



CATHERINE VARGAS GOULART

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO, AEROGEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS NA
DELIMITAÇÃO DO LINEAMENTO DE IBARÉ (RS)**

Porto Alegre

2017

CATHERINE VARGAS GOULART

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO, AEROGEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS NA
DELIMITAÇÃO DO LINEAMENTO DE IBARÉ (RS)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III do Departamento de Mineralogia e Petrografia, como resultado parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carla Cristine Porcher

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Supervisor: Renato Luiz da Silveira

Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO, AEROGEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS NA DELIMITAÇÃO DO LINEAMENTO DE IBARÉ, RS”, elaborado por “CATHERINE VARGAS GOULART” como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Cardoso Renner

Prof. Dr. Nelson A. Lisboa

Prof.^a. Dr.^a Silvana Bressan Riffel

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Goulart, Catherine Vargas

Integração de Dados de Sensoriamento Remoto, Aerogeofísicos e Geológicos na Delimitação do Lineamento de Ibaré,RS. / Catherine Vargas Goulart. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.
[147 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Carla Cristine Porcher

Edinei Koester

1. Sensoriamento Remoto.
2. Aerogeofísica.
3. Escudo Sul-rio grandense.
4. Lineamento de Ibaré. I. Título.

CDU 528.8

Catalogação na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Dedico este trabalho a minha melhor amiga,
minha maior inspiração,
minha heroína,
minha vida....
MÃE, TE AMO!.

AGRADECIMENTOS

Muitos dizem ser difícil agradecer a todos que representaram um papel importante nesta jornada, eu discordo, pois, as pessoas que partilharam dos momentos mais difíceis ao nosso lado são as mais difíceis de esquecer.

Primeiramente agradeço a minha melhor amiga, minha heroína e maior inspiração, minha mãe. A pessoa mais amável, justa, inteligente, guerreira, sábia, bondosa, atenciosa, carinhosa, e de boa índole que já conheci... Mãe, só tenho coisas maravilhosas para dizer a seu respeito. Obrigada por todo apoio e carinho durante todos estes anos da minha vida, você é a pessoa que mais amo nestas vidas, sim, vidas! Almas gêmeas, TE AMO!.

Agradeço aos meus amigos queridos, companheiros da jornada UFRGS, uns a mais tempo, outros nem tanto, mas a amizade de todos é um imenso presente. Obrigada por tudo: Renée Rocha (fiel escudeira :}), Franciele Niewinski, Francielle Andres e Henrique Redivo.

Dionatan Ferri Padilha, como esquecer deste ser? JAMAIS! Não tenho palavras para agradecer tudo o que passaste comigo durante este trajeto, principalmente nesta reta final, do 8 ao 80, nossas conversas no Bar da Elô, que renderam muitas risadas e agregaram muito para a realização deste trabalho, até os momentos mais tensos, pré-entrega da monografia. Encontrei em você um amigo que eu procurava a muito tempo, e além de um amigo pra todas as horas, um ótimo orientador (hahaha), fico muito feliz por você surgir na minha vida. Agradeço toda a atenção, paciência, aulas, conversas, conselhos, risadas, mas principalmente a amizade... Espero que esta perdure para sempre.

E agradeço meus orientadores, Prof.^a Carla Porcher e Prof. Edinei Koester, meu supervisor Renato Luiz da Silveira, e Prof. Norberto Dani por me apresentar um olhar diferente de enxergar a geologia, pelo qual me apaixonei.

*“Muitas vezes as pessoas
são insensatas, ilógicas e irracionais.
Ame-as mesmo assim.*

*Se você é gentil,
as pessoas podem acusá-lo de interesseiro.
Seja gentil mesmo assim.*

*Se você é bem-sucedido em suas realizações,
terá alguns falsos amigos e alguns inimigos verdadeiros.
Vença mesmo assim.*

*Se você é honesto e franco, isso o torna vulnerável
e as pessoas podem enganá-lo.
Seja honesto e franco mesmo assim.*

*O que você levou anos para construir,
pode ser destruído de uma hora para outra.
Construa mesmo assim.*

*Se você tem paz e é feliz,
as pessoas podem sentir inveja.
Seja feliz mesmo assim.*

*O bem que você faz hoje,
pode ser esquecido amanhã.
Faça o bem mesmo assim.*

*Dê ao mundo o melhor de você,
mas isso pode não ser o bastante.
Dê o melhor de você mesmo assim.*

*E se você der aos outros o melhor de si,
você corre o risco de se machucar...*

*Não importa, seja verdadeiro consigo mesmo
e se entregue MESMO ASSIM”.*

Madre Teresa de Calcutá

*Por fora calmaria,
por dentro...
Puro caos.*

Autor Desconhecido

RESUMO

A integração proveniente de fontes distintas vem sendo amplamente utilizadas com intuito de gerar um produto final de qualidade e informação para as análises quantitativas e qualitativas, bem como para os procedimentos de interpretação de feições geomorfológicas. Muitas são as visões em relação a interpretação de estruturas crustais de mega escala e blocos tectônicos, principalmente tratando-se das unidades geotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg). Essas estruturas podem ser definidas a partir da interpretação de dados de sensoriamento remoto, integrados à dados aerogeofísicos e geologia regional. O Lineamento de Ibaré, está situado no setor SW do ESrg, ao sul da Província da Mantiqueira e representa uma feição morfoestrutural importante limitando os Terrenos Taquarembó e São Gabriel. O trabalho tem como objetivo definir com precisão a localização geográfica do Lineamento de Ibaré, uma vez que este apresenta-se posicionado/mapeado de formas diversas, através do uso de sensoriamento remoto, mapas aerogeofísicos e interpretação do contexto geológico regional no lineamento, o qual auxiliará na compreensão do modelo evolutivo desta porção do ESrg.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Aerogeofísica, Lineamento de Ibaré, Escudo Sul-rio-grandense.

ABSTRACT

Integration from various sources has been widely used to generate a final quality product and to produce information related to quantitative and qualitative analyzes, as well as those related to the interpretation procedures of geomorphological features. Many ideas have been discoursed when it comes to interpretation of mega-scale crustal structures and tectonic blocks, specially structures related to the Sul-rio-grandense Shield (ESRG). Those structures are defined from remote sensing data interpretation, attached to aerogeophysics data and regional geology. The Ibaré Lineament is located towards SW portion of the ESRG, southern Province of Mantiqueira, and it represents an important morforstructural feature defining Taquarembó and São Gabriel areas. The purpose of the current project is to precisely define its own geographic location because it is positioned / mapped in unusual ways, moreover, to interpret the Lineament geological setting, which will help understanding the evolutionary pattern of this ESRG portion.

Keywords: Remote Sensing, Aerogeophysics, Sul-rio-grandense Shield; Ibaré Lineament.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Mapa 1. Mapa do Brasil com a localização do Rio Grande do Sul e o detalhe da porção SW do estado com a localização da área de estudos (polígono vermelho), dos municípios envolvidos pela área de estudo e as principais vias de acesso..... | 27 |
| Mapa 2. Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira. | 29 |
| Figura 1. Reconstituição da colagem do Gondwana mostrando a distribuição dos orógenos brasilianos pan-africanos e os principais cráticos associados há ca. 560 Ma. Antigos blocos cratônicos do Gondwana Ocidental e possíveis terrenos periféricos: M – Província Mantiqueira; T – Província Tocantins; B – Província Borborema; P – Orógeno Pampeano; D – Cinturão Damara; G – Cinturão Gariep; K – Cinturão Karoo; L – Arco Lufiliano; LH – Baia Lützow-Holm; MD – Madagascar; Y – Montanhas Yamato; R – Orógeno Ross; S – Cinturão Saldania; SH Cadeia Shackleton; SL – Siri Lanca; SR – Montanhas Sor Rondane; Z – Cinturão Zambesi; Outras feições: EM – Montanhas Elisworth-Whitmore; QML – Terra Queen Maud; Cráticos: SF – São Francisco; AM – Amazonas; RP – Rio de La Plata/Paraná; KA – Kalahari; CO – Congo; WA – África Ocidental..... | 30 |
| Mapa 3. Compartimentação simplificada do Escudo Sul-rio-grandense. 1 - Terreno Taquarembó; 2 – Terreno São Gabriel; 3 – Terreno Tijucas; 4 – Batólito Pelotas; LI – Lineamento de Ibaré; ZCDC – Zona de cisalhamento Dorsal de Cangusul; ZFCS – Zona de Falha de C | 31 |
| Mapa 4. Mapa geológico simplificado da Bacia do Camaquã e porções do embasamento (ESRG). | 33 |
| Mapa 5. Distribuição das unidades litoestratigráficas na Bacia do Paraná no Estado do Rio Grande do Sul. | 35 |
| Mapa 6. Mapa geológico da região da área de estudos com relevo sombreado (ângulo de iluminação a 45°, direção azimutal 0° e exagero vertical de 3x). Em destaque a área total e a área chave de estudos. | 36 |
| Mapa 7. Mapa esquemático da Folha Lagoa da Meia Lua. com a separação das principais unidades do Complexo Santa Maria Chico e sua distribuição: (1) Ortognaisse TTG, (2) Rochas metamáfico-ultramáficas acamadas e (3) Paragnaisse. | 40 |
| Mapa 8. Compartimentação geotectônica do Escudo Uruguai-Sul-rio-grandense a partir das assinaturas geofísicas obtidas com a gravimetria e aeromagnetometria. A. Sutura de São Gabriel marca o limite entre o Cráton Rio de La Plata. A Sutura de Caçapava marca o limite entre o embasamento neoproterozóico tectonicamente retrabalhado. A Associação de Arco Magmático II (Terreno São Gabriel) formada predominantemente por crosta juvenil e remanescentes da crosta oceânica da bacia marginal. A Sutura de Porto Alegre separa os granitoides cárlico-alcalinos mais novos da Associação de Arco Magmático I (Batólito Pelotas), do embasamento retrabalhado. As Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC) e a Zona de Cisalhamento Transcorrente de Porto Alegre (ZCTPOA) são mais jovens do que a estruturação da colagem orogênica Cinturão Dom Feliciano. Linha | |

| | |
|---|----|
| tracejada representa a compartimentação interna ao Cráton Rio de La Plata entre o Arqueano-Eoproterozóico..... | 51 |
| Figura 2. Mapa do relevo sombreado na região da área de estudos. Combinação do Modelo Digital de Elevação do Terreno com o sombreamento direcional com ângulo de iluminação a 45°, direção azimutal 0° e exagero vertical de 3x. Área de estudos no polígono em vermelho..... | 54 |
| Figura 3. Posicionamento das linhas de vôo durante o levantamento aerofotográfico. Aquisição das fotografias aéreas e suas sobreposições: lateral (30%) e longitudinal (60%). | 57 |
| Figura 4. Geometria de uma fotografia aérea. O ponto principal (PP) está localizado na intersecção das linhas unindo arcas fiduciais opostas. | 58 |
| Figura 5. Sobreposição da foto I e foto II. A área de 60% de sobreposição pode ser visualizada estereoscopicamente. Observa-se a localização do ponto principal (PP) e os pontos conjugados (PPC) em cada fotografia. Uma linha desenhada entre os pontos principais identifica a linha do vôo. | 59 |
| Figura 6. Geometria de uma fotografia aérea vertical adquirida sobre um terreno com relevo acidentado..... | 60 |
| Figura 7. Equações utilizadas para calcular diferentes valores de escala. a) valores de escala com função mínima elevação acima do nível do mar na foto. b) valores de escala com função máxima de elevação acima do nível do mar na foto. c) calculada para definir a escala geral da fotografia aérea. | 61 |
| Figura 8. Padrão de drenagem: a) angular; b) retangular. | 64 |
| Figura 9. Fotoíndice: Folha Lagoa da Meia Lua em escala 1:100.000. Fotografias em escala 1:60.000. Produto do levantamento aerofotográfico do projeto USAF, em 1964..... | 68 |
| Figura 10. Fotografias aéreas da área estudos. Levantamento aerofotográfico realizado pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) realizado no ano de 1964 em escala 1:60.000. Em destaque, o número de identificação da fotografia aérea..... | 69 |
| Figura 11. Confecção dos estereopares (anaglifos). Plotagem das marcas fiducias. Ponto Principal (PP) e Ponto Transferido (TP) no Software <i>ILWIS Academic 3.31</i> | 70 |
| Figura 12. Estereopar (anaglifo) gerado a partir da seleção de um par fotográfico da linha de vôo referentes ao levantamento aerofotográfico do projeto USAF na região de Ibaré - RS.... | 71 |
| Figura 13. Ajuste dos estereopares (anaglifos) com o terreno (georreferenciamento), no datum SIRGAS 2000, através das drenagens e do sistema viário no Software ArcGis, extensão ArcMap 10.3..... | 72 |
| Figura 14. Mapa de localização da área onde foi realizado o levantamento aerogeofísico no Estado do Rio Grande do Sul. Em destaque, a área que envolve o Projeto Aerogeofísico - Escudo Sul-rio-grandense, CPRM 2010..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| Figura 15. Mapa esquemático modificado do posicionamento das linhas de vôo distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) com a área de estudos em destaque | 74 |
| Figura 16. Gráfico da interação dos raios gama com a matéria. | 77 |
| Figura 17. Plano de vôo para um levantamento aeromagnético..... | 81 |
| Figura 18. Fluxograma esquemático com o procedimento aplicado ao processamento dos dados aerogamaespectrométricos, onde foram gerados mapas de imagens dos valores anômalos das concentrações dos radioelementos..... | 86 |
| Figura 19. Fluxograma esquemático com as técnicas de filtragens utilizadas no processamento dos dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos finais obtidos através da aplicação dos diferentes filtros na área de estudos..... | 88 |
| Figura 20. Articulação cartográfica das cartas em escala 1/50.000 na região da área de estudos. O polígono vermelho representa a localização da área de estudos total. O polígono amarelo representa a área chave de estudos. | 90 |
| Mapa 9. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/400.000..... | 92 |
| Mapa 10. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/200.000..... | 93 |
| Mapa 11. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/100.000. | 94 |
| Mapa 12. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escalas 1/400.000; 1/200.000; e 1/100.000. | 95 |
| Figura 21. Diagrama de Roseta da frequência acumulada dos lineamentos nas escalas: a) 1/400.000, b) 1/200.000, c) 1/100.000 e d) integração da frequência acumulada em todas as escalas apresentadas. | 96 |
| Figura 22. Identificação dos lineamentos em escala 1/60.000, através da análise do padrão do relevo (positivo) e anomalias retilíneas observadas nos padrões de drenagem (negativos).... | 97 |
| Figura 23. Diagrama de Roseta da frequência absoluta dos lineamentos na escala 1/60.000.. | 97 |
| Figura 24. Identificação dos lineamentos em escala 1/25.000, através da análise do padrão do relevo (positivo) e anomalias retilíneas observadas nos padrões de drenagem (negativos).... | 98 |
| Figura 25. Diagrama de Roseta da frequência absoluta dos lineamentos na escala 1/25.000.. | 98 |
| Mapa 13. Mapa magnetométrico do campo magnético de intensidade total na área de estudos. | 101 |

| | |
|---|-----|
| Mapa 14. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em "x" do campo magnético total na área de estudos..... | 102 |
| Mapa 15. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em "y" do campo magnético total na área de estudos..... | 103 |
| Mapa 16. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em "z" do campo magnético total na área de estudos..... | 104 |
| Mapa 17. Mapa magnetométrico da 1 ^a Derivada Vertical (1 ^a DV) do campo magnético total na área de estudos. Promove o realce das fontes magnéticas mais rasas. | 105 |
| Mapa 18. Mapa magnetométrico do Gradiente Horizontal do campo magnético de intensidade total da área de estudos. | 106 |
| Mapa 19. Mapa magnetométrico da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) do campo magnético total da área de estudos. | 107 |
| Mapa 20. Mapa gamaespectrométrico da Contagem Total na área de estudos..... | 108 |
| Mapa 21. Mapa gamaespectrométrico do canal do Potássio (K) na área de estudos..... | 109 |
| Mapa 22. Mapa gamaespectrométrico do canal do equivalente de Urânio (eU) na área de estudos. | 110 |
| Mapa 23. Mapa gamaespectrométrico do canal do equivalente de Tório (eTh) na área de estudos. | 111 |
| Mapa 24. Mapa gamaespectrométrico da razão eU/K na área de estudos. | 112 |
| Mapa 25. Mapa gamaespectrométrico da razão eTh/K na área de estudos.. | 113 |
| Mapa 26. Mapa gamaespectrométrico da razão eU/eTh na área de estudos. | 114 |
| Mapa 27. Mapa gamaespectrométrico do Ternário (RGB) na área de estudos.. | 115 |
| Mapa 28. Mapa gamaespectrométrico do Ternário (CMY) na área de estudos. | 116 |
| Figura 26. Mapa esquemático preliminar geofísico dos lineamentos magnéticos e morfoestruturais. Diagramas de roseta referentes aos lineamentos apresentados, propostos para a área de estudos. | 117 |
| Mapa 29. Mapa Geológico com a área de estudos em destaque e a marcação dos afloramentos visitados no trabalho de campo..... | 118 |
| Figura 27. Afloramento todo em blocos pequenos fraturados com direção preferencial NW-SE. Evidenciando a passagem de uma das estruturas rúpteis que compõem o LI. | 119 |

Figura 28. Blocos de quartzo leitoso alinhados segundo azimute 309°. Estes blocos marcam a passagem de uma estrutura rúptil no local. 119

Figura 29. Fraturas finas de alto ângulo com direção SW-NE. Presentes nas unidades da Formação Maricá na fotografia da esquerda, e nas rochas Complexo Arroio Marmeiro na fotografia da direita. 119

Figura 30. Afloramento em corte de estrada bem alterado expondo uma unidade do Complexo Arroio Marmeiro composta por metassedimentos de grão fino indicando baixo grau de metamorfismo, e bandamento de baixo ângulo Sx (10/130) marcado pela muscovita. Apresenta intercalação de níveis mais arenosos. Veio de qzo leitoso de 15 a 20 cm de espessura cortando a foliação. Sx (69/223) no leito da estrada. 120

Figura 31. Afloramento na estrada de ferro expondo unidades do Complexo Arroio Marmeiro. Rochas com alto grau de deformação apresentando bandamento de alto ângulo de mergulho. S_b (85/050; 85/030). Ocorrência de Dobras Chevron com palco axial de alto ângulo. PA (32/019); Eixo (19/322). 121

Figura 32. a) Afloramento da Fm Maricá com intercalação de camadas de folhelho com arenito maciço fino a médio em camadas subverticais. Indicativo da intensa movimentação do lineamento no período sin a pos deposicional. b) Afloramento em lajeado bem alterado que corta a estrada expondo unidades da Formação Maricá composto por arenito fino de cor bege claro com estratificação subvertical bem marcada, S₀ (74/356). 122

Figura 33. Afloramento de corte de estrada expondo o contato por discordância erosiva e angular entre a Formação Maricá e o Grupo Itararé. A Formação Maricá apresenta camadas finas a grossas compostas por arenitos arcoseanos a arcóseo-líticos, finos a grossos, textural e composicionalmente imaturos, com grãos subangulosos a angulosos e grau de seleção moderado; estrutura maciça, ocasionalmente com estratificação cruzada acanalada e plano-paralela apresentando gradação normal. O Grupo Itararé apresenta na base uma camada espessa (~ 60 cm) de paraconglomerados predominantemente maciços, pobramente selecionados, com seixos (2-20 cm) de granito, quartzo, riolitos, andesito, gnaisses, xistos e rochas sedimentares, no topo, siltitos e arenitos finos com laminação plano-paralela contendo níveis fossilíferos. S₀ Fm Maricá (74/234); S₀ Gp Itararé (20/042). 123

Figura 34. Formação Rio Bonito, onde na base ocorrem conglomerados e no topo as porções mais finas, arenito bege médio a grossos com grãos líricos de quartzo e feldspato. S₀ (11/256; 09/251). 125

Figura 35. Estereograma das estruturas planares das unidades do Complexo Arroio Marmeiro. Pólos da foliação evidenciando o médio a alto ângulo do mergulho e direção desta unidade. (Rede Equiárea, hemisfério inferior) 125

Figura 36. Estereograma das estruturas planares das unidades: a) Formação Maricá, b) Grupo Itararé, c) Formação Rio Bonito. Pólos da foliação que evidencia o médio a alto ângulo do mergulho e direção destas unidades. N é o número total de medidas coletadas. (Rede Equiárea, hemisfério inferior) 125

| | |
|---|-----|
| Figura 37. a) Estereograma do pólo dos planos das fraturas decorrentes na área chave hemisfério inferior. b) Diagrama de roseta da frequência absoluta das fraturas. mostrando um predomínio direcional N-S E SE-NW na folha da Coxilha do Tabuleiro. (Rede Equiárea, hemisfério inferior)..... | 126 |
| Mapa 30. Mapa geológico de parte da Folha Coxilha do Tabuleiro na escala 1/25.000. Mapeamento em detalhe realizado por UFRGS 2005 que permite visualizar a presença de unidades alongadas na direção NW-SE afetadas pelo Lineamento de Ibaré nesta região..... | 127 |
| Mapa 31. Mapa magnetométrico da 1 ^a Derivada Vertical. Zona de Cisalhamento na região da Dorsal de Canguçu.. .. | 129 |
| Mapa 32. Mapa de integração dos resultados de sensoriamento remoto, aerogeofísicos e geologia regional da área de estudos. Em amarelo destacam-se os lineamentos identificados nos produtos de sensoriamento remoto. Em vermelho destacam-se os lineamentos magnéticos identificados nos produtos aerogeofísicos..... | 132 |
| Figura 38. Diagrama de roseta da integração dos lineamentos morfoestruturais e magnéticos na região da área de estudos. | 132 |
| Mapa 33. Mapa de localização da Zona de Falha Ibaré no Escudo Sul-rio-grandense..... | 133 |

