIVEIRA, A. C. C. **Relatório interno de geologia estrutural da Mosaic Fertilizantes**. 2019. 37 p.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2019. **International Geomagnetic Reference Field (IGRF)**. Disponível em: <http://www.geomag.bgs.ac.uk/research/modelling/IGRF.html. Acesso em: /30/10/2022.

BROD, J. A. *et al*. 2000. **Kamafugite affinity of the Tapira alkaline-carbonatite complex (Minas Gerais, Brazil)**. Revista Brasileira de Geociências 30: 404-408.

BROD, J.A.; GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; SEER, H.J.; MORAES, L.C. de; BOAVENTURA, G.R., 2000. **The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) southeastern Brazil**. Revista Brasileira de Geociências,30(3):404-408.

BROD, J. A., RIBEIRO, C. C., GASPAR, J. C., JUNQUEIRA-BROD, T. C., BARBOSA, E. S. R., RIFFEL, B. F., SILVA, J. F., CHABAN N., FERRARI A. J. D., 2004. **Excursion guide: Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalinos-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba**. Sociedade Brasileira de Geologia.

CAMPOS, M. E. F. **Deformação associada à intrusão alcalino-carbonatítica de Tapira, Minas Gerais**. 2022. 106 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, Araxá - MG, 2022.

CODEMIG. **Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais**. 2005. Disponível em: http://www.codemge.com.br/atividades-em-destaque/mineracao/levantamento-aerogeofisico/

DAVIS, J.C. 1986. **Statistics and data analysis in geology**. John Wiley & Sons, 2. ed., U.S.A., 646p.

DENTITH, M., MUDGE, S. T. **Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist**. Editora Cambridge University Press, 2014.

DINIZ, L. **Caracterização geológica e estrutural da ocorrência de hematita de Pratinha, Minas Gerais**. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2018.

EBERHARDT, D. B. **Elementos-traços em minerais do Complexo Alcalinocarbonatítico de Tapira – MG**. 2014. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasilía-DF, 2014.

ELLIS, R.G., WET, B., MACLEOD, I.N., 2012. **Inversion of Magnetic Data from Remanent and Induced Sources**, 22nd International Geophysical Conference and Exhibition, Australia.

FOSSEN, H. **Geologia Estrutural**. Tradução Fábio R. D. de Andrade. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

FOSSEN, H. **Structural geology**. Editora Cambridge University Press, 2015.

GIBSON, S. A, THOMPSON, R. N., LEONARDOS, O. H., DICKIN, A.P., MITCHELL, J. G. **The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume:** evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. 1995. Journal of Petrology, 36(1): 189-229. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/31293653_The_Late_Cretaceous_Impact_of_the_Trindade_Mantle_Plume_Evidence_from_Large-volume_Mafic_Potassic_Magmatism_in_SE_Brazil>. Acesso em: 20/08/2022.

GRASSO, C. B. **Petrologia do complexo alcalino-carbonatítico de Serra Negra, MG**. 2010. 157 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

GROHMANN, C. H.; STEINER, S. S. **SRTM resample with Short Distance-Low Nugget Kriging**. IN: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TERRAIN ANALYSIS AND DIGITAL TERRAIN MODELLING**. 2006. Nanjing, China. Resumos. China, 2006.

HASUI, Y., SALAMUNI E., MOLARES, N. **Geologia estrutural aplicada**. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2ª edição, 2019.

HOBBS B.E., MEANS W.D., WILLIAMS P.F. 1976. **An outline of structural geology**. New York: John Wiley & Sons. 571 p.

HSU, S.K., DOROTHÉE, C., SHYU, C.T., 1998, **Depth to magnetic source using the generalized analytic signal**: Geophysics, 63:1947-1957.

IBRAM Mineração do Brasil. **CBMM inicia produção de terras raras em Araxá**. IBRAM Mineração do Brasil. 2012. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/cbmm-inicia-producao-de-terras-raras-em-araxa/>. Acesso em: 06/07/2022.

KEAREY, P., BROOKS M., HILL I. 2002. **Geofísica de exploração**. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho, São Paulo, Oficina de Texto, p.438.

LAMANA, C. X. **Magnetismo Terrestre**. CPRM. 2013. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Magnetismo-Terrestre-2623.html?tpl=printerview>. Acesso: 01/11/2022.

LI, X. **Magnetic reduction-to-the-pole at low latitudes**: Observations and considerations. The Leading Edge, 27, 990, 2008.

LOURO, V. H. A.; MANTOVANI, M. S. M. **Modelagem 3D da Anomalia Magnética de Pratinha I (MG)**. IN: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA**. IV, p. 5, 2010, Resumos. Brasília. Sociedade Brasileira de Geofísica.

LOURO, V. H. A.; MANTOVANI, M. S. M. 3D inversion and modeling of magnetic and gravimetric data characterizing the geophysical anomaly source in Pratinha I in the southeast of Brazil. **Journal of Applied Geophysics** – IAG-USP, São Paulo, Brazil. 2012.