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Informações técnicas do levantamento aerogeofísico realizado no ESrg.....74

LISTA DE ABREVEASÕES E SIGLAS

ASA – Amplitude do Sinal Analítico

ASCII – *American Standard Code for Information interchange*

ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

ATT – Associação Tonalítica Trondhjamítica

BIGRID – Algoritimo Bidirecional

BMP – *Bitmap*

CAM – Complexo Arroio Marmeiro

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

CRP – Cráton Rio de La Plata

CSMC – Complexo Santa Maria Chico

CT – Contagem Total

dx – derivada total na direção x

dy – derivada total na direção y

ESrg – Escudo Sul-rio-grandense

E – Leste

eTh – Equivalente de Tório

eU – Equivalente de Urânio

eTh/K – Razão equivalente de Tório/ Potássio

eU/K – Razão equivalente de Urânio/ Potássio

Fm – Formação

Fig – Figura

GDB's – *Geodatabases*

GDEM – *Global Digital Elevation Model*

GeoTiff – *Georeferenced Tagged Image File Format*

GPS – *Global Positioning System*

GRD – *Genealogical Research Directory*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

i.e – isto é

IGEO – Instituto de Geociências

IGRF – *International Geomagnetic Reference Field*

K% – Potássio

km – Quilômetros

km² – Quilômetros quadrados

LI – Lineamento de Ibaré

m – metros

Ma – Milhões de anos

MDT – Modelo Digital do Terreno

MeV – Mega elétrons-Volt

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NE – Nordeste

Nd – Neodímio

nT – nano Tesla

NW – Noroeste

PA Plano Axial

ppm – parte por milhão

Rb – Rubídio

RS – Rio Grande do Sul

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SHIRIMP – *Sensitive High Resolution Ion Microprobe*

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

Sr – Strôncio

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

T_{DM} – Idade manto depletado

TIMS – *Thermal ionization mass spectrometry*

TSG – Terreno São Gabriel

TT – Terreno Taquarembó

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USAF – Força Aérea dos Estados Unidos

USGS – *United States Geological Survey*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

ZCI – Zona de Cisalhamento Ibaré

ZCTDC – Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu

ZCTPOA – Zona de Cisalhamento Transcorrente Porto Alegre

W – Oeste

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

α – alfa

β – beta

γ - gama

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 Caracterização do Problema | 24 |
| <i>1.1.1 Problema</i> | 24 |
| <i>1.1.2 Premissas</i> | 24 |
| <i>1.1.3 Hipóteses</i> | 25 |
| 1.2 Objetivos | 25 |
| <i>1.2.1 Objetivos Gerais.....</i> | 25 |
| <i>1.2.2 Objetivos Específicos</i> | 26 |
| 1.3. Localização da Área de Estudos | 27 |
| 2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL | 28 |
| 3. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL..... | 37 |
| 3.1 Terreno Taquarembó..... | 37 |
| <i>3.1.1 Complexo Santa Maria Chico</i> | 37 |
| 3.2 Terreno São Gabriel..... | 41 |
| <i>3.3.1 Complexo Arroio Marmeiro</i> | 42 |
| 3.3 Bacia do Camaquã | 43 |
| <i>3.3.1 Formação Maricá</i> | 43 |
| 3.4. Bacia do Paraná | 44 |
| <i>3.4.1 Grupo Itararé</i> | 45 |
| <i>3.4.2 Formação Rio Bonito</i> | 46 |
| 3.3 Lineamento de Ibaré | 47 |
| 4. CONTEXTO GEOFÍSICO REGIONAL..... | 48 |
| 4.1. Domínio Geofísico Oeste: Cráton Rio de La Plata..... | 49 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS | 52 |
| 5.1 Modelo Digital do Terreno | 52 |
| 5.2 Fotogrametria..... | 55 |
| <i>5.2.1. Cobertura Aerofotogramétrica</i> | 55 |
| <i>5.2.2 Fotografias Aéreas</i> | 57 |

| | |
|---|------------|
| <i>5.2.3. Escala Fotográfica</i> | 59 |
| 5.3. Estereoscopia | 61 |
| <i>5.3.1. Anaglifo</i> | 61 |
| 5.4. Interpretação Fotogeológica..... | 62 |
| <i>5.4.1. Relevo</i> | 62 |
| <i>5.4.2. Drenagem</i> | 63 |
| <i>5.4.3 Lineamentos</i> | 64 |
| 5.5. Processamento dos Dados Fotogeológicos | 67 |
| <i>5.5.1. Confecção dos Modelos Anaglifos</i> | 69 |
| <i>5.5.2. Georreferenciamento dos Modelos Anaglifos</i> | 71 |
| 5.6. Levantamento Aerogeofísico | 73 |
| 5.7. Gamaespectrometria..... | 75 |
| <i>5.7.1. Fundamentos Teóricos</i> | 75 |
| 5.8. Magnetometria | 79 |
| <i>5.8.1. Fundamentos Teóricos</i> | 79 |
| 5.9. Processamento dos Dados Aerogeofísicos | 82 |
| <i>5.9.1 Dados Aeromagnetométricos</i> | 83 |
| <i>5.9.2 Dados Gamaespectrométricos</i> | 87 |
| <i>5.9.3. Lineamentos Magnéticos</i> | 89 |
| 5.10. Trabalho de campo..... | 89 |
| 6. RESULTADOS | 91 |
| 6.1 Modelo Digital do Terreno e Fotointerpretação | 91 |
| 6.2 Aerogeofísica | 99 |
| 6.3. Trabalho de Campo..... | 118 |
| 7. DISCUSSÕES | 128 |
| CONCLUSÕES..... | 134 |
| REFERÊNCIAS | 136 |

1. INTRODUÇÃO

A utilização de geotecnologias está cada vez mais presente no ramo de estudos de cunho geológico onde, através de técnicas de processamento de imagens, é efetuada uma análise mais complexa das feições do terreno. O sensoriamento remoto é uma importante fonte de dados para o Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo uma ferramenta básica na fase pré-campo para estudos geológicos, geomorfológicos e tectônico, permitindo a visualização e análise de numerosos dados espaciais, seja sob a forma analógica, através de fotografias aéreas, ou digitais, através de imagens orbitais, buscando identificar expressões anômalas dentro da tendência regional, as morfoestruturas, as quais podem ter alguma relação com feições subsuperficiais impressas nestas fotografias ou imagens.

Nesse sentido, o uso de dados provenientes desses sensores se torna fundamental para o realce e identificação de feições lineares (fraturas, falhas, traços de foliação, bandamento, contatos litológicos e zonas de cisalhamento), e a sua integração com dados de subsuperfície como dados aeromagnéticos, capazes de revelar estruturas com até quilômetros de profundidade (OLIVEIRA, 2008). Para que seja possível um aprimoramento no mapeamento de estruturas tectônicas é fundamental a realização de estudos que atestem a eficácia na integração de dados geológicos, de imagens (fotografias aéreas e satélite) e de geofísica (magnetometria e gamaespectrometria).

Assim, este trabalho propõe identificar feições lineares em superfície (lineamentos morfoestruturais) e em subsuperfície (lineamentos magnéticos) através de métodos visuais como fotografias aéreas, anaglifos, modelos digitais do terreno, mapas aerogeofísicos (mapas magnetométricos e gamaespectrométricos) e trabalho de campo, para definir o caráter dos mesmos, se rupeis ou dúcteis. A integração destes dados permite interpretar e delimitar espacialmente, na porção sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense, a megaestrutura conhecida na literatura como Lineamento de Ibaré (*e.g.* LUZARDO e FERNANDES, 1990), levando à compressão do arcabouço tectônico nesta importante região do ESrg.

1.1 Caracterização do Problema

1.1.1 Problema

A revisão bibliográfica realizada a respeito do Lineamento de Ibaré (LI), uma importante estrutura no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), tem sido proposta por diversos autores. (LUZARDO e FERNANDES, 1990; CPRM, 2010; CAMOZZATO *et al.*, 2012; UFRGS, 2016), mas sua delimitação geográfica, ou seja, seu posicionamento em mapas geológicos divergem quanto a sua localização, em especial em mapas de detalhe. Ainda, ressalta-se que há interpretações diversas a respeito desse lineamento uma vez que alguns autores se referem ao LI como uma estrutura rúptil (falha, UFRGS 2016) outros como uma estrutura rúptil-dúctil (zona de cisalhamento, CPRM, 2010, CAMOZZATO *et al.*, 2012;).

Assim, algumas colocações podem ser questionadas sobre o Lineamento de Ibaré:

- Qual o critério utilizado por estes autores para definir o posicionamento do Lineamento de Ibaré dentro do ESrg?
- Esta é uma estrutura rúptil? Rúptil-dúctil?
- A zona de falha e a zona de cisalhamento dúctil-rúptil podem ser a mesma estrutura expondo porções de diferentes profundidades?
- Esta estrutura limita terrenos geológicos distintos?

1.1.2 Premissas

- Lineamentos podem ter equivalência com estruturas tectônicas, tais como fraturas e falhas (MORELLI e PIANA, 2006).
- Terrenos geológicos distintos geralmente são separados por estruturas rúpteis ou rúptil-ductil. (PLUMIJM e MARSHAK, 2004)
- O Lineamento de Ibaré limita os terrenos Taquarembó e São Gabriel (MORELLI e PIANA *et al.*, 2007).

- Uma mesma estrutura quando observada em diferentes escalas pode promover interpretações distintas. (e.g. um lineamento ou uma zona de falhas, VENEZIANI, 1987).
- Na região do Lineamento de Ibaré foram encontradas estruturas rúpteis subparalelas de direção NW-SE, e à nordeste das mesmas, foram encontradas estruturas relacionadas a uma zona de cisalhamento dúctil de direção NW-SE (UFRGS, 2016).

1.1.3 Hipóteses

A partir das dúvidas levantadas são propostas duas hipóteses para este problema:

- As estruturas rúpteis e a zona de cisalhamento subparalelas correspondem a duas zonas distintas, uma rúptil (Lineamento de Ibaré) e outra rúptil-dúctil, sendo a primeira localizada no limite entre os terrenos Taquarembó e São Gabriel e a segunda inserida no Terreno São Gabriel.
- Estas estruturas podem ser exposições de diferentes níveis crustais, sendo ambas inclusas no Lineamento de Ibaré formando uma única estrutura, sendo esta uma zona, a Zona de Cisalhamento Ibaré.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O trabalho possui como principal objetivo identificar e delimitar a extensão lateral do Lineamento de Ibaré no contexto da porção sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense através do uso integrado de dados adquiridos a partir da fotointerpretação, processamento, análise e interpretação de dados aerogeofísicos (primário: magnetometria; secundário: gamaespectrometria) e reconhecimento geológico (trabalho de campo), visando estabelecer se o Lineamento de Ibaré é formado por estruturas rúpteis (falhas) subparalelas que separam os terrenos Taquarembó e São Gabriel; ou se o Lineamento de Ibaré se trata de estruturas

rúpteis-dúcteis (zona de cisalhamento) e rúpteis (falhas) subparalelas, sendo estas exposições de diferentes níveis crustais da mesma estrutura, formando um sistema de falhas.

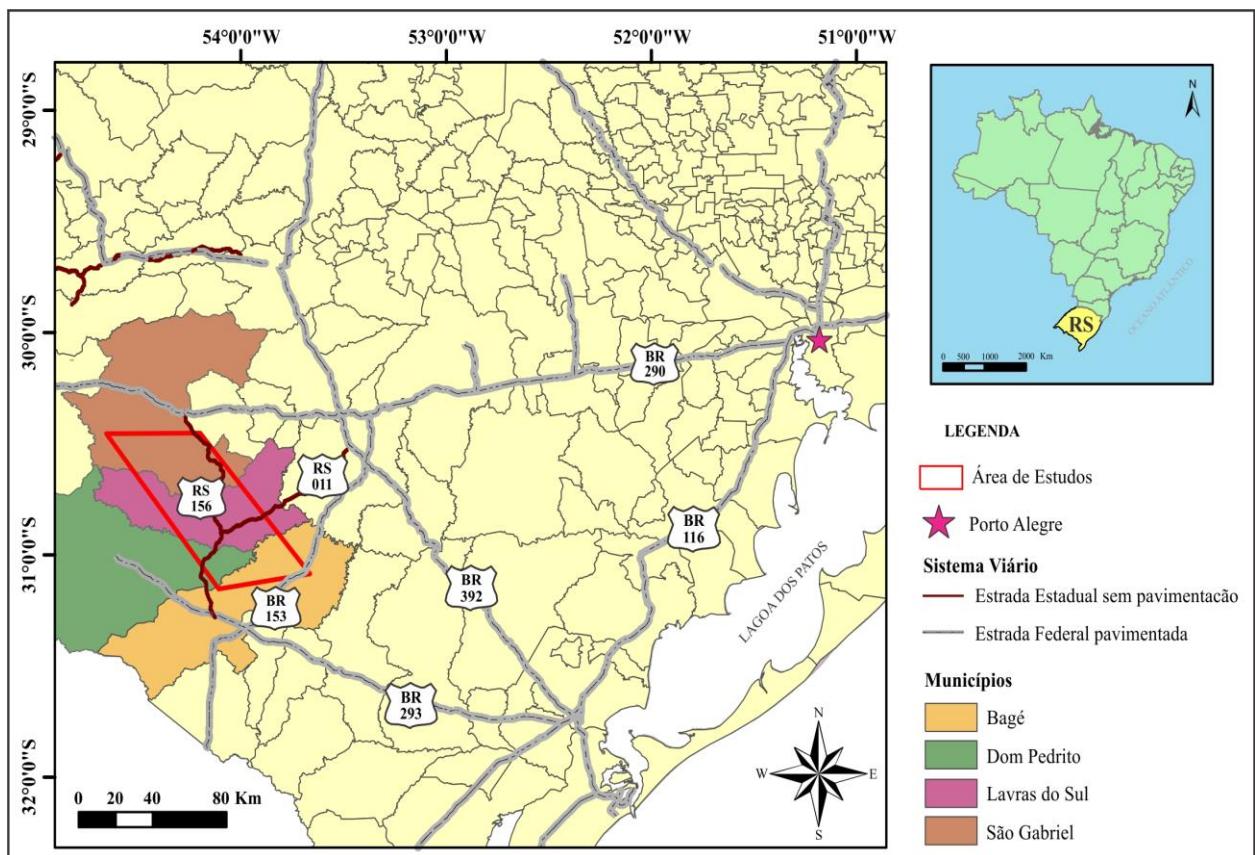
1.2.2 Objetivos Específicos

- Através da fotointerpretação (escala 1/60.000) delimitar estruturas na superfície do terreno (lineamentos morfoestruturais) nas escalas 1/60.000 e 1/25.000, com predomínio direcional de NW-SE, que possam estar correlacionados ao Lineamento de Ibaré.
- Delimitar estruturas na superfície do terreno (lineamentos morfoestruturais) nas escalas 1/400.000, 1/200.000 e 1/100.000, que apresentem predomínio direcional de NW-SE, e possam estar correlacionados ao Lineamento de Ibaré, através da análise e interpretação de modelos digitais de elevação do terreno (MDT).
- Delimitar estruturas em subsuperfície (anomalias magnéticas), a partir de dados aeromagnetométricos, que possam estar correlacionados ao Lineamento de Ibaré.
- Identificar limites espaciais na superfície do terreno correspondentes a unidades geológicas a partir dos produtos gráficos dos dados gamaespectrométricos.
- Verificar em campo a ocorrência e o caráter das estruturas identificadas através dos produtos de sensoriamento remoto, assim como a verificação da direção preferencial das mesmas.
- Verificação da geologia local, coleta de amostras para observação macro e obtenção de dados estruturais em campo.

1.3. Localização da Área de Estudos

A área de estudos localiza-se na porção sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades das cidades de Lavras do Sul, Dom Pedrito e São Gabriel. As principais vias de acesso a esta região são pela BR-290, RS-011 e RS-156 (Mapa. 1). A área do alvo de estudos abrange as cartas topográficas na escala 1/50.000: folha Suspiro (SH.21-Z-B-VI-1; MI-2994/1), Ibaré (SH.21-Z-B-VI-3; MI-2994/3), Coxilha do Tabuleiro (SH.21-Z-B-VI-4; MI-2994/4), Torquato Severo (SH.21-Z-D-III-2; MI-3007/2), Lavras do Sul (SH.) (MI-2995/3) e Passo do Tigre (SH.22-Y-C-I-1; MI-3008/1).

Mapa 1. Mapa do Brasil com a localização do Rio Grande do Sul e o detalhe da porção SW do estado com a localização da área de estudos (polígono vermelho), dos municípios envolvidos pela área de estudo e as principais vias de acesso.



2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Mantiqueira, localizada à leste do cráton São Francisco e do cráton Rio de La Plata, ocorre paralela à costa atlântica formando uma faixa com mais de 3.000 km de comprimento, de direção NNE-SSW (Mapa 2). Esta estende-se de Montevidéu no Uruguai até o sul do estado da Bahia no Brasil e limita-se com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná, e à leste, com as bacias costeiras do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas e margem continental (ALMEIDA *et al.*, 1977, 1981).

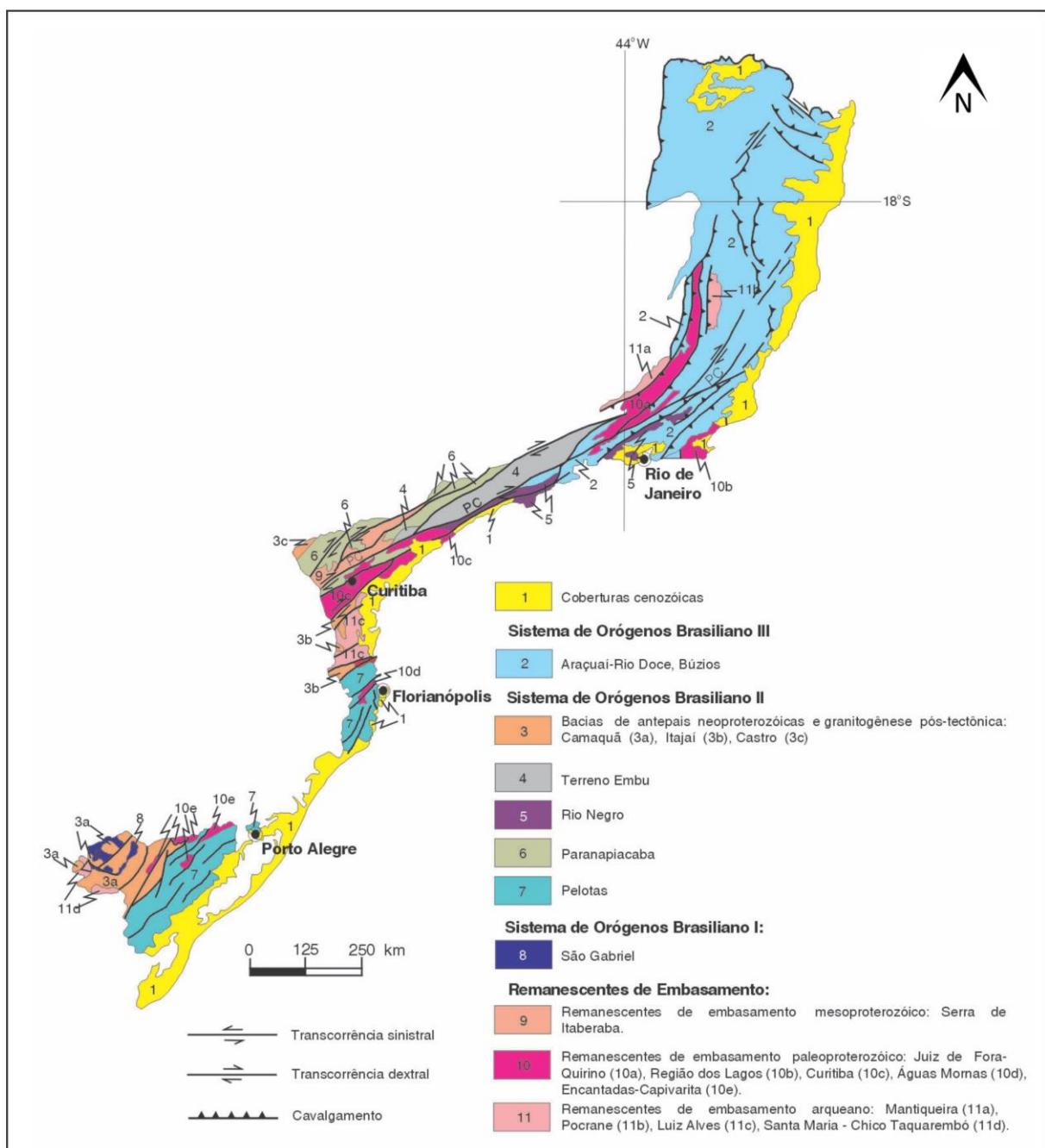
Formada pela integração de sucessivos cinturões de “empurrão e dobramento” controlados por sistemas transpressivos de cavalgamento em direção às margens cratônicas da América do Sul (SENGÖR, 1990), a Província Mantiqueira evoluiu durante a colagem neoproterozóica/cambriana. Esta província contém de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas, registrando a longa e complexa evolução do neoproterozóico (900 – 520 Ma) na América do Sul (CPRM, 2003).

Segundo Almeida (1977), a evolução da Província Mantiqueira é marcada pelas diferenças nas idades entre as fases sincolisionais exemplificadas pelo arco magmático pré-colisional durante os episódios de granitogênese que ocorreram no Terreno São Gabriel, entre *ca.* 880 Ma e 750-730 Ma. A partir dos anos 90 os processos geradores dessa evolução foram melhor reconhecidos, devido à generalização das datações pelo método U-Pb corroborando para uma fiel divisão das unidades geotectônicas, sendo estas entre porções de embasamento retrabalhado e coberturas metassedimentares, segmentadas em três partes: 1) segmento setentrional, que corresponde ao Orógeno Araçuaí; 2) segmento central, que engloba o Orógeno Ribeira, a Zona de Interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira; 3) segmento meridional, que inclui os Orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. Os terrenos mesoproterozóicos foram aglutinados originando o Supercontinente Gondwana Ocidental a aproximadamente 560 Ma (Fig. 1).

No segmento meridional da Província Mantiqueira, na porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul (RS), a origem e evolução das rochas pré-Cambrianas do Escudo Sul-riograndense (ESrg) foi conceitualmente correlacionada através da identificação de associações petrotectônicas (*e.g.* RIBEIRO e FANTINEL 1978, FRAGOSO-CESAR 1980, TOMMASI e FERNANDES 1990) com ambientes geotectônicos específicos, mas a compartimentação das associações de rochas se mostraram distintas, devido a forma de correlação entre a sequência dos eventos registrados e sua natureza. As rochas que afloram na

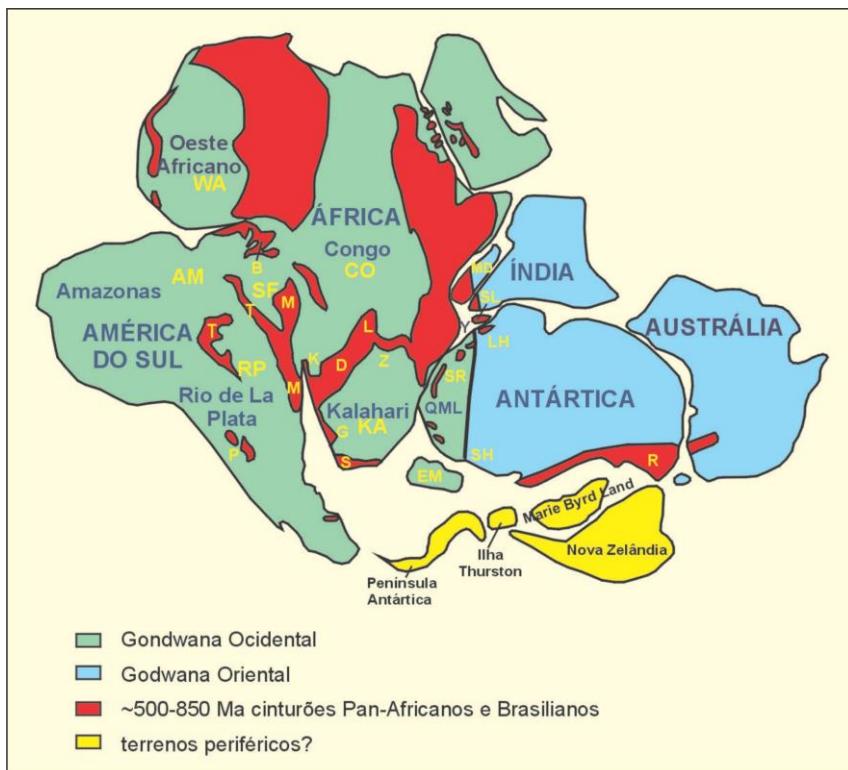
maior parte do escudo, foram geradas durante os ciclos orogênicos Transamazônicos (2,26-2,00 Ga) e Brasiliano (900-535 Ma) (SOLIANI JUNIOR *et al.*, 2000). No entanto, a acresção, deformação e retrabalhamento dos blocos crustais pré-cambrianos durante o ciclo orogênico Brasiliano foram responsáveis pela sua configuração final, a qual corresponde ao Cinturão Dom Feliciano (CHEMALE JR, 2000).

Mapa 2. Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira.



Fonte: CPRM, 2003.

Figura 1. Reconstituição da colagem do Gondwana mostrando a distribuição dos orógenos brasilianos pan-africanos e os principais crâtons associados há ca. 560 Ma. Antigos blocos cratônicos do Gondwana Ocidental e possíveis terrenos periféricos: M – Província Mantiqueira; T – Província Tocantins; B – Província Borborema; P – Orógeno Pampeano; D – Cinturão Damara; G – Cinturão Gariep; K – Cinturão Karoo; L – Arco Lufiliano; LH – Baia Lützow-Holm; MD – Madagascar; Y – Montanhas Yamato; R – Orógeno Ross; S – Cinturão Saldania; SH – Cadeia Shackleton; SL – Siri Lanca; SR – Montanhas Sor Rondane; Z – Cinturão Zambesi; Outras feições: EM – Montanhas Elisworth–Whitmore; QML – Terra Queen Maud; Crâtons: SF – São Francisco; AM – Amazonas; RP – Rio de La Plata/Paraná; KA – Kalahari; CO – Congo; WA – África Ocidental.



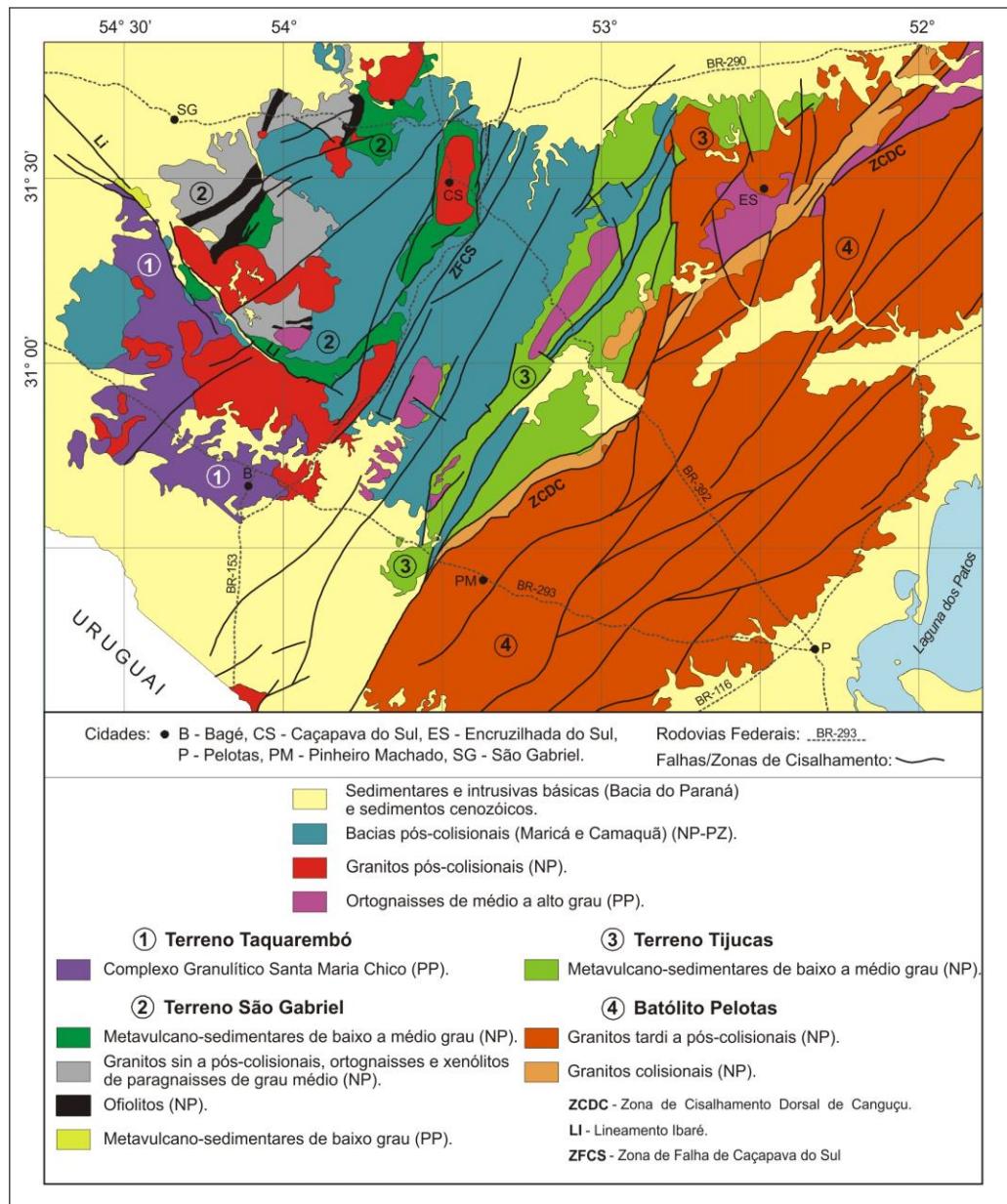
Fonte: CPRM, 2003.

Aflorante em maior parte do ESrg, o Cinturão Dom Feliciano (CDF) apresenta aproximadamente 800 km de comprimento e largura média entorno de 150 km. Este cinturão está localizado no Gondwana sul-occidental (BORBA, 2006) e registra o evento Brasiliano no sul do país, desde Santa Catarina até o Uruguai. Formado no Neoproterozóico através da convergência entre o cráton Kalahari, na África, e o cráton Rio de La Plata, na América do Sul, constitui-se principalmente por rochas graníticas e metamórficas neoproterozoicas, com embasamento de idade predominantemente paleoproterozoica.

As associações petrotectônicas presentes neste cinturão compreendem idades distintas, e os diferentes estágios evolutivos são responsáveis por sua estruturação final, alongada na direção NE-SW (FERNANDES, *et al.*, 1995a). Reconhecidas de leste para oeste, estas associações foram divididas, devido a suas diferenças estruturais, petrotectônicas e isotópicas,

em quatro unidades geológicas: Batólito Pelotas, Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel e Terreno Taquarembó (CPRM, 2012), além das exposições da Bacia do Camaquã (BORBA, 2006), e Bacia do Paraná (Mapa 3).

Mapa 3. Compartimentação simplificada do Escudo Sul-rio-grandense. 1 - Terreno Taquarembó; 2 – Terreno São Gabriel; 3 – Terreno Tijucas; 4 – Batólito Pelotas; LI – Lineamento de Ibaré; ZCDC – Zona de cisalhamento Dorsal de Canguçu; ZFCS – Zona de Falha de Caçapava do Sul.



Fonte: CPRM, 2012.

Segundo Fernandes (1995a), as rochas graníticas calcio-alcalinas que ocorrem em grande volume na porção leste do ESrg foram metamorfisadas em alto grau e deformadas

devido a correlação de intrusão destas rochas em gnaisses e mármore. Este evento foi interpretado como a raiz de um arco magmático de margem continental ativa denominada de Batólito Pelotas. A associação da bacia marginal, representada pela cobertura de rochas supracrustais, e os gnaisses do embasamento eoproterozóicos referentes a associação do embasamento retrabalhado, sofreram uma deformação tardia que gerou transporte paralelo ao longo do cinturão ocasionando a intercalação tectônica destas associações, formando o Terreno Tijucas.

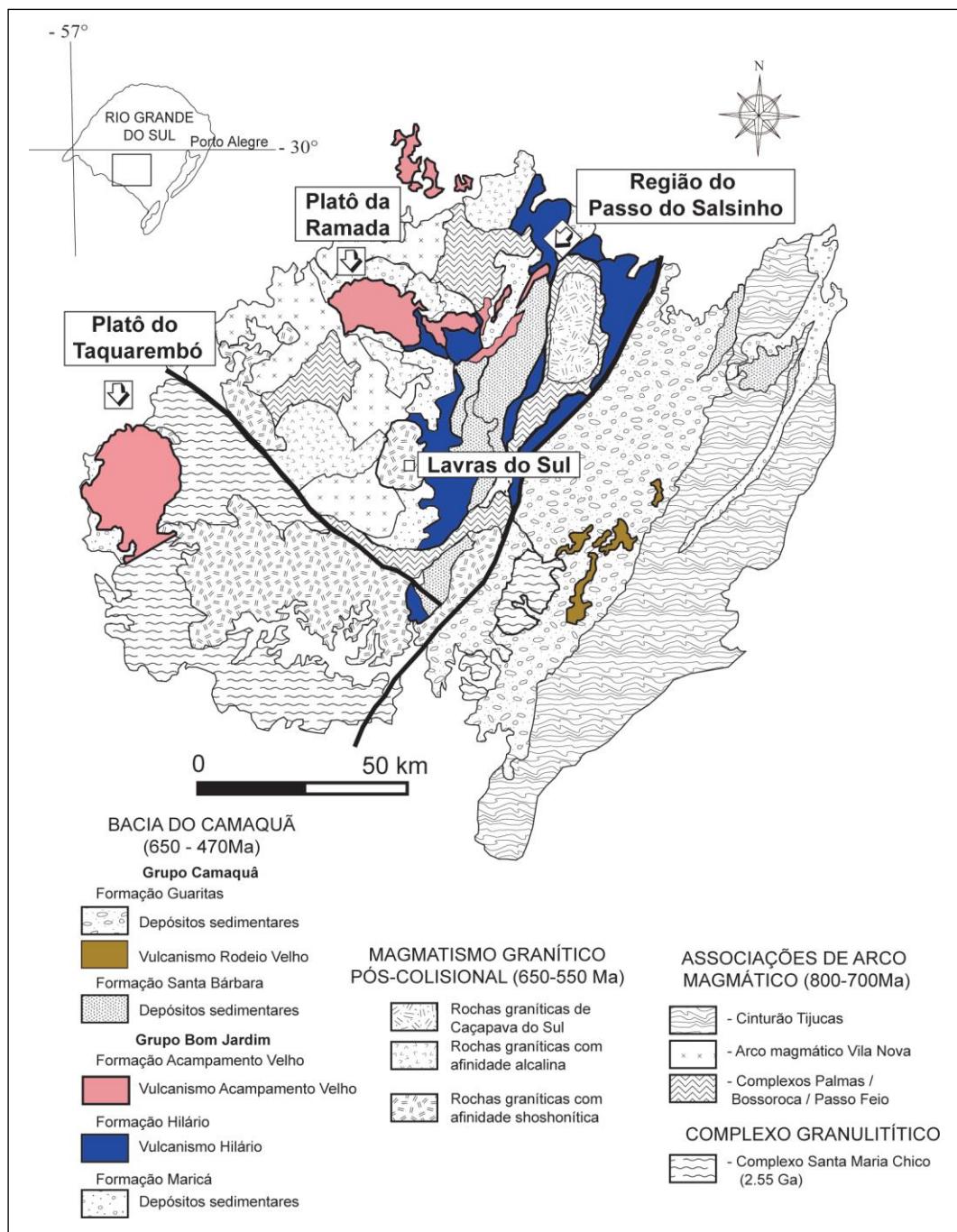
O Terreno São Gabriel representa o assoalho da bacia marginal devido a presença de fragmentos de ofiolitos e sedimentação associada, sendo denominado como uma raiz pouco evoluída de um arco magmático de margem continental ativa. Interpretado como parte do cráton Rio de La Plata. O Terreno Taquarembó é interpretado como a raiz de um cinturão orogênico paleoproterozóico (2200 Ma), contendo rochas como tonalitos, trondhjemitos, gnaisses básicos, rochas metasedimentares, rochas ultrabásicas e anortositos que foram metamorfizados durante o Ciclo Transamazônico (SOLIANI JUNIOR 1986, HARTMANN 1987, MANTOVANI *et al.*, 1987).

As sequências sedimentares e vulcanogênicas posteriores aos eventos orogênicos que deram origem ao Supercontinente Gondwana e anteriores à instalação das grandes bacias intracratônicas paleozoicas, correspondem as rochas aflorantes pré-cambrianas das regiões do Uruguai, Sudeste e Sul do Brasil. Tais rochas desenvolveram-se em bacias associadas às falhas do embasamento da região sul-sudeste do Brasil, são caracterizadas pela ocorrência de conglomerados e arenitos continentais, rochas vulcânicas associadas e granitos. Essas bacias apresentam o registro das etapas de estabilização do Gondwana, e dentre elas, a Bacia do Camaquã é considerada a maior e mais preservada. (ALMEIDA, 1967, 1969; FRAGOSO-CESAR *et al.*, 1984, 1985; GRESSE *et al.*, 1996; PAIM *et al.*, 2002). Estas bacias foram interpretadas posteriormente como bacias transcorrentes de fases tardias do evento colisional (*e.g.* OLIVEIRA e FERNANDES, 1991), tipo rift sem vínculo com a orogênese Brasiliana (FRAGOSO-CESAR *et al.* 2000, 2001, 2003; FAMBRINI *et al.*, 2001; FAMBRINI, 2003, JANIKIAN *et al.*, 2003; FAMBRINI *et al.*, 2005, 2006, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2010, 2012),

Posicionada a oeste, sobre o Terreno São Gabriel e o Craton Rio de La Plata, a Bacia do Camaquã (Mapa 4) possui cerca de 100 km de comprimento e aproximadamente 100 km de largura (TEIXEIRA *et al.*, 2004), é margeada à leste pelos cinturões Tijucas e Dom Feliciano. Na região central do ESrg, aflora a sequência vulcão-sedimentar que se depositou nas fases tardi- a pós-colisionais da orogenia Brasiliana do Cinturão Dom Feliciano (*e.g.*

FRAGOSO-CESAR, 1984; CHEMALE JR. *et al.*, 1995; PAIM *et al.*, 2000; HARTMANN *et al.*, 2008). Segundo Paim *et al* (2000), esta bacia está vinculada a diferentes ambientes tectônicos e representa um locus deposicional.

Mapa 4. Mapa geológico simplificado da Bacia do Camaquã e porções do embasamento (ESRG).



Fonte: Cortês, 2015.

A Bacia do Camaquã aflora em três sub-bacias denominadas Camaquã Ocidental, Central e Oriental, separadas à leste pela Serra das Esmeraldas e a oeste pelos Altos de Caçapava do Sul. Estas bacias estão preenchidas pelo Grupo Camaquã (600–470 Ma); DARDENNE e SCHOBENHAUS, 2001), que está dividido da base para o topo: Formação Maricá, cuja base é composta por sedimentos clásticos continentais de planície aluvial e topo, de sucessivas invasões marinhas; Subgrupo Crespos, com rochas vulcânicas-sedimentares; e topo, com ambientes transicional e marinho compondo a Formação Santa Bárbara (FAMBRINI *et al.* 2002; PELOSI e FRAGOSO-CESAR, 2002), compondo uma sequência com 6.000 metros de espessura (FAMBRINI *et al.* 2002).