MELO, A. C.; SANTOS, R. C.; CARLOS, D. U.; NETO, C. F. P.; BARBOSA, V. C. F. Filtro de Redução ao Pólo: Potencialidades e Limitações. IN: 12°

INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY. Resumos. Brasília. Sociedade Brasileira de Geofísica.

MELO, M. T. V. **Depósitos de Fosfato, Titânio e Nióbio de Tapira, Minas Gerais**. In: C. SCHOBBENHAUS, E. T. QUEIROZ, C. E. S. COELHO (Eds).1997. Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM/CPRM, Brasília, 41-56.

MELO, M. S.; ROSSETTI, D. F. Sensoriamento remoto aplicado à análise de estruturas rúpteis da depressão do Piraí, estado do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 14, n. 3. P. 279-285, julho, 2013.

MENDONÇA, C. A.; SILVA, J. B. C., 1992. Reduction to the pole at low magnetic latitude using a stabilized filter. SEG Expanded Abstracts 11, 540-543.

MINTY, B. R. S. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. 1991. Expl. Geoph. 22: 591-592. 1991.

MORAES, L. C. SEER, H. J. **Terras raras**. Recursos Minerais de Minas Gerais – RMMG. 2018. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras/>. Acesso em: 07//07/2022.

MORAES, L. C.; SEER, H. J.; BENTO, J. H. B.; LEAL, C. F.; MADEIRA, M. R. **Análise geométrica do alojamento de magmas no entorno do complexo alcalino-carbonatítico do Barreiro, Araxá, Minas Gerais, por meio da atitude espacial de fraturas e diques.** 2008. IN: **Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados**, IV, Foz do Iguaçu. 6 p., 2008.

NASCIMENTO, P. F. **Inversão de dados geofísicos do Brasil central**. 2011. 124 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília - DF. 2011.

NABIGHIAN, M.N., 1972. **The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal crosssection**: its properties and use for automated anomaly interpretation: Geophysics, 37:507-517.

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

NABIGHIAN, M.N., 1984. **Towards a three-dimensional interpretation of potential field data via generalised Hilbert transforms**: fundamental relations. Geophysics, 49:780-786.

OLDENBURG, D. W.; LI, Y. **Inversion for Applied geophysics**: a tutorial. 2005. 86 p. UBC - Geophysical Inversion Facility. Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, Canada. 2005.

OLIVEIRA, D. S., MANTOVANI, M. S. M. **Study of Pratinha-II magnetic anomaly:** Acquisition, processing and interpretation of aeromagnetic and gravimetric data. IN: **International Congress of The Brazilian Geophysical Society**, 12, 2011, Resumos, Rio de Janeiro-RJ, Sociedade Brasileira de Geofísica.

PEREIRA, W. R.; Mantovani, M. S. M. Inversão de dados geofísicos do Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro, Araxá (MG). **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v. 12, n. 2, p. 15-30, agosto, 2012.

PINHEIRO, R. V. L. **Elementos de geologia estrutural**. MÓDULO I: Geologia Aplicada a Mineração. Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 2015. Disponível em: <https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/341787/mod_resource/content/1/Hidrogeologia.pdf>. Acesso em: 30/11/2022.

PORTELA FILHO, C. V., FERREIRA, F. J. F. **Processamento e interpretação de dados aeromagnéticos da região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná).** IN: **International Congress of The Brazilian Geophysical Society**, 8, 2003, Resumos, Rio de Janeiro-RJ, Sociedade Brasileira de Geofísica.

RIBEIRO, D. D. M.; ROCHA, W. J. S. F.; GARCIA, A. J. V.; ARAÚJO, W. B. **Técnicas de Sensoriamento Remoto com foco na identificação de lineamentos estruturais**: aplicação na sub-bacia do rio Siriri, estado de Sergipe. IN: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR**, IX, 2011, Curitiba-PR. INPE, 2011, p. 3459.

ROCHA, H. L. A. **O problema da magnetização remanente na redução ao polo**: Um novo método para determinação da Direção da Magnetização. 2009.

42 p. Trabalho de conclusão de Curso. Curso de Graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense. Niterói - RJ. 2009.

ROCHA, L. G. M. **Caracterização magnética da porção central do lineamento azimute 125º**. 2013. 181 p. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ROEST, W.R.; VERHOEF, J. & PILKINGTON, M. 1992. **Magnetic interpretation using the 3-D analytical signal**. Geophysics, 57(1):116-125.

ROLDAN, L. F.; STEINER, S. S. Análise de Lineamentos Estruturais no Domo de Lages (SC) com Uso de Imagens de Satélite e Mapas de Relevo Sombreado**. Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 57-72, julho, 2010.