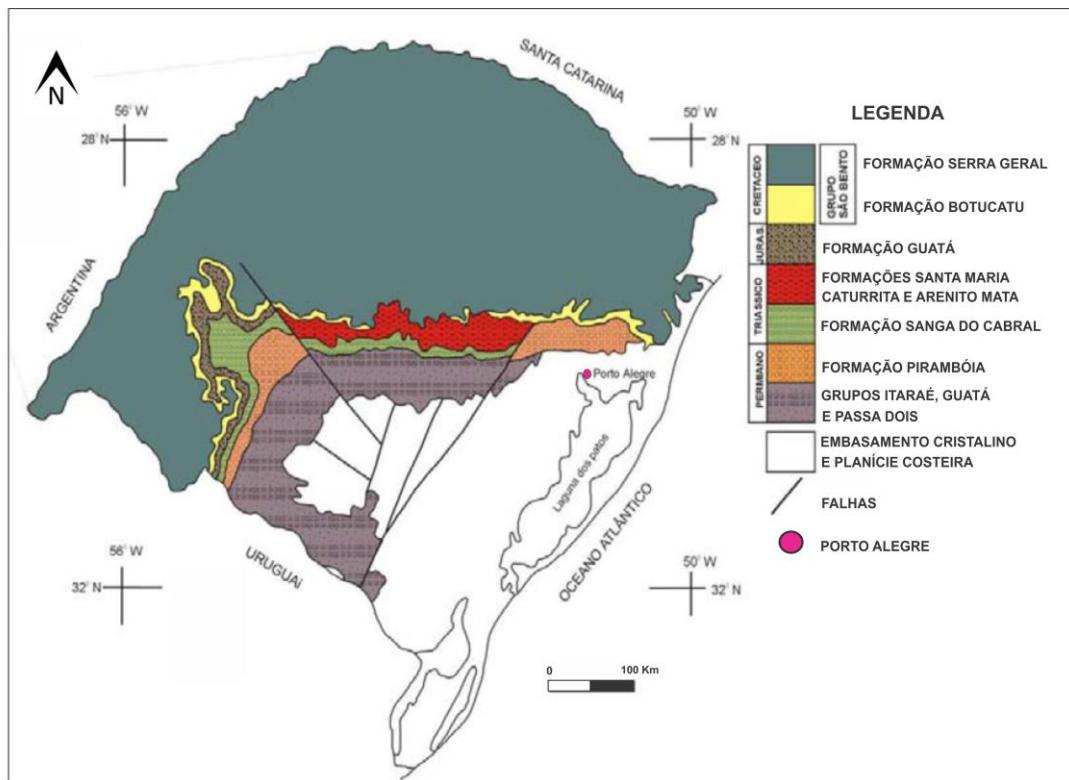
Localizada na porção centro-leste da América do Sul, a Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica com formato elíptico que abrange uma área de aproximadamente 1.700.000 km², onde, em território Brasileiro encontra-se apenas cerca de 1.100.000 km² (Mapa 5), preenchida por depósitos desde o Ordoviciano ao Cretáceo, formando em seu depocentro um pacote sedimentar-magmático da ordem de 6.200 metros (SCHNEIDER *et al.*, 1974; MILANI, 1997). O registro tectonoestratigráfico da bacia sugere a interação de fenômenos orogênicos nas bordas da placa Sul Americana, com eventos epirogênicos marcados por épocas de subsidência, soerguimento e magmatismo no interior da placa (Milani e Ramos, 1998).

Separadas por discordâncias erosivas bem marcadas, a Bacia do Paraná compreende seis supersequências, onde as sequências Rio Ivaí (Ordoviciano – Siluriano), Paraná (Devoniano) e Gondwana I (Carbonífero – Permiano), correspondem a grandes ciclos transgressivos-regressivos, e as sequências Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Neojurássico- Eocretáceo e Bauru (Cretáceo) são compostas por sedimentos continentais paleozoicos e mesozoicos, além de rochas ígneas mesozoicas (MILANI, 1997).

No Rio Grande do Sul ocorrem as Supersequências Gondwana I e Gondwana II da Bacia do Paraná. A Supersequência Gondwana I compreende o Grupo Itararé, que engloba as formações Lagoa Azul, Campo Mourão, Taciba e Aquidauana; o Grupo Guatá que é composto pela Formação Rio Bonito e Formação Palermo e o último, o Grupo Passa Dois que abrange as formações Irati, Serra Alta, Teresina, Corumbataí e Rio do Rasto (MILANI, 1997).

A Supersequência Gondwana II ocorre apenas no estado do Rio Grande do Sul e no norte do Uruguai, esta é composta pelas rochas sedimentares do Grupo Rosário do Sul que engloba as formações Sanga do Cabral, Santa Maria, Caturrita e Guará. Esta sequência encerra a sedimentação na Bacia do Paraná (MILANI, 1997) (Mapa 5).

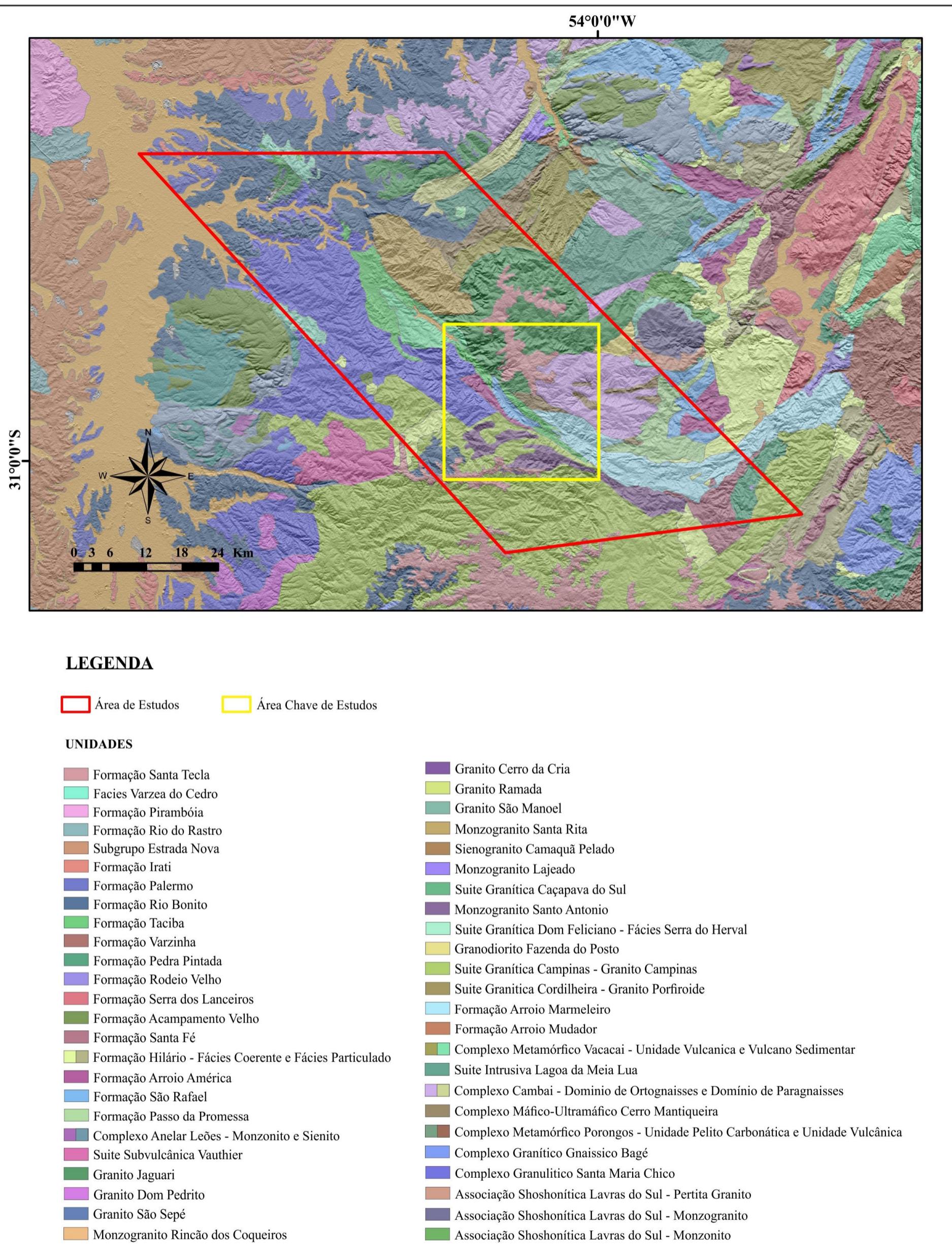
Mapa 5. Distribuição das unidades litoestratigráficas na Bacia do Paraná no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Modificado de Milani, 1997.

A área de estudos está localizada entre os terrenos Taquarembó e São Gabriel, sendo o alvo de estudo a estrutura de escala regional que os limita. Nesta região, há uma grande diversificação geológica e feições estruturais os quais podem fazer parte de importantes eventos geotectônicos, sendo seu estudo indispensável para a compreensão do modelo evolutivo tectônico nesta porção do ESrg (Mapa 6).

Mapa 6. Mapa esquemático litológico da região da área de estudos com relevo sombreado (ângulo de iluminação a 45°, direção azimutal 0° e exagero vertical de 3x). Em destaque a área total e a área chave de estudos.



Fonte: Modificado de CPRM 2007.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

3.1 Terreno Taquarembó

O Terreno Taquarembó (TT) está localizado na porção sudoeste do ESrg sendo delimitado à norte pelo Lineamento de Ibaré. O TT é constituído principalmente por uma associação TTG metamorfizada em fácies granulito, associações máficas-ultramáficas e, em menores proporções rochas paraderivadas compondo o Complexo Santa Maria Chico (CSMC), considerado um remanescente do Cráton Rio de La Plata (CRP) (HARTMANN *et al.*, 2007). As idades magmáticas dos TTG's (de 2550 a 2350 Ma) e o metamorfismo transamazônico (em torno de 2000 Ma), permitem que este domínio seja considerado parte do CRP, cujas principais exposições encontram-se em território uruguai, nos terrenos Florida, Valentines e Rivera (HARTMANN *et al.*, 1999, 2000). Atualmente existem discussões a respeito do CRP ser de fato um cráton, pois alguns autores o consideram como cráton e outros o abordam como um terreno alóctone junto ao terreno Nico Perez (PHILIPP *et al.*, 2016).

3.1.1 Complexo Santa Maria Chico

Configurando a unidade mais antiga da região, o Complexo Santa Maria Chico (CSMC) constitui a principal unidade do TT, cobrindo uma área de aproximadamente 600 km² (HARTMANN, 1998). Definido originalmente por Nardi e Hartmann (1979) como Complexo Granulítico Santa Maria Chico, sendo composto por rochas orto e paraderivadas de alto grau metamórfico aflorantes em uma faixa aproximadamente Norte-Sul na região de Dom Pedrito e Bagé. Estas rochas foram agrupadas em gnaisses quartzo-feldspáticos (tonalitos e trondhjemitos), gnaisses máficos bandados em escala que varia de centimétrica a métrica, e rochas supracrustais metamorfisadas em condições de fácies granulito. Hartmann e Nardi (1983) descrevem processos de retrometamorfismo de fácies anfibolito de baixo grau decorrente das injeções graníticas de idade Brasiliiana. Segundo estes mesmos autores, os granulitos apresentam características polifásicas e bandamento principal de direção noroeste. Além disso, foi observada a proeminência de uma cataclase paralela ao Lineamento de Ibaré, cuja largura aproximada é de 2,5 km.

Recentemente, a primeira separação litológica das unidades do CSMC foi apresentada por Laux e Bongiolo (2011), Laux *et al.* (2012) e Camozzato *et al.* (2012). As unidades foram separadas (Mapa 7) em: (1) associação máfico-ultramáfica TTG, (2) associação TTG e (3) rochas paraderivadas. Philipp *et al.* (2015) subdividiu o CGSMC em duas unidades ortoderivadas e uma paraderivada onde, os metassedimentos e as duas unidades ortoderivadas estariam intercalados tectonicamente com base na foliação metamórfica e lineação mineral as quais sugerem concordância com direção predominante NW-SE. Uma fase tardia teria causado uma ampla variação na orientação geral do bandamento, de NW-SE para N-S e NE-SW, evidenciadas por dobras de formas abertas e suaves e eixos orientados segundo a direção NW-SE e NE-SW, apresentando o final da atividade de deformação.

Segundo Philipp *et al.* (2015) a sub-unidade TTG seria composta por gnaisses tonalíticos e granodioríticos, com ocorrência subordinada de gnaisses trondhjemíticos, anfibolitos e metahorblenditos com paragênese metamórfica de fácies anfibolito. Ainda segundo os mesmos autores, a subunidade máfico-ultramáfica conteria amplas áreas de granulitos máficos compostos por metagabros e metapiroxenitos, intercalados por faixas pouco espessas de rochas metamáficas-ultramáficas acamadas, com níveis mais espessos de metagabros e metapiroxenitos e, áreas restritas de metanortositos, metanorititos, metaperidotitos, metadunitos serpentinizados, xistos magnesianos e paragênese metamórfica de fácies granulito. A associação TTG teria um bandamento composto e bem definido, caracterizado pela alternância de corpos de composições distintas, sobrepostos por um fino e contínuo bandamento gerado pela segregação metamórfica.

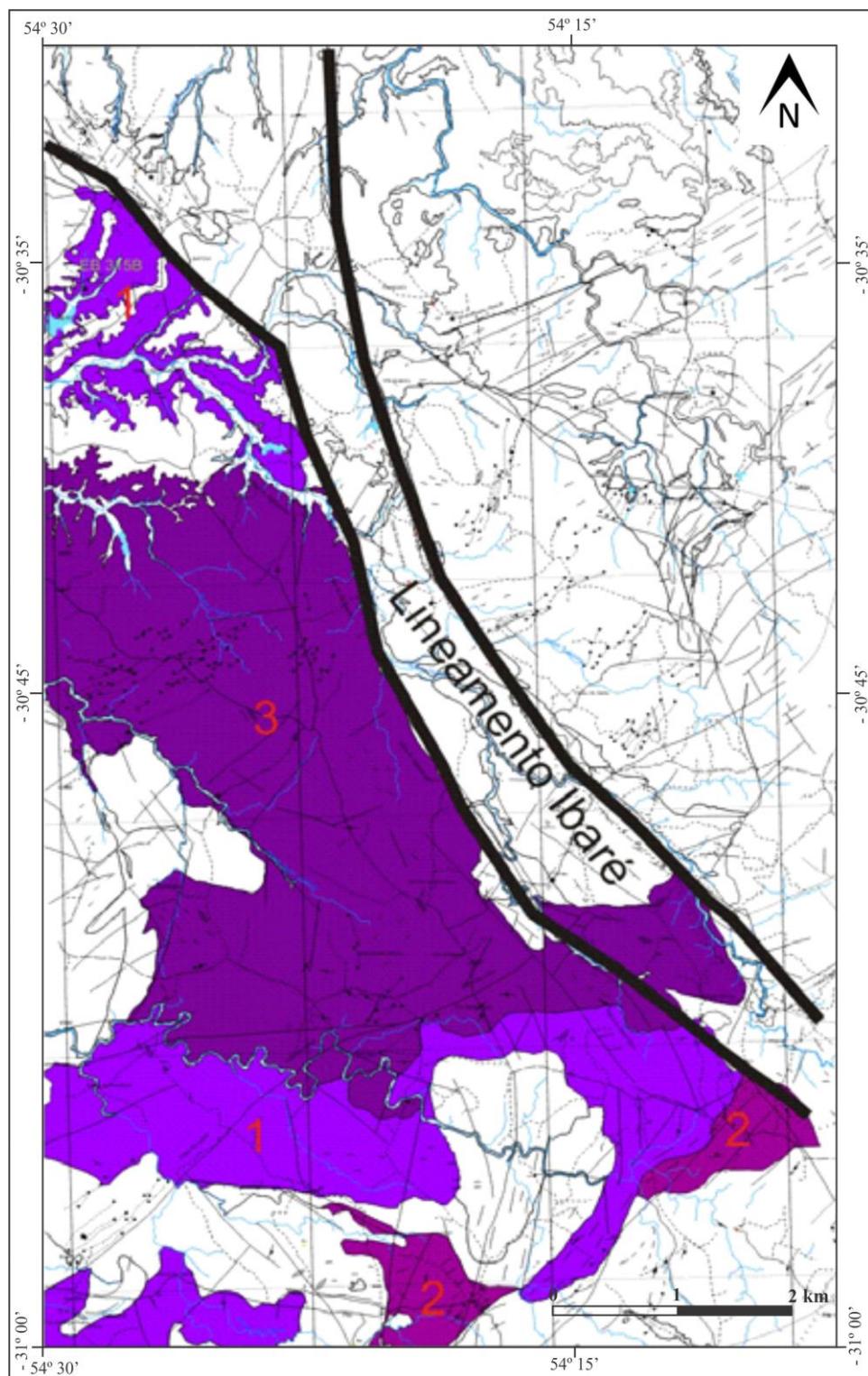
Padilha (2016) descreveu estas unidades como: (i) Associação Tonalito-Trondhjemito-Granodiorito (ATTG) que comprehende gnaisses de composição tonalítica até granodiorítica, com dobramento polifásica, possuem paragênese de fácies anfibolito: plagioclásio + quartzo + granada + biotita \pm K-feldspato, possuindo os mesmos minerais de retrometamorfismo, (ii) Associação Máfico-Ultramáfica (AMU) com gnaisses gabroicos intercalados com bandas anortositicas, metaultramafitos e granulito sensu stricto maciço (com hiperstênio). A foliação dessas rochas é incipiente, e a estrutura principal é marcada pela alternância de bandas de composição distinta. Estas rochas apresentam paragênese diagnóstica de fácies granulito: hiperstênio + diopsídio + plagioclásio cárlico + magnetita, contendo, também, horblenda, actinolita, clorita e epidoto como minerais de retrometamorfismo em fácies xistos verdes, e a (iii) Sub-unidade Paragnaisses, que contém o granada-silimanita gnaisses, de textura granoblástica, constituídos por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, rutilo e minerais

opacos. A silimanita encontra-se parcialmente retrometamorfizada para muscovita, enquanto a biotita encontra-se parcialmente cloritizada, evento causado pelo metamorfismo de contato dos granitos neoproterozoicos e por zonas de cisalhamento encontradas na região.

De acordo com os autores, a alternância composicional entre tonalitos e granodioritos, com corpos subordinados de dioritos (anfibolitos) e hornblenditos, indicariam que os ortognaisses dessa associação representariam originalmente dois conjuntos de rochas magmáticas distintos. Na associação máfico-ultramáfica um bandamento composto e mal definido seria característico, concordante com a intercalação composicional. O bandamento de segregação metamórfica é descrito como uma estrutura subordinada, comumente fina (<10 mm) e descontínua, dada por agregados de horblenda e piroxênio (PADILHA, 2016).

Dados U-Pb em zircão do CGSMC realizadas em SHRIMP (HARTMANN, 2008) nos gnaisses granodiorítico, com paragênese de fácies anfibolito relacionado com a ATTG, apontam idades de magmatismo de $2,36 \pm 8$ Ga e metamorfismo regional de $2,03 \pm 9$ Ga. Nas rochas almandina-albita gnaisse, com paragênese de fácies granulito referente à AMU, as idades magmáticas obtidas são de $2,48 \pm 6$ Ga e o metamorfismo regional de $2,0 \pm 3$ Ga. Idades Arqueanas foram encontradas em zircões do gnaisse granodiorítico (ATTG) com valores de 2688 Ma e 2559 Ma, os quais foram interpretados pelos autores como xenocristais de um embasamento desconhecido.

Mapa 7. Mapa da Folha Lagoa da Meia Lua com a distribuição Complexo Santa Maria Chico, representação esquemática do Lineamento Ibaré e a divisão dos domínios: (1) Ortognaisse TTG, (2) Rochas metamáfico-ultramáficas acamadas e (3) Paragnaisse.



Fonte: Modificado de Laux *et al.*, 2012 Camozzato *et al.*, 2012.

3.2 Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel (TSG) limita-se à sudoeste com o Terreno Taquarembó através do Lineamento de Ibaré (HARTMANN *et al.*, 2007) e a leste com as unidades da Bacia do Camaquã através da Sutura de Caçapava (COSTA, 1997), este apresenta-se de forma alongada na direção N20-30°E e perfaz uma área de aproximadamente 110x60 km (PHILIPP *et al.*, 2016). Esta unidade é constituída por associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro-arco (*back-arc*), ofiolitos, arcos magmáticos vulcâno-sedimentares e plutônicos relacionadas ao desenvolvimento do orógeno São Gabriel (860-680 Ma) (CHEMALE JR, 2000). As diversas unidades litoestratigráficas presentes neste terreno apresentam uma evolução relacionada a um sistema de arcos magmáticos de idade neoproterozóica (HARTMANN, CHEMALE JR e PHILIPP, 2007), entre estas unidades encontram-se gnaisses tonalíticos e dioríticos, meta-dioritos, meta-tonalitos, dioritos, tonalitos e granodioritos). O Complexo Cambaí possui idades de zircão (TIMS e SHRIMP) em torno de 735-680 Ma (BABINSKI *et al.*, 1996; HARTMANN *et al.*, 2000, 2007b). Considerado como o representante principal da parte vulcânica do arco magnético, o Complexo Bossoroca consiste principalmente de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas a dacíticas devido as idades de cristalização de metadacitos (U-Pb zircão, TIMS e SHRIMP), em torno de 753 ± 2 Ma (HARTMANN, CHEMALE JR e PHILIPP, 2007). O complexo Palmas é formado por rochas metassedimentares, meta-vulcânicas máficas e ultramáficas Neoproterozóicas, idade esta inferida através da idade modelo Nd.

Relacionados à evolução final de um arco de margem continental ativa, associados a um período pós-colisional, granitos de composição cárlicoalcalina alto K cortam estas unidades, decorrentes de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes. Novas intrusões graníticas cortam as unidades descritas anteriormente junto com suas estruturas ocasionando metamorfismo termal. Estes corpos graníticos mais jovens estão correlacionados com o evento Dom Feliciano (650-570 Ma)

O Cinturão Metamórfico Vacacaí (LAUX *et al.*, 2011) é uma importante faixa metavulcano sedimentar do TSG, a qual bordeja toda a associação de rochas juvenis desta unidade, sendo constituída por metassedimentos, metavulcânicas e metaultramáficas com idade em torno de 760 a 730 Ma. Pode constituir uma associação de bacia neoproterozóica amalgamada contra a associação de arcos juvenis do TSG.