SANTOS, M. H. L. **Processamento, nivelamento, e integração de levantamentos aerogeofísicos magnetométricos no estado de Minas Gerais e sua contribuição à geologia da porção Sul do Cráton São Francisco**. 2006. 157 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SANTOS, M. H. L. **Interpretação, inversão 3d de dados magnéticos e modelagem 3d da susceptibilidade magnética medida, aplicadas à prospecção geofísica de depósitos de óxidos de ferro - cobre – ouro (IOCG Iron Oxide-Copper-Gold) – Província Mineral de Carajás, Brasil**. 2006. 157 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SALAMUNI, E. **Azimuthfinder**: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. 2014. Research Gate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261340070_Azimuthfinder_ferramenta_para_a_extracao_de_dados_e_apoio_na_analise_estrutural>. Acesso em: 20/06/2022.

SEER, H.J. **Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma Araxá, Minas Gerais**. Brasília, 267 p. 1999. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

SEER, H.J., MORAES, L.C. de, SILVA, C.H. **Folha Araxá**, SE-23-Y-C-VI, Escala 1:100.000 (mapas, relatório SIG). In: Pedrosa-Soares, A., Voll, E., Profeta, A. (Coordenadores), Projeto Fronteiras de Minas (ISBN: 978-85-89923-04-0) CODEMIG´FUNDEP-UFMG, Editora CODEMIG (www.portaldageologia.com.br), Belo Horizonte, Brasil, 2015.

Silva, J. B., 1986. Reduction to the pole as an inverse problem and its application to low-latitude anomalies. Geophysics 51, 369-382.

SILVA, L. G. **Metodologia geofísica para discriminação de corpos intrusivos na Província Alcalina do Alto Paranaíba – MG**. 2006. 117 p. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SOUZA, S. F., 1997. **Proposta de um Algoritmo para o Cálculo da Declinação Magnética a partir do Mapa Magnético Digitalizado**. Pesquisas Em Geociências, 24(1-2), 25–30. https://doi.org/10.22456/1807-9806.21179.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v. 14, n. 1, p. 69-80, março, 2014.

TELFORD, W. M., GELDART, L.P. & SHERIFF, R. E. 1990. **Applied geophysics**. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p.

ULIANA, D. **Caracterização tecnológica do minério de fosfato do complexo alcalino de Salitre,MG – Área Fosfértil**. 2010. 210 p. Tese de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ZERFASS, H. & CHEMALE JR., F. **Geologia estrutural em ambiente rúptil**: fundamentos físicos, mecânica de fraturas e sistemas de falhas naturais. Terra Didática, 7(1):75-85, 2011.

7 – ANEXOS

7.1 - Apêndice A - Dados coletados em Campo

Pontos	Fratura	Dip	Dip Direction	Litologia	Foliação (Dip/Dip Direction	Observações
MP1	1	45	350	Xisto micáceo hematítico muito alterado	30/260	
	2	84	301			
	3	84	301			
	4	84	301			
	5	87	302			
	6	89	135			
	7	89	292			
	8	83	231			
	9	33	200			
	10	80	115			
	11	67	116			
MP2	12	54	69	Quartzito	23/212	
	13	54	77			
	14	64	64			
	15	78	280			

	16	83	281			
	17	73	352			
	18	71	343			
	19	89	112			
	20	84	79			
	21	82	53			
	22	69	22			
	23	86	141			
	24	73	84			
	25	54	0			
	26	71	2	Xisto micáceo hematítico	28/223	
	27	83	52			
	28	77	20			
	29	56	359			
	30	61	351			
	31	64	336			
	32	65	345			
	33	77	57			
	34	87	218			
MP3	35	73	164	Xisto Micáceo com fraturas preenchidas por quartzo intercalado com Quartzitos	42/195	
	36	87	94			
	37	87	287			
	38	88	309			
	39	87	111			
	40	78	97			
	41	86	116			
	42	75	265			
	43	83	283			
	44	79	292			
	45	79	19			
	46	90	305			
	47	89	264			
	48	86	326			

	49	85	324			
	50	80	51			
	51	66	19			
	52	60	26			
	53	54	89			
	54	70	336			
	55	74	0			
	56	86	57			
	57	77	122			
	58	90	107			
MP4	59	44	338	Quartzito intercado com Quartzitos micáceos	40/194	
	60	86	151			
	61	86	151			
	62	86	151			
	63	86	151			
	64	88	144			Falha destral com 5 cm de rejeito
	65	61	93			
	66	83	247			
	67	90	31			
	68	73	87			
	69	76	103			
	70	76	135			
	71	80	130			
	72	85	167			
	73	78	82			
	74	90	199			
	75	76	32			
	76	89	343			
	77	83	77			
	78	88	69			
	79	58	364			
	80	83	48			

	81	83	48			
	82	83	48			
	83	83	48			
	84	87	234			
	85	71	114			
	86	64	84			
	87	74	110			
	88	83	142			
	89	31	12			
	90	85	7			
	91	65	110			
	92	88	161			
	93	84	75			
	94	79	356			
	95	66	32			
	96	79	125			
	97	81	117			
	98	68	38			
	99	89	244			
	100	66	263			
	101	63	357			
	102	29	354			
	103	71	64			
	104	38	175			
	105	80	352			
	106	72	28			
	107	82	8			
	108	72	51			
	109	74	52			
	110	47	30			
	111	76	7			
	112	64	10			
	113	73	37			fraturas conjugadas

	114	52	110			
	115	72	74			
	116	86	152			
	117	59	122			
	118	72	114			
	119	72	114			
	120	75	138			
	121	88	17			
	122	87	135			
	123	84	191			
	124	84	188			
	125	85	222			
	126	42	9			
	127	84	242			
	128	50	350			
	129	63	97			
	130	87	330			
	131	68	91			
	132	79	101			
MP5	133	64	199	Xisto micáceo hematítico, com presença de venulas	21/244	Fraturas preenchidas com Caulim
	134	37	219			
	135	15	315			
	136	79	47			
	137	58	35			
	138	67	12			
	139	11	146			
	140	20	207			
	141	23	295			
	142	18	276			
	143	32	203			
	144	23	218			
	145	7	280			
	146	37	305			

	147	68	303			
	148	24	252			
	149	52	3			
	150	63	38			
	151	44	194			
	152	36	221			
	153	35	307			
	154	36	199			
	155	7	280			
	156	24	306			
	157	42	25			
	158	21	329			
	159	62	123			
	160	45	13			
	161	44	278			
	162	24	286			
	163	32	299			
	164	43	318			
	165	60	7			
	166	71	59			
	167	79	99			
	168	88	301			
	169	72	261			
	170	84	258			
	171	69	138			
MP6	172	88	251	Xisto Hematítico micáceo com presença de venulas	25/268	Fraturas preenchidas com Caulim
	173	85	239			
	174	67	226			
	175	61	148			
	176	58	9			
	177	22	264			
	178	29	292			
	179	89	351			

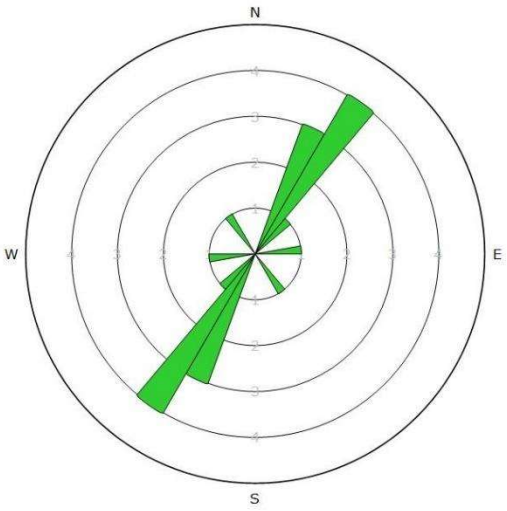
	180	75	342			
	181	58	57			
	182	52	340			
	183	81	56			
	184	63	82			
	185	83	54			
	186	68	8			
	187	81	76			
	188	84	29			
	189	86	43			
	190	76	52			
	191	76	92			
	192	83	107			
	193	82	93			
MP7	194	78	313	Quartzito	24/234	
	195	87	76			
	196	78	349			
	197	85	91			
	198	78	42			
	199	81	9			
	200	79	303			
	201	59	29			
	202	90	5			
	203	55	43			
	204	89	18			
	205	81	163			
	206	58	54			
	207	65	327			
	208	50	43			
	209	79	99			
	210	80	260			
	211	48	47			
	212	74	178			

	213	87	28			
	214	58	54			
	215	56	44			
	216	83	1			
	217	75	18			
	218	72	228			
	219	84	25			
	220	62	38			
	221	83	13			
	222	87	65			
	223	88	69			
	224	82	305			
	225	61	45			
	226	77	281			
	227	81	312			
	228	82	286			
	229	85	24			
	230	31	230			
	231	80	58			
	232	84	294			
	233	86	33			
	234	65	335			
	235	87	129			
	236	81	164			
	237	78	168			
	238	89	73			
	239	85	37			
MP8	240	71	117	Quartzito micáceo	30/261	
	241	76	116			
	242	68	91			
	243	50	65			
	244	48	65			
	245	60	49			