3.3.1 Complexo Arroio Marmeiro

Conforme Santos *et al.* (1998), este complexo formou-se durante o Ciclo Transamazônico e foi afetado pelo Brasiliano, apresenta idade Proterozoica inferior. Definido primeiramente por Kramer *et al.*, (1995) como uma sequência supracrustal constituída por xistos aluminosos e magnesianos, quartzitos, lentes de mármore e corpos de serpentinitos intercalados, o Complexo Arroio Marmeiro (CAM) foi posteriormente denominado por Santos *et al.* (1998) como Complexo Metamórfico Marmeiro representado por uma associação de rochas metavulcano-sedimentares que afloram como uma faixa alongada segundo a direção noroeste-sudeste (NW-SE), perfazendo uma área de 12 km². Essa sequência sobrepõe os serpentinitos e xistos magnesianos da Formação Cerro da Mantiqueira e é limitada na sua porção sudoeste pelo Lineamento de Ibaré (LUZARDO e FERNANDES, 1990). Reconhecido como Sequência Metamórfica Marmeiro por Porcher *et al.* (2000), esta sequência é composta por metapelitos, quartzitos, mármore, rochas calci-silicáticas, grafita xistos, xistos magnesianos e para-anfibolitos, Wildner *et al.* (2008) sugeriu a denominação Formação Arroio Marmeiro, e por fim Camozzato e Lopes (2013) o referenciou como Complexo Metamórfico Arroio Marmeiro.

Segundo UFRGS (2016), o CAM comprehende uma sequência metavulcano-sedimentar com rochas ultramáficas subordinadas que pode ser subdividida, com base na composição dos protólitos, em: metarenitos, metapelitos, metassiltitos e metaultramafitos. Os metassedimentos ocorrem em uma faixa alinhada segundo NE-SW, paralela à Zona de Falha da Porteira, subparalela ao acamamento primário, caracterizado pela variação no tamanho de grãos e intercalação de metapelitos e metarenitos. A zona de contato entre os metapelitos e a sequência vulcanogênica é marcada por uma zona de cavalgamento (FERNANDES e PORCHER, 2000). A trama planar é dada por uma xistosidade (S_1) pouco desenvolvida de direção predominantemente NE-SW, com mergulho variável para NW e SE, sendo subparalela ao acamadamento reliquiar (S_0), marcado por variação composicional e de tamanho de grão em níveis ricos em quartzo. Segundo Nardi e Hartmann (1979) há ocorrência de metamorfismo de contato nas proximidades de intrusões, gerando rochas de fácies epidoto-cornubianito até hornblenda-cornubianito, com porfiroblastos de hornblenda e alanita crescidos sobre uma trama principal. A progressão da deformação levou à geração de dobras com PA subvertical de direção NE-SW onde se desenvolve paralelamente uma foliação

milonítica (S_3). A reativação cataclástica da zona de cisalhamento gera um forte fraturamento e, de maneira localizada, a formação de cataclasitos.

3.3 Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã localiza-se no extremo sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul. Apresenta forma alongada de direção geral NE com cerca de 100 km de comprimento e até 100 km de largura (TEIXEIRA *et al.*, 2004). Segundo Paim *et al.* (2000) representa um lócus deposicional formado, preenchido e deformado nas fases finais da Orogenia Brasiliana sendo considerada como uma bacia do estágio de transição da plataforma sul-americana.

A Bacia está assentada sobre os terrenos ígneos e metamórficos do Escudo Sul-rio-grandense com exposições na sua região central. Constitui-se pelo registro da superposição de diversos tipos de bacias, individualizadas tectônica, geocronológica e termodinamicamente (PAIM *et al.*, 2000; CHEMALE JR., 2000), com características geológicas próprias e mecanismos de subsidência distintos (PAIM *et al.*, 2000). Esta bacia tem sido tratada em termos de pulsos de subsidência e preenchimento interrompidos por eventos de deformação, soerguimento e erosão (PAIM *et al.*, 2000), geradores de um padrão de preenchimento complexo (KAZMIERCZAK, 2006).

3.3.1 Formação Maricá

A Formação Maricá, unidade mais antiga da Bacia do Camaquã, teve inicialmente sua denominação retirada da Serra do Maricá (LEINZ, BARBOZA e TEIXEIRA, 1941), situada a leste do município de Caçapava do Sul. Corresponde ao Alogrupo Maricá de Paim *et al.* (2000) e ao Grupo Maricá de Pelosi e Fragoso-Cesar *et al.* 2003. Ribeiro (1893) considera esta unidade como uma sedimentação sobre a borda do escudo retrabalhada o que implica dúvidas a respeito de seu caráter autóctone.

Segundo Leinz *et al.* (1941), os depósitos sedimentares da Fm Maricá seriam constituídos por conglomerados, arenitos arcoseanos, ardósias e por horizontes cinzentos com a possível atuação de fósseis, segundo uma tendência gradacional representada pelos sistemas fluviais na base, seguido por sistemas deltaicos e marinhos rasos (LEITES *et al.*, 1990). Pelosi e Fragoso-Cesar (2003) propuseram a elevação de Fm Maricá para Grupo Maricá sendo

integrado pelas formações: Passo da Promessa composta pelos depósitos fluviais da base, São Rafael com depósitos marinhos e, Arroio América com depósitos fluviais de topo.

Na região de Lavras do Sul, ocorre como discordância angular e litológica as rochas do Terreno São Gabriel, esse contato com o embasamento metamórfico acontece por falhas normais com componentes laterais, estas relações de contato da Fm Maricá com seu embasamento, destaca a independência tectônica da bacia a qual está inserida em relação à Orogenia Brasiliiana no noroeste do ESrg, pois seus depósitos basais recobrem indistintamente tanto a região do Cráton Rio de La Plata (Terreno Taquarembó) quanto a região do Terreno São Gabriel (PELOSI e FRAGOSO-CESAR, 2003).

As estruturas do embasamento onde foram depositadas as unidades da formação Maricá são reunidas no Terreno São Gabriel, exceto por pequenas ocorrências próximas ao Platô Taquarembó, que recobrem rochas paleoproterozóicas de alto grau metamórfico pertencentes ao Cráton Rio de La Plata. Reunindo estes elementos ao caráter distensivo da Bacia do Camaquã (FRAGOSO-CESAR *et al.* 2001, FAMBRINI *et al.* 2001, JANIKIN, 2001), demonstra ser mais plausível a interpretação de que sua evolução ocorreu sob condições anorogênicas (FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2001, 2002 e 2003).

A porção superior desta unidade apresenta rochas piroclásticas onde, através da datação dos zircões de seixos contidos nas mesmas, indicaram idades de $630,2 \pm 3,4$ Ma o que representaria a deposição de sua porção inferior/média Borba *et al.* (2008). A análise de zircons detriticos por Almeida *et al.* (2012) que apontaram uma idade máxima de deposição de 601 ± 13 Ma para o topo dessa unidade, assume-se, com cautela, um intervalo entre 630 e 600 Ma para a deposição desta unidade.

3.4. Bacia do Paraná

Na Bacia do Paraná o conjunto litoestráigráfico composto pelo Grupo Itararé e as formações Rio Bonito, Palermo e Irati, representa o registro da deposição terrigena clástica e química nesta bacia desde o Neo-Carbonífero até o Neo-permiano (*c.f.* SCHNEIDER *et al.*, 1974 e MILANI *et al.*, 1994). Inicialmente esta deposição em geral ocorreu sob influência glacial, dando origem ao Grupo Itararé, havendo posteriormente um estágio de aporte sedimentar intenso de origem clástica e de grandes deltas e planícies costeiras representando a Formação Rio Bonito, a qual evoluiu para um ambiente mais raso com características de

plataforma interna conhecido como Formação Palermo, e por fim, a Formação Irati com características de circulação restrita.

O registro da sequência gonduânica no estado do Rio Grande do Sul teve início no Eo-Permiano, mostrando-se tardia em relação as áreas do depocentro da Bacia do Paraná, dificultando a correlação com as formações do Grupo Itararé, que são de difícil reconhecimento no Rio Grande do Sul, com as colunas propostas formalmente.

3.4.1 Grupo Itararé

O Grupo Itararé está inserido na base da Supersequência Gondwana I na borda leste da Bacia do Paraná. Este grupo constitui o registro da sedimentação resultante de sucessivos avanços e recuos das geleiras durante o período de glaciação que atuou no paleocontinente. Apresenta uma transição para depósitos deltaicos do Grupo Guatá na sequência de topo, possibilitando a ocorrência do contato ser discordante em alguns pontos da bacia.

Na porção centro-sul da bacia encontram-se os depósitos mais jovens, e a nordeste, os pacotes mais antigos, os quais evidenciam o diacronismo dos depocentros onde ocorrem as maiores espessuras (MILANI 1997, BALISTIERI 2003). Esta é a unidade mais espessa da Bacia do Paraná, com cerca de 1500 metros próximo ao depocentro, sobrepondo um hiato deposicional que sucede os estratos devonianos das formações Furnas e Ponta Grossa e rochas do embasamento Pré-Cambriano/Eopaleozóico.

Este grupo caracteriza-se pela grande complexidade faciológica, composta por conglomerados, arenitos, diamictitos, ritmitos, argilitos e folhelhos com clastos caídos de *icebergs* e camadas de carvão em menor frequência, que em conjunto representam os depósitos glaciocontinentais e glaciomarininhos da Bacia do Paraná. (HOLTZ *et al.*, 2010).

No Rio Grande do Sul, a deposição teve início no Carbonífero sobre os estratos do Cambriano da Bacia do Camaquã, onde os depósitos glaciogênicos possuem pouca espessura, aflorando em áreas isoladas devido à época de deposição e as condições da borda na bacia nesta região.

3.4.2 Formação Rio Bonito

A Formação Rio Bonito está associada as condições pós-glaciais decorrentes na Supersequência Gondwana I no Eopermiano, nela ocorre o predomínio de arenitos e pelitos associados a espessos níveis de carvão representando típicos ambientes transicionais deltaicos, lagunares e estuarinos (MILANI, 1997). Nesta formação foram identificados dois intervalos distintos: o basal, que varia entre 27 a 127 metros de espessura, composto predominantemente por camadas de arenitos arcóseos com granulometria média a grossa, maciços ou intercalação de lâminas de siltitos com coloração, camadas de heterolitos sílticos e argilosos e siltitos carbonosos. O intervalo superior apresenta espessuras que variam entre 13 e 17 metros predominantemente composto de silte intercalados com camadas de carvão, paraconglomerados e arenitos (PIMENTEL e GODOY, 1983)

Esta unidade possui uma discordância na base reconhecida regionalmente, a qual coincide com o que muitos autores acreditam ser o contato entre as formações Itararé e Rio Bonito, também considerada um limite de sequências e foi dividida em três membros nas zonas consideradas depocentros na Bacia do Paraná: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Decorrente na base desta formação, o Membro Trunfo é composto por arenitos finos fluvio-deltaicos, sucedida por uma abundante intercalação marinha, que se manifesta nos siltitos argilosos do Membro Paraguaçu, e no topo, o Membro Siderópolis, caracterizado por arenitos fluviais, costeiros e camadas de carvão notáveis. (HOLTZ e KUCHLE, 2003).

As sondagens profundas realizadas ao longo da borda da Bacia do Paraná, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina possibilitou a análise completa da Formação Rio Bonito que permitiu uma divisão nos seguintes termos: se todo o conjunto se depositou no Sakimariano - Artinskiano, este envolve aproximadamente um período deposicional de 15 milhões de anos. Esta sucessão encontra-se inserida em um pacote de maior porte, denominado por Milani *et al.* (1994) como sequência Carbonífera-Eo-Triássica caracterizada por uma sequência de segunda ordem. Contudo, as deposições das rochas da Formação Rio Bonito podem ser consideradas um evento de terceira ordem (*e.g.*, HOLTZ, 1999) se levado em consideração exclusivamente a duração da deposição dos deltas-glaciais até a instalação efetiva de um mar epicontinental transgressivo sobre os ambientes costeiros associados (HOLTZ e KUCHLE, 2003).

No Rio Grande do Sul, a Formação Rio Bonito é abordada como indivisa sendo apenas afirmada a existência da unidade de topo no estado. Litoestratigraficamente existem apenas arenitos costeiros, pelitos e camadas de carvão do Membro Siderópolis (HOLTZ e KUCHLE, 2003).

3.3 Lineamento de Ibaré

O Lineamento de Ibaré (LI) está localizado na porção sudoeste do ESrg, e destaca-se como uma feição geomorfológica de direção N50°W com aproximadamente 60 km de extensão, denominado formalmente de Falha Suspiro-Linhares (RIBEIRO *et al.*, 1966), assim como mencionado por Luzardo e Fernandes (1990). A estruturação e a evolução tectônica da região em que ocorre esta feição, segundo Ruppel (2010), corresponde a construção e estruturação do mesmo, o qual pode ser considerado uma zona de cisalhamento dúctil que foi reativada por sucessivos episódios posteriores, e a distribuição das estruturas e o padrão geométrico são compatíveis com uma zona de cisalhamento transcorrente (LUZARDO e FERNANDES, 1990), sendo esta estrutura controladora da disposição de alguns corpos graníticos brasileiros intrusionados no Terreno Taquarembó como: a Suíte Intrusiva Santo Afonso, Granito Fazenda Saibro e Granito Cerro das Marcas. O Complexo Arroio Marmeiro, pertencente ao Terreno São Gabriel também se dispõem alongado segundo a direção do LI (GOULART, 2014). Outras unidades afetadas pelo Lineamento de Ibaré são: o Complexo Santa Maria Chico, Complexo Ibaré, a Formação Maricá e sedimentos gondwanânicos da Formação Rio Bonito (IGLESIAS, 2000). Segundo UFRGS (2005), as unidades do Grupo Itararé também se apresentam dispostas na direção NE-SW, e UFRGS (2016) observou a ocorrência da Fm Palermo na região em que ocorre o lineamento. O mapeamento geológico UFRGS (1991) e alguns estudos preliminares (FERNANDES *et al.*, 1995) na região de Lavras do Sul afirmam a inexistência de diferenças significativas entre as características litológicas, metamórficas e estruturais das associações de rochas de ambos os lados dessa estrutura na sua porção SE.

Segundo Fernandes *et al.* (1995), o Lineamento de Ibaré trata-se de uma zona de cisalhamento dúctil de direção noroeste e cinemática transcorrente desstral, com registro de reativação sinistral, que separa o Terreno São Gabriel do terreno arqueano de alto grau Rio de La Plata proposto por formalmente por Nardi e Hartmann (1979). De acordo com Senhorinho (2012), este lineamento pode ser enquadrado no sistemas de falhas proposto por Picada

(1971), sendo dominado por um sistemas de falhas noroeste-sudeste e constitido por falhas de direções N65W e N75W (Azimutes 295° a 285°).

4. CONTEXTO GEOFÍSICO REGIONAL

O levantamento aerogeofísico, como uma ferramenta para o entendimento do Pré-Cambriano no Estado do Rio Grande do Sul foi abordado por Costa (1997), o qual veio trabalhar com dois levantamentos aéreos, o Projeto Aerogeofísico Camaquã (Jackson *et al.*, 1973) e o Projeto Aerogeofísico do Sudoeste do Brasil (ANJOS e MOURÃO, 1987). O primeiro levantamento foi solicitado em convênio, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Foram realizados levantamentos aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria em arranjo de linhas de vôo de direção N45°W, com espaçamento entre linhas de 1 km, além de altitude média de vôo de 125 m. O segundo levantamento aéreo, realizado pelo convênio DNPM/CPRM, envolveu magnetometria e gamaespectrometria em arranjo de linhas de vôo com orientação N-S, espaçamento de 1 km e altitude média de vôo de 140 m.

A partir destes dados, três domínios geofísicos foram definidos por FERNANDES *et al.*, (1995b) e COSTA (1997) (Mapa 8), os quais são: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste, onde cada domínio foi individualizado por grandes estruturas profundas marcadas na geofísica e dadas por eixos de anomalias magnéticas e gravimétricas, correspondentes com suas projeções em superfície e correlacionadas com estruturas mapeadas conhecidas ou não. As grandes estruturas geofísicas denominadas suturas entre terrenos geológicos (FERNANDES *et al.*, 1995b, COSTA 1997), foram designadas de leste para oeste da seguinte forma: Sutura de Porto Alegre, Sutura de Caçapava e Sutura de São Gabriel.

O Domínio Leste corresponde à porção leste do Cinturão Dom Feliciano, composto por rochas do Complexo Gnáissico Piratini que compreende granitoides orogênicos deformados com pequenos xenólitos de rochas supracrustais (FERNANDES *et al.* 1995b). Este domínio é seccionado pela presença de um alto gravimétrico na porção sul.

O Domínio Central compreende a região entre a Anomalia Magnética Leste e a Central contendo a parte oeste do Cinturão Dom Feliciano e o Cinturão São Gabriel. Encontra-se limitado à oeste por um marcante lineamento aeromagnetométrico retilíneo e

contínuo, com orientação N35°E, denominado de Sutura de Caçapava, este domínio apresenta como principais unidades associações de rochas bem definidas em superfície, como as rochas supracrustais da Suíte Metamórfica Porongos e os gnaisses Encantadas, representando o seu embasamento. A ZCTDC, secciona o domínio central-leste, e a Zona de Cisalhamento Transcorrente Porto Alegre (ZCTPOA) secciona o domínio central e por consequência a Sutura de Porto Alegre, bem como as rochas que correspondem às unidades sedimentares da Bacia do Camaquã (FERNANDES *et al.*, 1995).

O domínio geofísico oeste é reconhecido através da assinatura do domínio gravimétrico oeste e delimitado do domínio central pela Sutura de São Gabriel. Com sua existência especulada por Ramos (1988) e também reconhecida por Costa *et al.* (1989) a região que pertence ao domínio geofísico central-oeste, caracterizada por apresentar uma descontinuidade orientada N-S, apresenta um alto gravimétrico à oeste das unidades do Terreno São Gabriel. Interpretada como limite entre o Cráton Rio de La Plata à oeste, e as rochas juvenis do Terreno São Gabriel do Cinturão Dom Feliciano, à leste, essa estrutura foi denominada Sutura de São Gabriel (FERNANDES *et al.*, 1995b).

4.1. Domínio Geofísico Oeste: Cráton Rio de La Plata

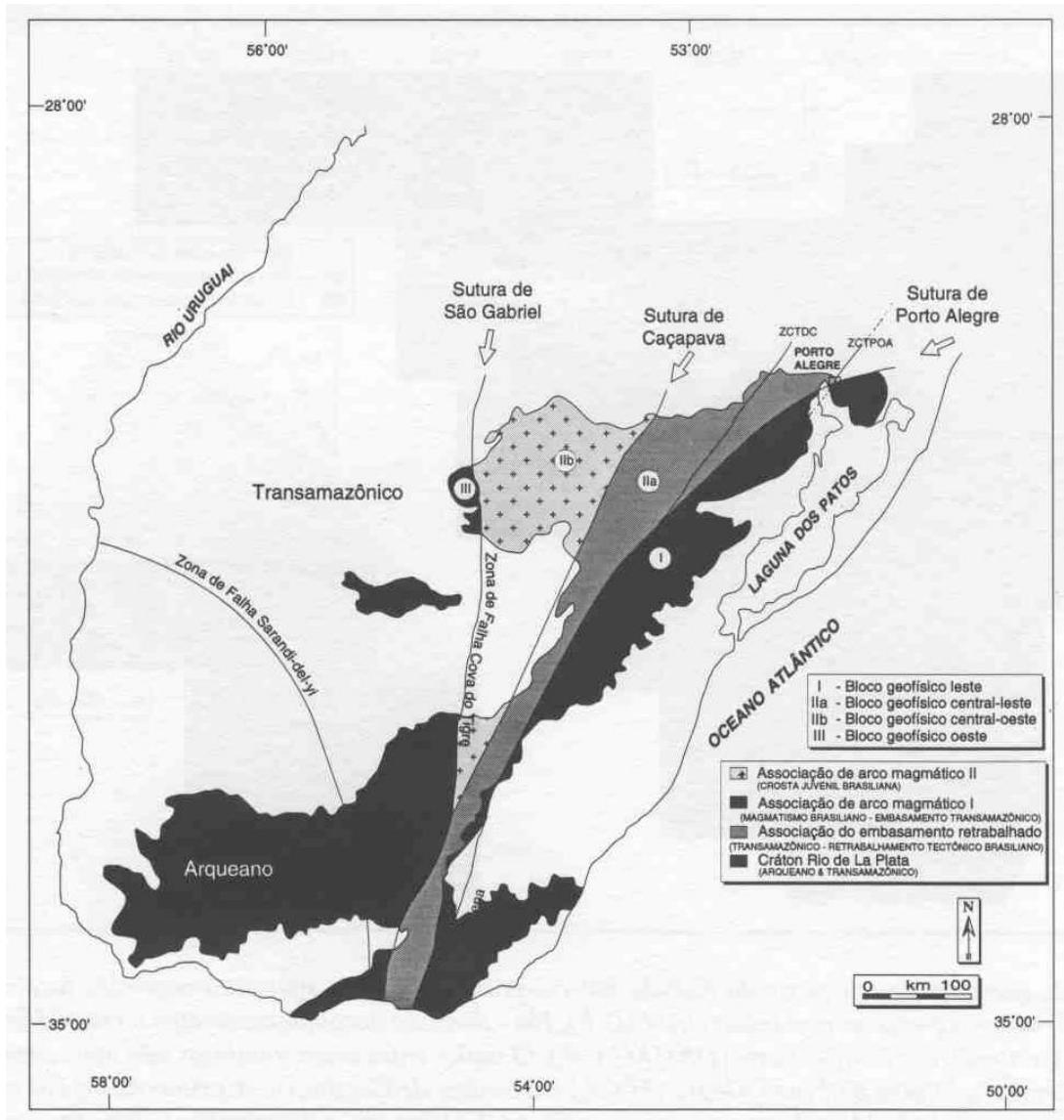
O Domínio Geofísico Oeste é subdividido em porção norte, com idade neoproterozóica e compreendendo o Cinturão São Gabriel, sendo limitada pela Anomalia Magnética Central e pelo Lineamento de Ibaré, e porção sul, que compreende a região dos gnaisses granulíticos, sendo limitada ao leste pela Anomalia Gravimétrica Oeste (COSTA, 1997).