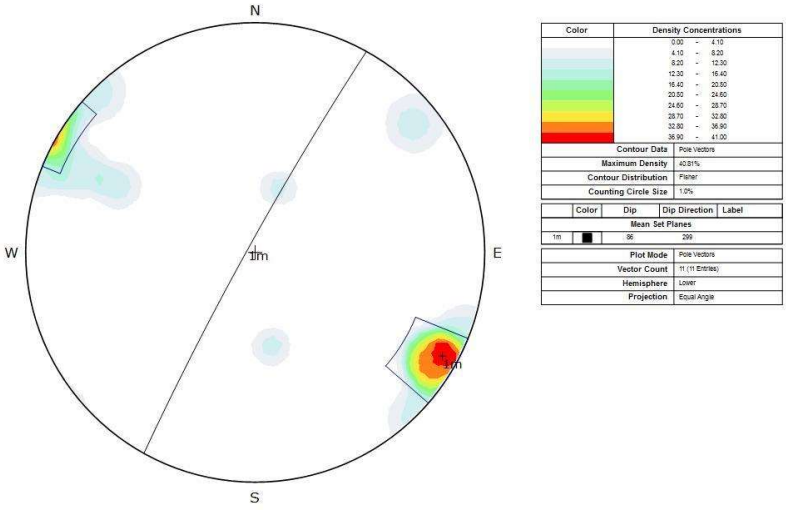
	246	74	126			
	247	64	41			
	248	72	118			
	249	52	71			
	250	66	136			
	251	65	123			
	252	79	72			
	253	32	210			
	254	85	116			
	255	75	81			
	256	77	77			
	257	77	75			
	258	76	14			
	259	79	55			
	260	18	211			
	261	74	72			
	262	79	85			
	263	70	29			
	264	62	33			
	265	71	86			
	266	73	82			
	267	67	90			
	268	72	180			
	269	83	18			
	270	76	80			
	271	31	191			
	272	75	10			
	273	73	43			
	274	76	95			
	275	70	72			
	276	68	74			
	277	59	231			
	278	82	223			

7.2 - Apêndice B - Fotografias, Diagramas de Roseta e Estereogramas dos fraturamentos observados em Campo

7.2.1 - MP1



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	10
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



7.2.2 - MP2



Figura 61 - Afloramento de muscovita hematita xisto em MP2.

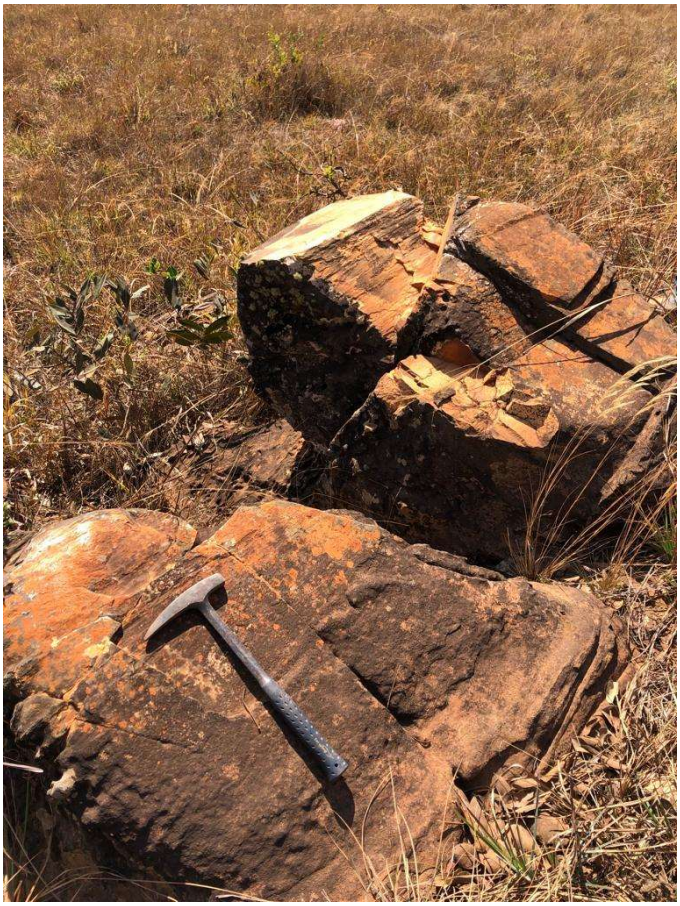
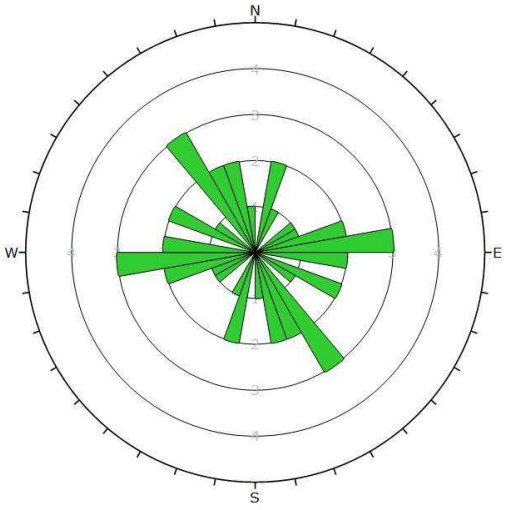
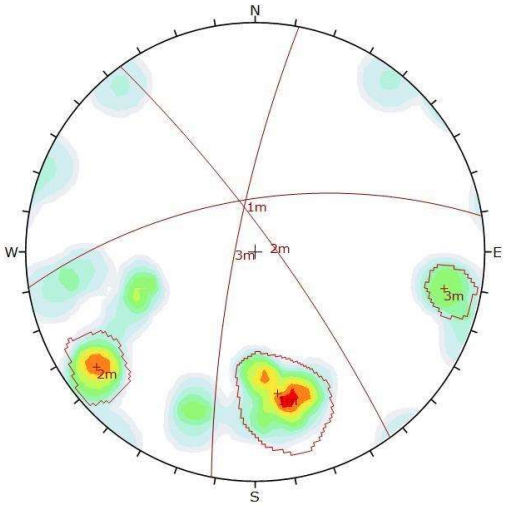


Figura 62 – Afloramento de quartzito em MP2.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	6 planes per arc
Planes Plotted	23
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.40
	1.40 - 2.80
	2.80 - 4.20
	4.20 - 5.60
	5.60 - 7.00
	7.00 - 8.40
	8.40 - 9.80
	9.80 - 11.20
	11.20 - 12.60
	12.60 - 14.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.42%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

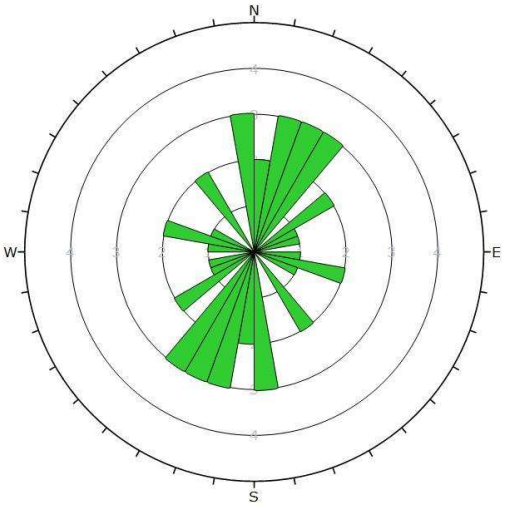
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		64	351	
2m		81	64	
3m		80	281	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	23 (23 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

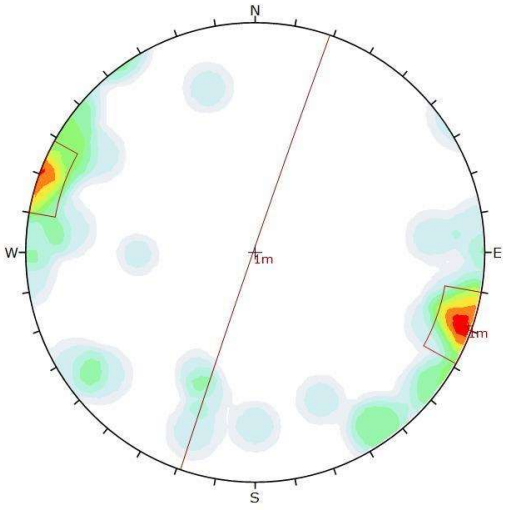
7.2.3 - MP3



Figura 63 - Fratura preenchida com quartzo em MP3.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	6 planes per arc
Planes Plotted	24
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.70
	1.70 - 3.40
	3.40 - 5.10
	5.10 - 6.80
	6.80 - 8.50
	8.50 - 10.20
	10.20 - 11.90
	11.90 - 13.60
	13.60 - 15.30
	15.30 - 17.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	16.31%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

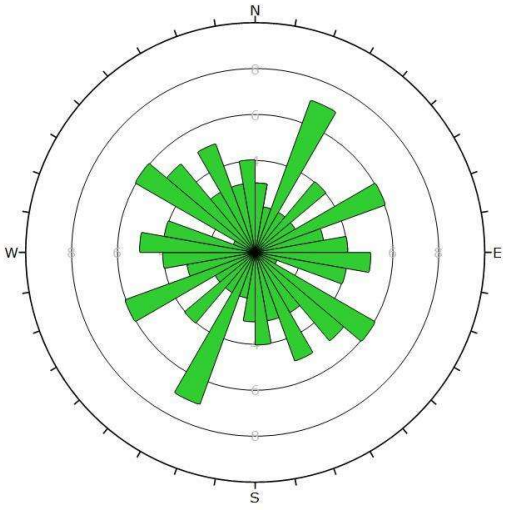
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		89	289	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	24 (24 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