O alto gravimétrico neste domínio coincide com as rochas de fácies granulito do Complexo Granulítico Santa Maria Chico (NARDI e HARTMANN 1979). É separado das rochas do domínio central por uma forte descontinuidade gravimétrica de direção N-S, que se estende para sul até o Uruguai, e para norte, sob os sedimentos Paleozóicos da Bacia do Paraná. Essa anomalia proeminente, que demarca o limite entre os dois domínios, oeste e central, é denominada de Sutura de São Gabriel. (FERNANDES *et al.*, 1995). De acordo com os resultados de Gibb e Thomas (1976), e reforçado pela sugestão de Tommasi e Fernandes (1990) mas em desacordo com Fragozo-César *et al.* (1995) e Chemale *et al.* (1995b), a interpretação da posição do baixo gravimétrico em relação à zona de sutura sugere a polaridade da subducção com mergulho para oeste.

Exibidas pelas rochas da região de Lavras do Sul, o transporte tectônico nas direções E-W, ortogonais à orientação da Sutura de São Gabriel, indicam a possibilidade de uma colisão frontal com o Cráton Rio de La Plata, durante a incorporação das rochas do Terreno São Gabriel à colagem orogênica (*cf.* FERNANDES *et al.*, 1995b, KREMER *et al.*, 1995).

Separado do domínio central por um lineamento magnético N35°E, o qual limita as sequências da Bacia do Camaquã compostas por *red beds* Eo-paleozoicas com as rochas supracrustais da Sequência Passo Feio e granitóides da região de Caçapava do Sul, o domínio centro-oeste apresenta grandes anomalias alongadas com direções aproximadas N45E que estão encurvadas, com tendência ao paralelismo com o lineamento que separa o domínio centro-oeste do central. As rochas vulcânicas andesíticas shoshoníticas da Fm Hilário ocasionam a ocorrência de um padrão magnético na porção W deste domínio, enquanto na porção centro-sul, o padrão ocorre pela presença de rochas ultramáficas metamorfisadas da Fm Cerro Mantiqueira. FERNANDES *et al.* (1995b) chegou a considerar como um sub-domínio distinto a região ao sul do Lineamento de Ibaré devido a maior densidade de eixos magnéticos presentes nesta região. No entanto, com exceção da maior abundância de anfibolitos à SW do Lineamento de Ibaré, as rochas que afloram nessa área são as mesmas em ambos os lados da zona de falha (FERNANDES *et. al.*, 1995b).

Mapa 8. Compartimentação geotectônica do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense a partir das assinaturas geofísicas obtidas com a gravimetria e aeromagnetometria. A. **Sutura de São Gabriel** marca o limite entre o Cráton Rio de La Plata. A **Sutura de Caçapava** marca o limite entre o embasamento neoproterozóico tectonicamente retrabalhado. A **Associação de Arco Magmático II** (Terreno São Gabriel) formada predominantemente por crosta juvenil e remanescentes da crosta oceânica da bacia marginal. A **Sutura de Porto Alegre** separa os granitoides cárlico-alcalinos mais novos da **Associação de Arco Magmático I** (Batólito Pelotas), do embasamento retrabalhado. As **Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu** (ZCTDC) e a **Zona de Cisalhamento Transcorrente de Porto Alegre** (ZCTPOA) são mais jovens do que a estruturação da colagem orogênica Cinturão Dom Feliciano. Linha tracejada representa a compartimentação interna ao Cráton Rio de La Plata entre o Arqueano-Eoproterozóico.



Fonte: Fernandes *et al.*, 1995b

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste trabalho foi adotada metodologias que compreendem ferramentas de geoprocessamento para a construção de um banco de dados em meio SIG. A construção do banco de dados deu-se pelo processamento, análise, interpretação e integração dos dados provenientes dos produtos de sensoriamento remoto e levantamento aerogeofísico, os quais resultaram em mapas interpretativos. Para validação do banco de dados construído foi realizada uma etapa de campo para a verificação das estruturas identificadas nos produtos de sensoriamento remoto, coleta de amostras e dados estruturais.

5.1 Modelo Digital do Terreno

No ano de 2000, uma missão espacial chamada *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) – Missão Topográfica de Radar Transportado foi realizada pela Agência Americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Esta missão teve como objetivo gerar um modelo global de elevação do terreno de alta resolução espacial, com imageamento realizado através das bandas C e X. A imagem gerada registra um Modelo Digital do Terreno (MDT), representado graficamente pelas coordenadas espaciais X (latitude), Y (longitude), Z (altitude), com resolução altimétrica de 30 ou 90 metros,

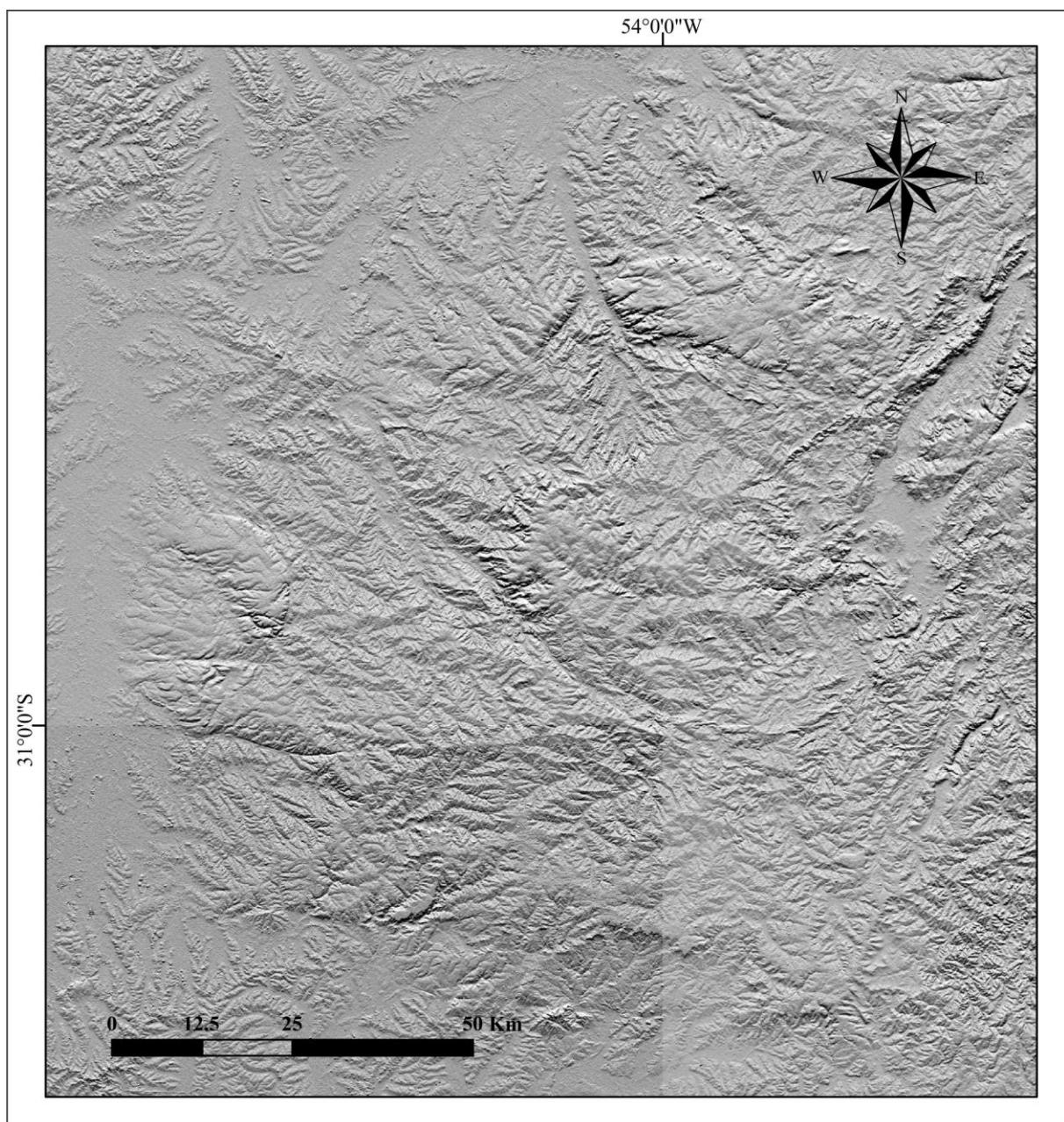
Os MDT exibem o relevo devido a um conjunto de padrões que definem as características geométricas do terreno. Os parâmetros presentes nesse processo são: elevação, declividade, curvatura, aspecto e rugosidade. Com essas imagens é possível a percepção de relevo através do processo de sombreamento do relevo, por meio desta técnica pode-se variar o ângulo e direção de iluminação da imagem. Com isso tem-se a possibilidade de ressaltar feições geomorfológicas (vales lineares, linhas de cristas, facetas triangulares, etc), condicionadas pelas estruturas tectônicas, foliação, zonas de cisalhamento rúptil e dúctil, estruturas vulcânicas, grandes fraturas, ou até mesmo registros de novas feições ainda não fotointerpretadas, segundo outra direção e ângulo de iluminação. A variação de sombra e iluminação causa a impressão de profundidade, permitindo a visualização de estruturas e outras feições em escala regional, conforme o objetivo do estudo. A importância de dados óticos visando estudos geomorfológicos diminui drasticamente em áreas com cobertura vegetal densa, frequência de nuvens e uso intenso da terra, que são elementos particularmente

problemáticos nas áreas tropicais úmidas e que podem reduzir ou até excluir a possibilidade de visibilidade de feições geomorfológicas.

Os Modelos Digitais do Terreno utilizados neste trabalho, e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores, estão disponíveis gratuitamente pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil através do Projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (TOPODATA, 2008).

A obtenção dos dados é feita a partir da seleção da folha de interesse, a folha Coxilha do Tabuleiro, na lista de arquivos disponíveis para a mesma, através do acesso respectivo ao conjunto de arquivos desejado (ASCII, GRD, GeoTiff ou BMP). As diferentes variáveis topográficas estão identificadas por sufixos de duas letras que complementam o prefixo da folha (TOPODATA, 2008). As imagens disponibilizadas estão pré-processadas com resolução espacial de 30 metros. Após a aquisição das imagens, utilizou-se um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o ArcGis 10.3, para a visualização e processamento adequado da imagem. (Fig. 2).

Figura 2. Mapa do relevo sombreado na região da área de estudos. Combinação do Modelo Digital de Elevação do Terreno com o sombreamento direcional com ângulo de iluminação a 45° , direção azimutal 0° e exagero vertical de 3x.



5.2 Fotogrametria

O sensoriamento remoto e a fotogrametria são as ciências e tecnologias de obter-se informações confiáveis sobre objetos físicos e o ambiente por meio de processos de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (COLWELL, 1997).

A fotogrametria parte do princípio onde um conjunto de técnicas permite a aquisição de informações quantitativas a partir de imagens ou fotografias de um determinado objeto onde medições são realizadas possibilitando a reconstituição tridimensional do mesmo. Esta técnica possui como vantagem a visão estereoscópica, sendo esta não obrigatória, mas quando associada à alta resolução, garante ser uma das melhores técnicas para a extração de informações geológicas. Esta técnica pode ser realizada tanto analogicamente quanto em meio digital. Na fotogrametria analógica os dados utilizados são palpáveis, como fotografias impressas em papel, enquanto na fotogrametria digital as fotografias são digitalizadas e o uso de computadores é indispensável. Devido ao atual processamento de imagens em meio digital, esta técnica possibilita o levantamento de dados da superfície do terreno em um curto período de tempo, permitindo a evolução na aquisição da informação desejada (JENSEN, 2011).

5.2.1. Cobertura Aerofotogramétrica

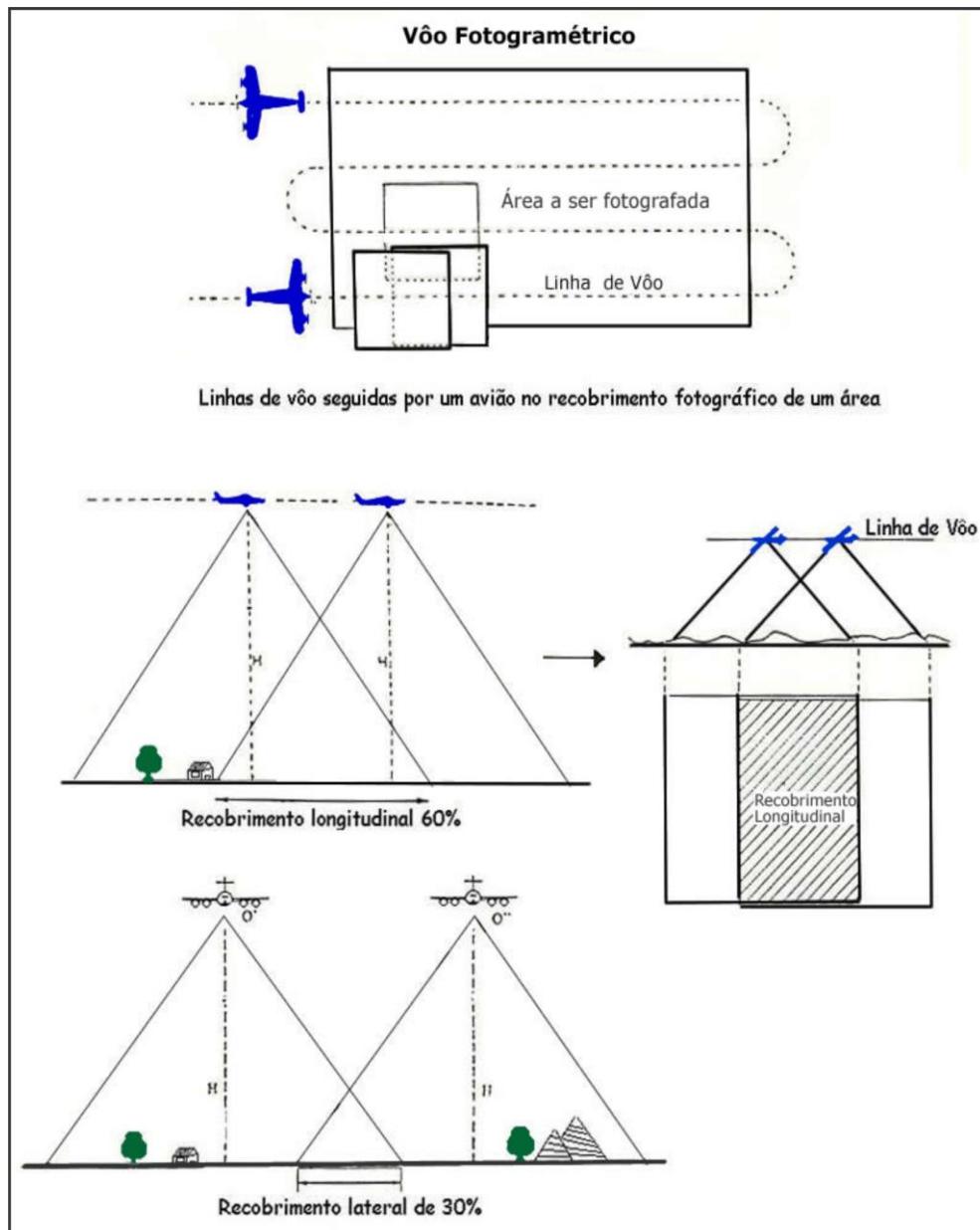
A cobertura fotográfica é realizada através de sucessivas linhas de vôo que são obtidas através da instalação de uma câmera fotográfica em uma aeronave, sendo estas, satélites, helicópteros ou aviões, e a aquisição de fotografias da superfície do terreno ocorre diretamente abaixo da plataforma em uma sequência de tomadas ou exposições específicas. A figura 3 ilustra como é realizada a aquisição sucessiva de três fotografias aéreas verticais sobre um terreno. O tempo entre as exposições individuais ao longo de uma linha de vôo é determinado por um intervalômetro. O responsável pelas fotografias aéreas deve levar em consideração a velocidade da aeronave e a escala desejada da fotografia, para então configurar o intervalômetro de modo que cada fotografia sobreponha-se à fotografia seguinte na linha de vôo em aproximadamente 60%, denominada sobreposição estereoscópica (LINDER, 2003). Essa sobreposição é de fato muito importante pois fornece pelo menos duas visadas fotográficas do objeto ao longo da linha de vôo. No intuito de uma cobertura efetiva de uma

determinada região, deverá ocorrer uma sobreposição, entre 20 % a 30 %, das linhas de vôo, sendo esta conhecida como sobreposição lateral (Fig. 3).

Na maior parte dos casos, o levantamento por fotografias aéreas requer múltiplas linhas de vôo para um melhor recobrimento da área de interesse. Para adquirir estas múltiplas linhas, o piloto da aeronave deve realizar uma volta de 180° ao final de cada linha de vôo, voando assim na direção contrária da linha anterior. As fotografias adquiridas no final das linhas de vôo devem ser analisadas cuidadosamente pois estas podem apresentar obliquidade devido ao momento em que foram obtidas, ou seja, quando a aeronave perfaz um vôo em ângulo com o terreno, encontrando-se de forma inclinada. Em algumas situações, diversas fotografias ou toda linha de vôo podem apresentar algum deslocamento devido as condições meteorológicas (vento) ou através de falha humana (piloto). Se nestes casos a sobreposição longitudinal (estereoscópica 60%) e a sobreposição lateral (20-30%) foram mantidas, o problema não é considerado grave (JENSEN, 2011).

Deve-se levar em consideração as condições climáticas da região sobrevoada para que não haja problemas sérios relacionados a perda de informação. A existência de neblinas, névoas, os horários do vôo e principalmente nuvens sobre a região são os critérios capazes de interferir na qualidade das fotos adquiridas.

Figura 3. Posicionamento das linhas de vôo durante o levantamento aerofotográfico. Aquisição das fotografias aéreas e suas sobreposições: lateral (30%) e longitudinal (60%).



Fonte: <http://www.uff.br/geoden/figuras/fotogrametrico.jpg>.

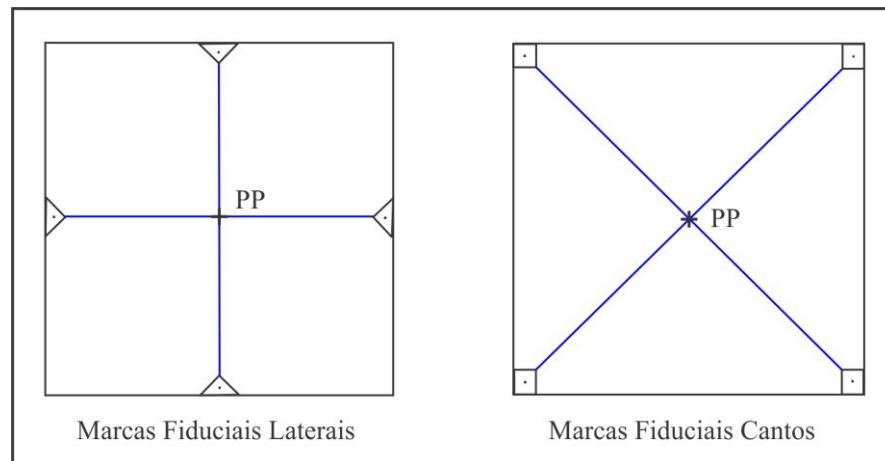
5.2.2 Fotografias Aéreas

Segundo Jensen (2011), as fotografias aéreas fazem parte do primeiro sistema imageador da superfície terrestre o qual a câmera fotográfica é o principal componente utilizado. Devido a maneira de como estas fotografias são adquiridas, alguns fatores acabam por interferir na qualidade destas imagens, como exemplo: o ângulo de elevação do sol no

momento do aerolevantamento; a intensidade da iluminação solar; a reflectância dos alvos, etc. Porém, as fotografias aéreas podem apresentar algumas vantagens quando comparadas a outros sensores onde, a partir do princípio da estereoscopia, fornece a clareza que permite a resolução dos problemas relacionados a precisão do alvo de interesse em questão.