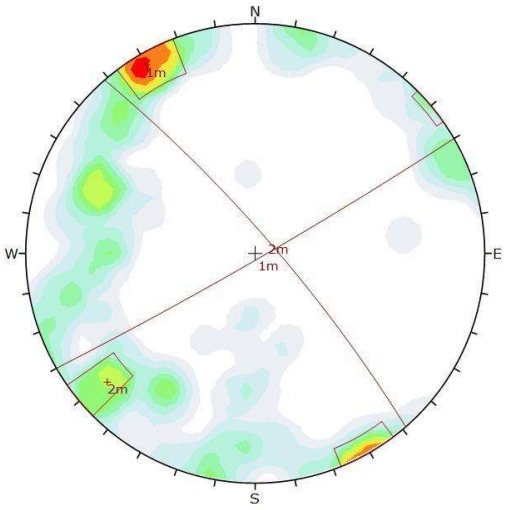
7.2.4 - MP4



Figura 64 - Falha com movimento destral em quartzito em MP4.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	69
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	9.60%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

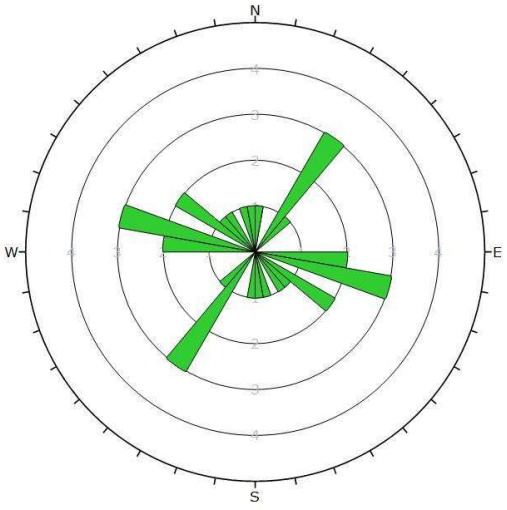
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		87	150	
2m		81	49	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	74 (74 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

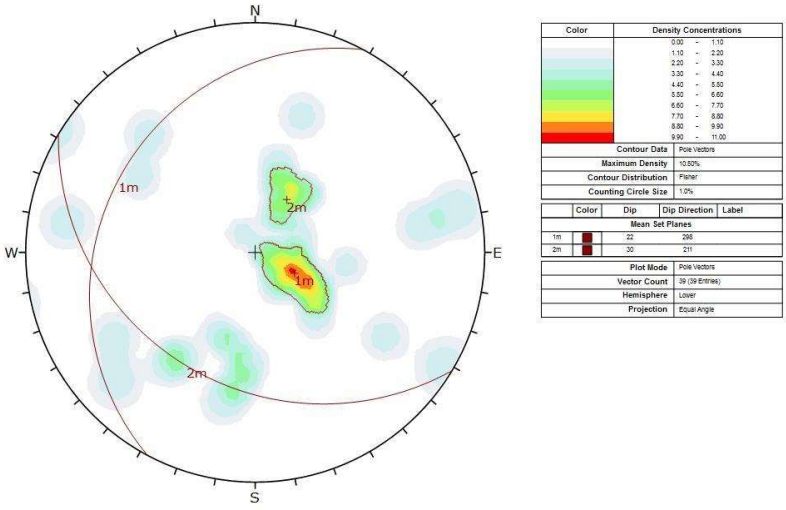
7.2.5 - MP5



Figura 65 - Veios feldspáticos oriundos de fenitização em MP5.



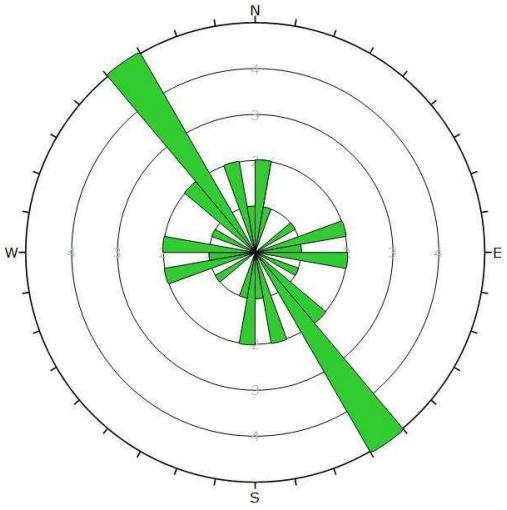
Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	8 planes per arc
Planes Plotted	16
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



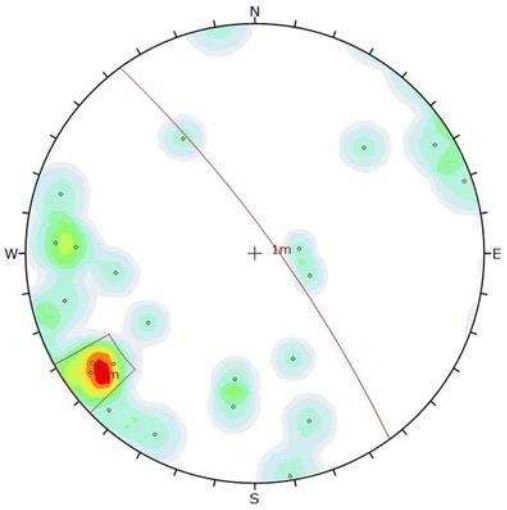
7.2.6 - MP6



Figura 66 - Hematita muscovita xisto com veios de feldspato oriundos de fenitizaçãodestacadas em vermelho em MP6.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	6 planes per arc
Planes Plotted	20
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.40
	1.40 - 2.80
	2.80 - 4.20
	4.20 - 5.60
	5.60 - 7.00
	7.00 - 8.40
	8.40 - 9.80
	9.80 - 11.20
	11.20 - 12.60
	12.60 - 14.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.32%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