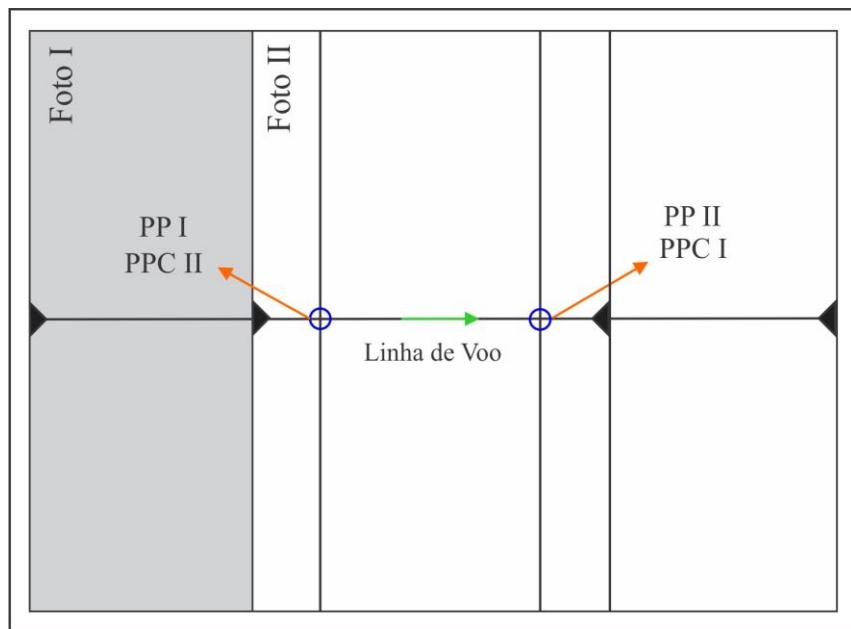
Em uma fotografia aérea são observadas quatro marcas fiduciais localizadas nos centros das quatro laterais ou nos cantos da fotografia (Fig. 4). Ao traçar uma linha entre marcas fiduciais opostas, localiza-se o ponto principal (PP) (Fig. 4) da fotografia que é o ponto exato na Terra para onde o eixo óptico da câmera estava apontando no momento da exposição. A localização de um ponto principal de uma aerofotografia pode ser transferida para cada uma das fotografias adjacentes da mesma linha de vôo onde o ponto principal transferido passa a ser conhecido como ponto principal conjugado (PPC) (Fig. 5), (JENSEN, 2011).

Figura 4.Geometria de uma fotografia aérea. Ponto principal (PP) localizado na intersecção das linhas unindo marcas fiduciais opostas.



Fonte: Modificado de Jensen, 2011.

Figura 5. Sobreposição da foto I e foto II. A área de 60 % de sobreposição pode ser visualizada estereoscopicamente. Observa-se a localização do ponto principal (PP) e os pontos conjugados (PPC) em cada fotografia. A linha desenhada entre os pontos principais identifica o trajeto da linha de vôo.

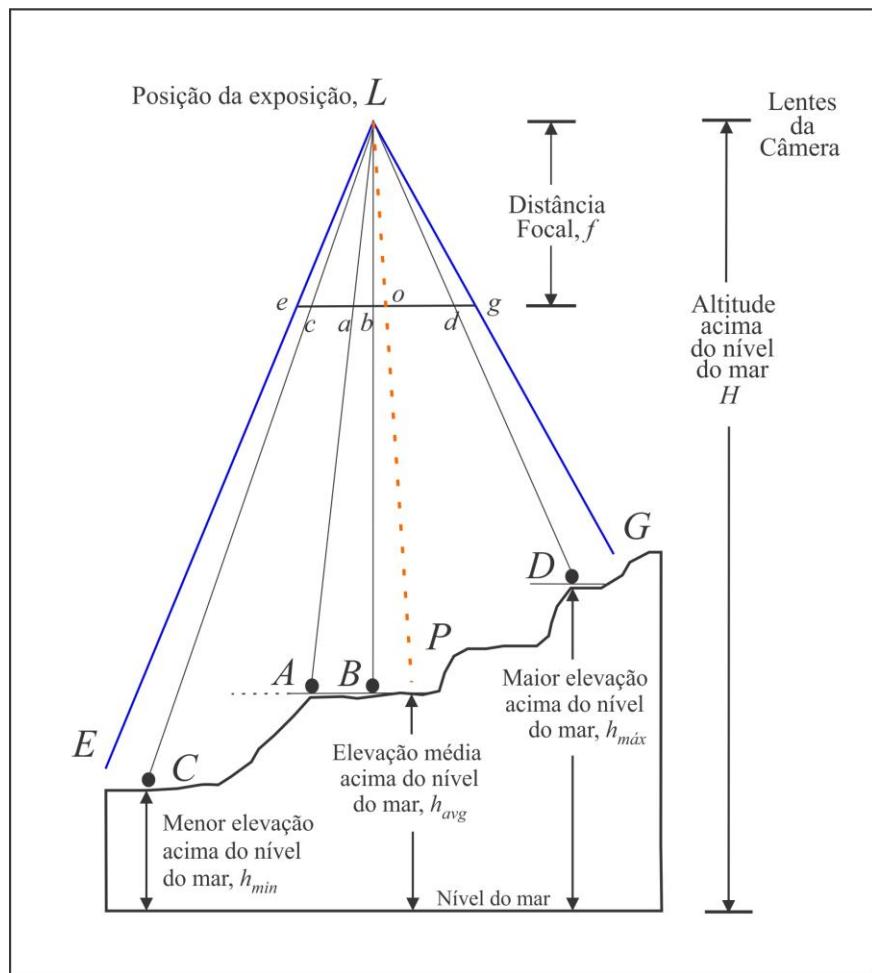


Fonte: Modificado de Jensen, 2011.

5.2.3. Escala Fotográfica

Escala é a razão entre uma distância medida em um desenho ou mapa e a distância correspondente no terreno. A escala fotográfica decorre em função da altura de vôo, que é um valor aproximado definido pela distância da estação da câmara até o plano do terreno, e da distância focal da câmara alterada pela altitude do terreno. Mantendo-se a altura de vôo e utilizando-se uma câmara com uma distância focal maior a escala fotográfica aumenta, para o mesmo efeito, pode-se diminuir a altura de vôo utilizando-se a mesma câmera. A escala da fotografia também pode ser afetada quando a fotografia não é perfeitamente vertical, ou seja, quando o terreno apresenta uma inclinação (Fig. 6). A necessidade de observação dos elementos presentes na fotografia é que determina qual escala é mais apropriada (TOMMASELLI, 2009).

Figura 6. Geometria de uma fotografia aérea vertical adquirida sobre um terreno com relevo acidentado.



Fonte: Modificado de Jensen, 2011.

No caso de terrenos acidentados, diferentes valores de escala podem ser calculados onde, S_{min} seria um valor da função da mínima elevação acima do nível do mar (Fig. 7a), enquanto $S_{máx}$ seria a função da máxima elevação (Fig. 7b). Para definir uma escala geral para a fotografia adquirida no terreno acidentado normalmente calcula-se uma escala média (Fig. 7c). A escala média é considerada somente uma escala aproximada para as outras localizações na fotografia, sendo válida somente para os pontos que se situam em elevação média, (JENSEN, 2011).

Figura 7. Equações utilizadas para calcular diferentes valores de escala. a) valores de escala com função mínima elevação acima do nível do mar na foto. b) valores de escala com função máxima de elevação acima do nível do mar na foto. c) calculada para definir a escala geral da fotografia aérea.

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| a) | b) | c) |
| $S_{min} = \frac{f}{H - h_{min}}$ | $S_{máx} = \frac{f}{H - h_{máx}}$ | $S_{med} = \frac{f}{H - h_{avg}}$ |

Fonte: Modificado de Jensen, (2011).

5.3. Estereoscopia

A estereoscopia é umas das técnicas que possibilita a percepção da profundidade, conduzindo à percepção tridimensional de objetos. Em atividades cotidianas, acabamos por medir ou julgar certas profundidades e distâncias relativas entre diferentes objetos. Normalmente as pessoas possuem visão binocular, que é a capacidade de enxergar com ambos os olhos simultaneamente, denominada de visão estereoscópica relacionada a percepção de profundidade. Já a percepção da distância é denominada como método monoscópico onde a visão monocular ocorre através da observação com apenas um dos olhos. Como a profundidade é fundamental para a fotogrametria, o método estereoscópico se mostra mais vantajoso que o método monoscópico (WOLF, 1983).

5.3.1. Anaglifo

A partir da sobreposição de pares fotográficos, em cores distintas, uma em tons de ciano e a outra em tons de magenta, é possível montar uma única imagem que quando visualizada com filtros especiais é capaz de fornecer uma percepção tridimensional. Este estereopar é denominado anaglifo. O princípio da visão de um modelo anaglifo parte da complementação destas cores onde, através de óculos bi-cromáticos, um dos olhos é submetido a um filtro de cor magenta pelo qual será possível somente a visualização da imagem de coloração em tons ciano, e assim vice-versa. A imagem tridimensional gerada será projetada em tons de cinza (SCHULER e ARAUJO, 2005). A utilização deste modelo caracteriza uma solução simples e econômica para a visualização tridimensional.

5.4. Interpretação Fotogeológica

A interpretação geológica através de fotografias aéreas e imagens de satélite, inicialmente estabelecido por Guy (1966), foi adaptada para as condições Brasileiras por Rivereau (1972) e Soares e Fiori (1976) que estabelecem a análise baseada no princípio de que o relevo e a drenagem, elementos que possuem maior destaque nas imagens terrestres, tendem a desenvolver padrões específicos, em função de fatores litológicos e estruturais. O desenvolvimento desses padrões específicos de relevo e drenagem pressupõe reflexo de estruturas geológicas superficiais e profundas e tais reflexos são passíveis de identificação através de produtos de sensoriamento remoto. Assim, a sistemática parte da interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas surgem como formas anômalas dentro da tendência regional, representando processos dinâmicos tais como: movimentação, deformações ou zonas de contato nos maciços rochosos. A interpretação fotográfica deve ser criteriosa para que seja possível reconhecer e identificar o ambiente e os elementos que o compõe permitindo definir sua importância no meio ao qual se encontra.

Segundo Arcanjo (2011), a identificação e interpretação de elementos geológicos expostos nas imagens deve ser realizada com a máxima fidelidade sem ser influenciada por modelos preconcebidos, e o quadro geológico final fornecido pelo somatório dos elementos analisados durante o estudo fotogeológico está relacionado com a experiência do fotointerprete, que é um fator decisivo, tanto para o estabelecimento dos critérios a serem adotados na fotointerpretação como no momento da tomada de decisão em situações com alta complexidade. O fotointerprete tem como função analisar e extrair todos os elementos geológicos presentes na imagem através das etapas de fotoleitura, fotoanálise, identificação de zonas homólogas e interpretação geológica, onde cada etapa possui um papel fundamental para que nenhum aspecto deixe de ser visualizado.

5.4.1. Relevo

- Falhas

Em geral, as falhas estão relacionadas a movimentação de blocos onde a elevação, descida, inclinação ou deslocamento horizontal estão presentes, e como resultado, as

principais feições morfológicas associadas a estes movimentos são as escarpas de falha, escarpas de linha de falha, cristas, isoclinais, vales alinhados e vegetação alinhada. Nos produtos de sensores remotos (fotografias aéreas e modelos digitais do terreno) os principais critérios para a interpretação destas estruturas ocorrem devido a observação de deslocamento de fraturas, contato brusco, linear e anormal entre rochas distintas, deslocamento de rios em ângulo reto e percursos paralelos, deslocamento de diques e camadas, súbita interrupção de camadas ou repetição e ausência das mesmas (ARCANJO, 2011).

- Zonas e Cinturões de Cisalhamento

Observáveis através das fotografias aéreas, as zonas e cinturões de cisalhamento apresentam um grande número de feições geralmente lineares conhecidas como lineamentos. A diferença entre estas feições detectadas nas fotografias aéreas está relacionada a largura das faixas onde os cinturões de cisalhamento constituem extensas faixas com largura de dezenas a centenas de quilômetros e extensão de centenas a milhares de quilômetros. Já as zonas de cisalhamento são representadas por faixas estreitas, podendo atingir centenas a vários quilômetros de extensão. Algumas destas zonas de cisalhamento constituem zonas anastomosadas contendo lineamentos descontínuos e irregulares (ARCANJO, 2011).

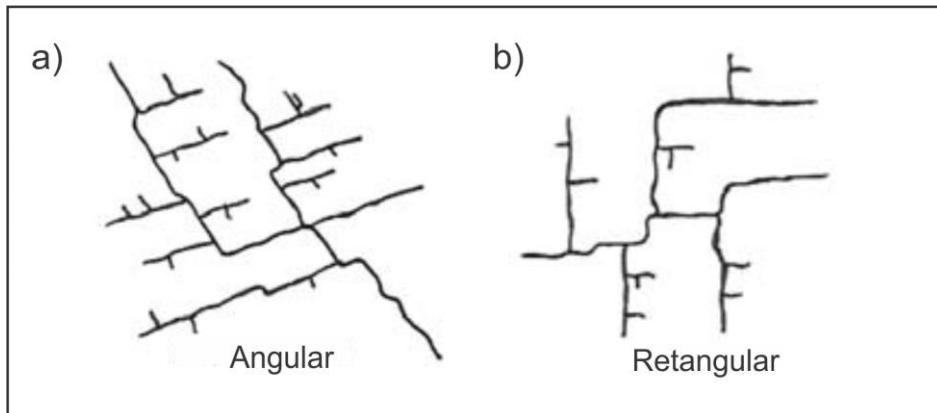
5.4.2. Drenagem

Segundo Arcanjo (2011), muitas são as informações fornecidas através da observação e traçado sistemático das drenagens, sendo relacionadas as estruturas geológicas, condições climáticas, características físicas do solo, variação da densidade de vegetação, entre outros, onde as variações litológicas e as estruturas são conceituadas as características mais importantes analisadas.

Formados pelo arranjo da drenagem, os padrões de drenagem são analisados quanto ao grau de integração, grau de uniformidade, grau de controle, ângulo de junção, angulosidade, orientação e densidade. Quando manifestados em maior densidade, indicam geralmente baixo grau de infiltração devido a presença de materiais de origem impermeável. Em materiais porosos, com alto grau de infiltração, estes se manifestam de forma escassa, ou por vezes ausentes (ARCANJO, 2011).

Os padrões de drenagens controlados por estruturas são classificados como padrões erosionais lineares (Fig. 8), são caracterizados por mudanças de direção bruscas com ângulos variáveis devido às falhas e/ou fraturas os quais podem indicar a presença de lineamentos (ARCANJO 2011).

Figura 8. Padrão de drenagem: a) angular; b) retangular.



Fonte: Modificado Arcanjo (2011).

5.4.3 Lineamentos

A palavra "lineamento" foi introduzida por Hobbs (1904) para caracterizar as relações espaciais entre as feições da paisagem as quais incluem (1) cristas de cumes ou limites de áreas elevadas, (2) linhas de drenagem, (3) linhas de costa e (4) linhas de limites entre formações, de tipos de rochas ou de linhas de afloramentos. Em uma publicação posterior (1912), ele adicionou a estas feições, ravinas ou vales e linhas visíveis de fraturas ou zonas de brecha de falhas. De acordo com Hobbs, qualquer quantidade dessas feições, podem ser unidos de ponta a ponta para constituir um lineamento e estes, apresentam uma forte implicação tectônica pois são capazes de revelar a arquitetura oculta do embasamento. (O'LEARY *et al.*, 1976).

Lineamento. L. linea = linha + L. mentum = semelhante a; ou parecido com uma linha. "Um lineamento é uma característica linear mapeável, simples ou composta de uma superfície, cujas partes estão alinhadas em uma relação retilínea ou ligeiramente curvilínea e que diferem distintamente dos padrões de características adjacentes e provavelmente refletem um fenômeno subterrâneo."(O'LEARY *et al.*, 1976)

Segundo os mesmos autores, as características da superfície podem ser topográficas (expressando alívio) ou tonal (expressando contraste). A expressão topográfica consiste em relevos isolados ou contínuos, limites de áreas morfologicamente distintas ou quebras (incluindo cursos de fluxo - drenagens) em um terreno uniforme; A "feição de superfície" também inclui formas diferentes de topografias, como as que se manifestam através de superfícies do campo potencial aeromagnético ou da gravidade. As expressões tonais incluem descontinuidades, linhas delimitantes ou "listras", incluindo as manifestadas pela vegetação. Essas descontinuidades podem ser discernidas na superfície do solo ou em uma imagem da superfície do solo como, por exemplo, uma imagem térmica.

As características físicas ou tonais da superfície devem ser reconhecidamente lineares para se qualificarem como lineamentos. Os lineamentos podem ser simples: uma única característica contínua ou uma série de um único tipo de feições; ou podem ser compostos: por uma variedade de características contíguas ou expressivas. As feições, quando individualizadas, mostram-se alinhadas em uma sucessão natural, reconhecível e relativamente espaçada. Esta sucessão é manifestada por características que são relacionadas geneticamente, ou encontra-se mais próximas do que as características circundantes, ou são elas mesmas alongadas em uma única direção. Uma mudança distinta na direção do alinhamento representa um lineamento diferente. Em maior escala, os lineamentos podem ser identificados como uma única unidade no mapa; em menor escala, são expressões de uma paisagem e podem possuir extensão continental. Portanto, o comprimento real é relativo à escala de observação e não pode ser arbitrariamente limitado. As características que constituem um lineamento em uma escala podem não constituir-lo em outra. A escala deve ser especificada se diferentes escalas forem consideradas em um único estudo. Sugerimos que o "mapeável" e a "unidade de um mapa" devem ser compreendidas em consenso com o que foi proposto pela Comissão Americana sobre Nomenclatura Estratigráfica (1961): "Mapeamento da superfície é considerado como delineação em escalas da ordem de 1:25,000. " Como manifestações de feições reais, os lineamentos possuem largura, portanto, na escala de observação, a relação de comprimento e largura devem estar claramente proporcionais a um aspecto linear. Os lineamentos podem ser feições positivas ou negativas: geologicamente podem refletir a resistência erosiva de uma feição subterrânea ou de um material modificado por tal feição; na geofísica, eles podem refletir uma tendência de anomalia em subsuperfície ou interrupção. As feições tonais podem refletir um material subterrâneo ou uma descontinuidade de algum tipo de propriedade. Em qualquer caso, um lineamento é

excepcional no sentido de que este reflete algum tipo de anomalia ou descontinuidade no terreno (O'LEARY *et al.*, 1976).

A definição é geral, e alguns pontos qualificados são pertinentes. A palavra "lineamento" é freqüentemente usada em conjunto com um termo modificador, para indicar sua principal manifestação como, por exemplo, "lineamento topográfico". Isso talvez seja útil para caracterizar determinadas feições, mas os lineamentos compostos, mais longos, podem não ser descritos adequadamente dessa maneira. Seria útil manter distinções como "tonal", "topográfico" ou "magnético" para se referir especificamente a tipos específicos de lineamentos; pois as palavras "foto aérea", "radar", entre outros, não são distinções descritivas adequadas e devem ser descartadas, pois se referem a um tipo de sistema de detecção ou aquisição, e não são intrínsecas ao caráter de um lineamento (O'LEARY *et al.*, 1976).

Embora uma linha, de acordo com a definição, um lineamento é definido como uma representação apenas de linhas retas ou ligeiramente curvas. Certas feições lineares podem manifestar todas as características típicas do lineamento, mas podem ser fortemente curvas. Feições distintamente arqueadas podem ser chamadas de curvilíneas sem nenhuma outra modificação na terminologia (O'LEARY *et al.*, 1976).

Segundo Veneziani (1987) é necessária a distinção entre lineamentos estruturais e falhamento na interpretação de produtos de fotointerpretação, devido a dois principais fatores. O primeiro fator estabelece que os lineamentos não se restringem a apenas um tipo de movimento tectônico ao longo de toda sua extensão ou durante o decorrer dos diferentes ciclos ou fases tectônicas que afetaram uma determinada área. O segundo fator é o pressuposto de que uma zona de falha pode dar origem a vários lineamentos paralelos a subparalelos, ou vice-versa, ou seja, várias fraturas associadas a uma zona de falha podem dar origem a apenas um lineamento distinguível nos produtos fotogeológicos onde esta distinção está relacionada diretamente com a escala de observação destas feições pois uma mesma estrutura quando observada em diferentes escalas pode promover interpretações distintas (e.g. um lineamento ou uma zona de falhas, VENEZIANI, 1987).

Em uma fotografia aérea ou imagem de satélite, lineamentos podem ser o resultado de estruturas feitas pelo homem, tais como redes de alinhamentos (estradas, canais, etc), ou estruturas naturais, como estruturas geológicas (falhas/fraturas, contatos litológicos, inconformidades) ou redes de drenagem (rios). Os lineamentos associados a quebras positivas (cristas de serras, escarpas, crateras, etc) são delineados por pixels de tonalidade clara enquanto os lineamentos relacionados às quebras negativas (juntas, falhas, zonas de

cisalhamento, drenagem) aparecem na imagem como pixels alinhados de tons escuros (ABDULLAH *et al.*, 2009).

5.5. Processamento dos Dados Fotogeológicos

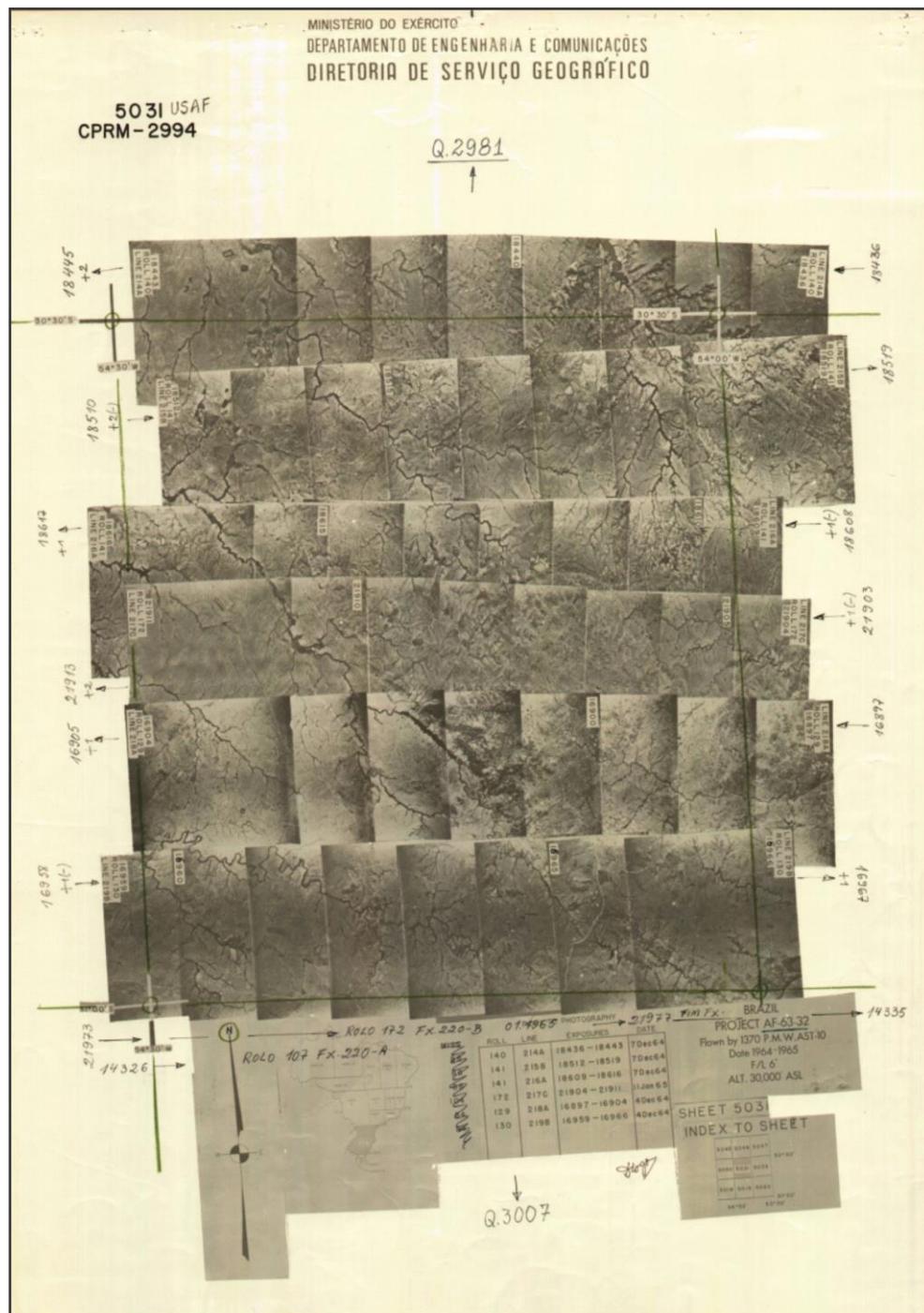
O processamento, análise e interpretação dos dados de superfície terrestre consiste no reconhecimento e identificação dos diversos elementos geológicos e estruturais expostos nas imagens, com o propósito de identificar as feições geomorfológicas/estruturais (lineamentos) que evidenciam a ocorrência do Lineamento de Ibaré na porção sudoeste do ESrg. As correções de ortorretificação não são necessárias dentro da proposta do trabalho, onde as escalas (1/400.000, 1/200.000, 1/100.000, 1/60.000 e 1/25.000) e resolução utilizadas mostram-se adequadas para a identificação dos lineamentos.

As fotografias aéreas utilizadas no projeto são produtos do aerolevantamento realizado pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), no ano de 1964 na escala 1:60.000. As linhas de vôo do aerolevantamento possui direção Leste-Oeste. As fotografias adquiridas apresentam uma sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30%.

Para a seleção das fotografias aéreas de interesse, as quais abrangem a área de estudos, foi realizada uma consulta em documentos conhecidos como fotoíndice (Fig. 9), estes documentos são correspondentes a cartas topográficas, os quais são compostos por diversas linhas de vôo contendo as fotografias aéreas (Fig. 10) que fazem a cobertura da região referente à carta. Cada fotoíndice possui um número de identificação, assim como as fotografias que o compõe, facilitando o processo de seleção das mesmas.

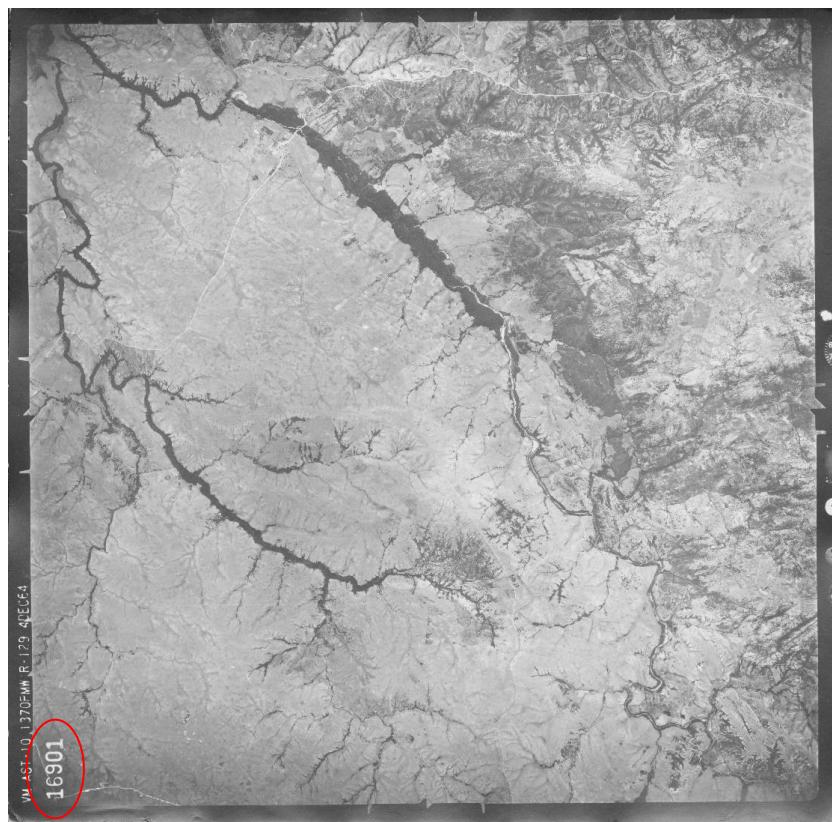
Estes documentos e as respectivas fotografias estão disponíveis no acervo digital da CPRM e na biblioteca setorial do Instituto de Geociênciа (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 9. Fotoíndice: Folha Lagoa da Meia Lua em escala 1/100.000. Fotografias em escala 1/60.000. Produto do levantamento aerofotográfico do projeto USAF, em 1964.



Fonte: Acervo digital da CPRM. 2016.

Figura 10. Fotografia aérea da área estudos. Levantamento aerofotográfico realizado pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) realizado no ano de 1964 em escala 1/60.000. Em destaque pela elipse vermelha, localiza-se o número de identificação da fotografia aérea.



Fonte: Biblioteca setorial do Instituto de Geociência da UFRGS, 2016.

5.5.1. Confecção dos Modelos Anaglifos

O processo de confecção dos modelos anaglifos parte do princípio onde as fotografias já foram selecionadas. No projeto, a etapa da produção dos modelos foi desenvolvida com o auxílio do software *ILWIS Academic 3.31*, um software totalmente livre, gratuito, disponível via internet. Neste, a estereoscopia é feita através da sobreposição dos pares já selecionados.

Para que não ocorra nenhuma perda de informação e, para que os modelos sejam ajustados corretamente, a confecção dos anaglifos através do software *ILWIS Academic 3.31* exige o ajuste dos pares fotográficos através da existência de determinadas marcações, as marcas fiduciais, descritas anteriormente. Existem lugares indicadores nas próprias fotografias aéreas para tal demanda, quando executada corretamente, permite a localização e visualização do ponto principal em cada foto, corroborando posteriormente no georreferenciamento das mesmas. Quando todas as marcações são realizadas corretamente (Fig. 11), é possível gerar um anaglifo (Fig. 12) de boa qualidade. Deve-se ter cuidado na hora de plotar as marcas

fiduciais pois quaisquer deslocamentos podem resultar em um modelo não representativo, de baixa qualidade.

Figura 11. Confecção dos estereopares (anaglifos). Plotagem das marcações fiducias. Ponto Principal (PP) e Ponto Transferido (TP) no Software *ILWIS Academic 3.31*.

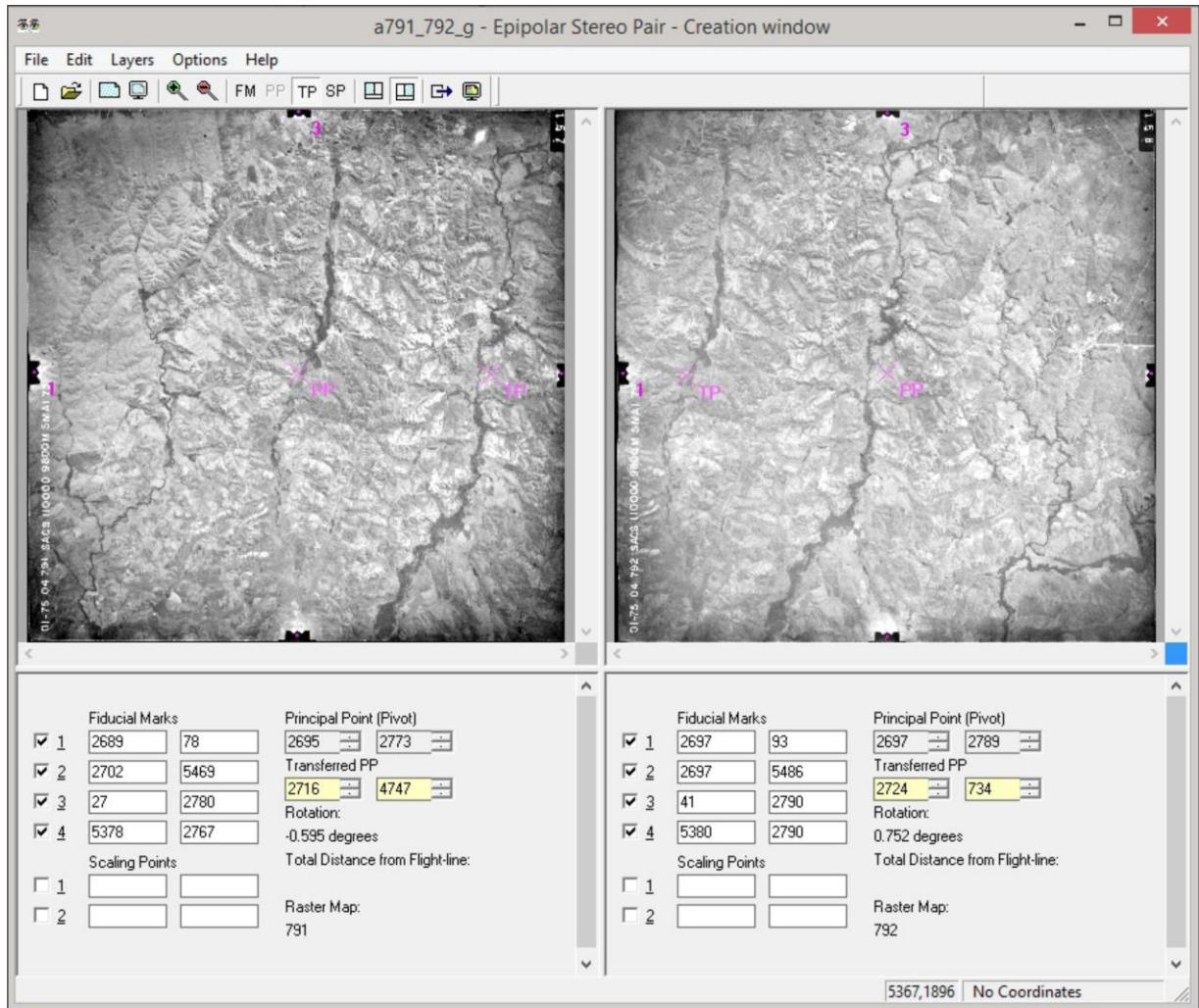
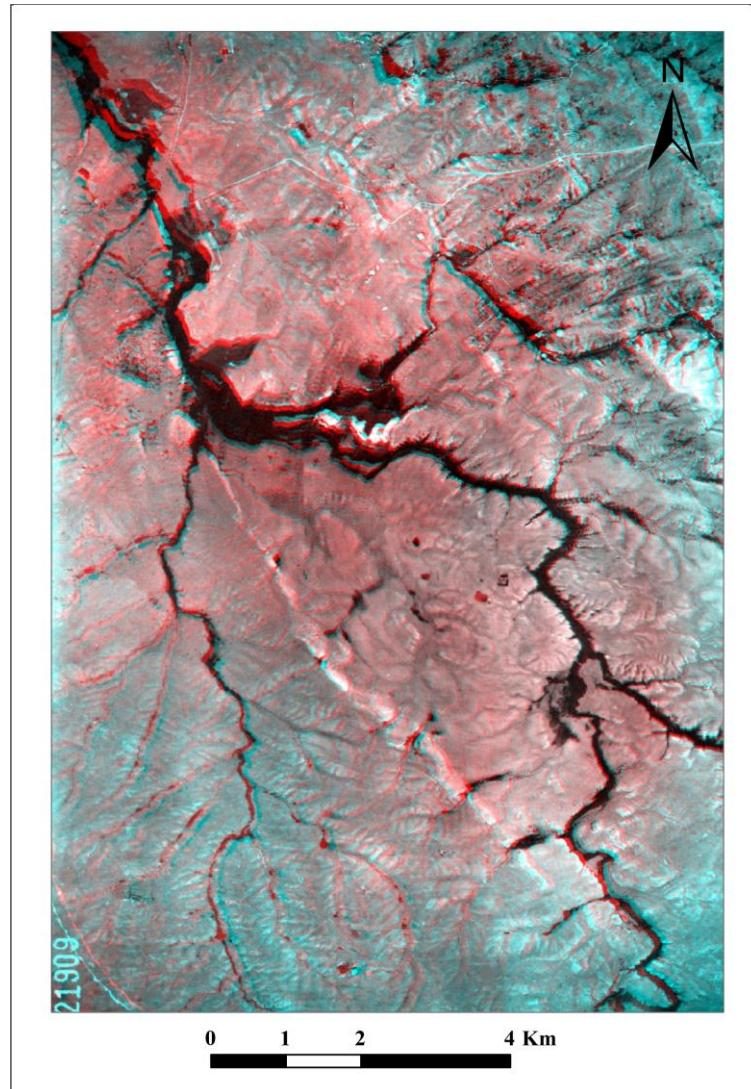


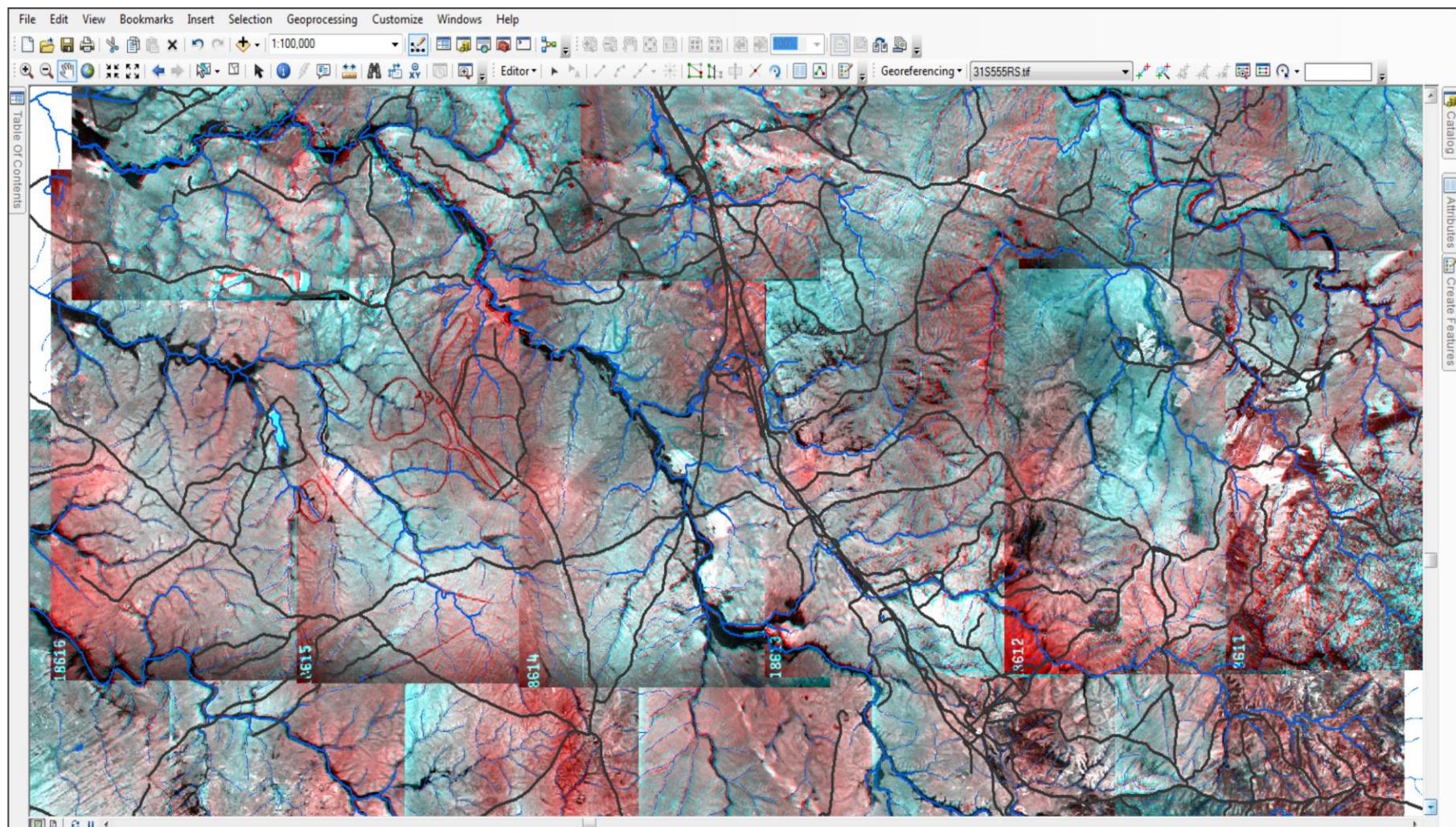
Figura 12. Estereopar (anaglifo) gerado a partir da seleção de um par fotográfico da linha de vôo referentes ao levantamento aerofotográfico do projeto USAF na região de Ibaré - RS.



5.5.2. Georreferenciamento dos Modelos Anaglifos

O ajuste dos anaglifos com o terreno (Fig. 13) foi realizado com o auxílio do software ArcGis, na extensão ArcMap versão 10.3, da plataforma ESRI, onde o ajuste do modelo com o terreno é feito a partir das drenagens e sistema viário no datum SIRGAS 2000. A base de dados dos vetores relacionados as drenagens foram obtidos através do banco de dados disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