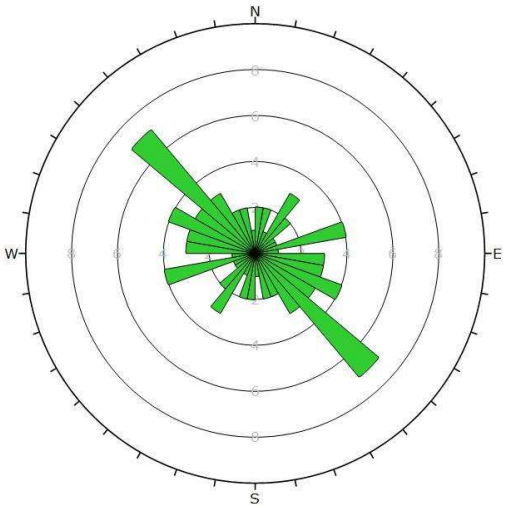
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		30	54	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	22 (22 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

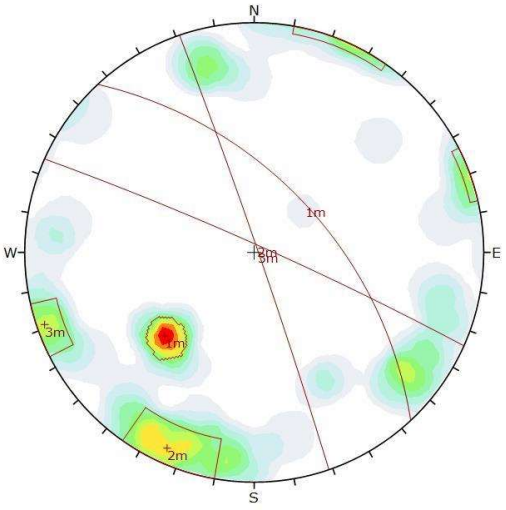
7.2.7 - MP7



Figura 67 - Afloramento de Quartzito em MP7.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	45
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

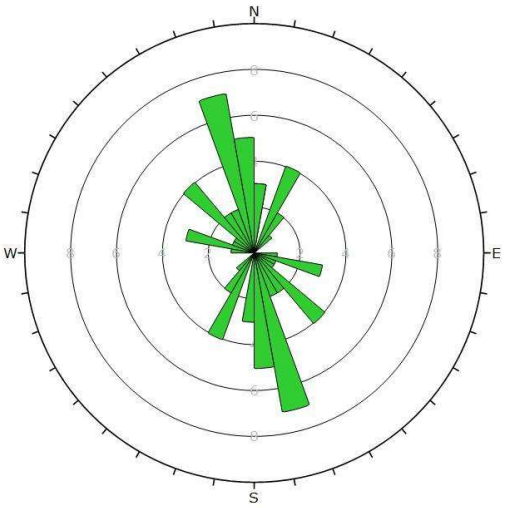


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.20
	1.20 - 2.40
	2.40 - 3.60
	3.60 - 4.80
	4.80 - 6.00
	6.00 - 7.20
	7.20 - 8.40
	8.40 - 9.60
	9.60 - 10.80
	10.80 - 12.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	11.96%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

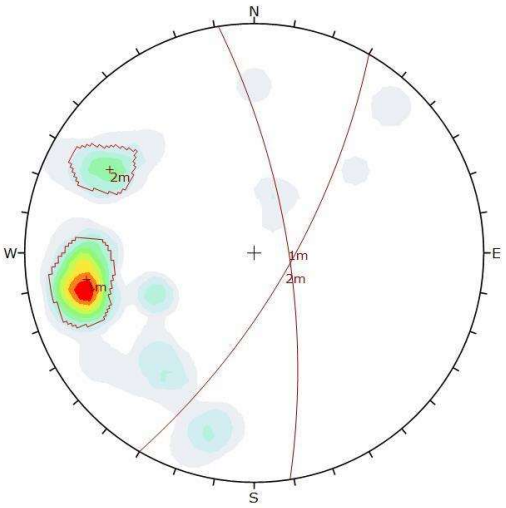
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		56	47	
2m		96	24	
3m		88	71	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	46 (46 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.8 - MP8



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	36
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.90%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		72	81	
2m		72	120	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	39 (39 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle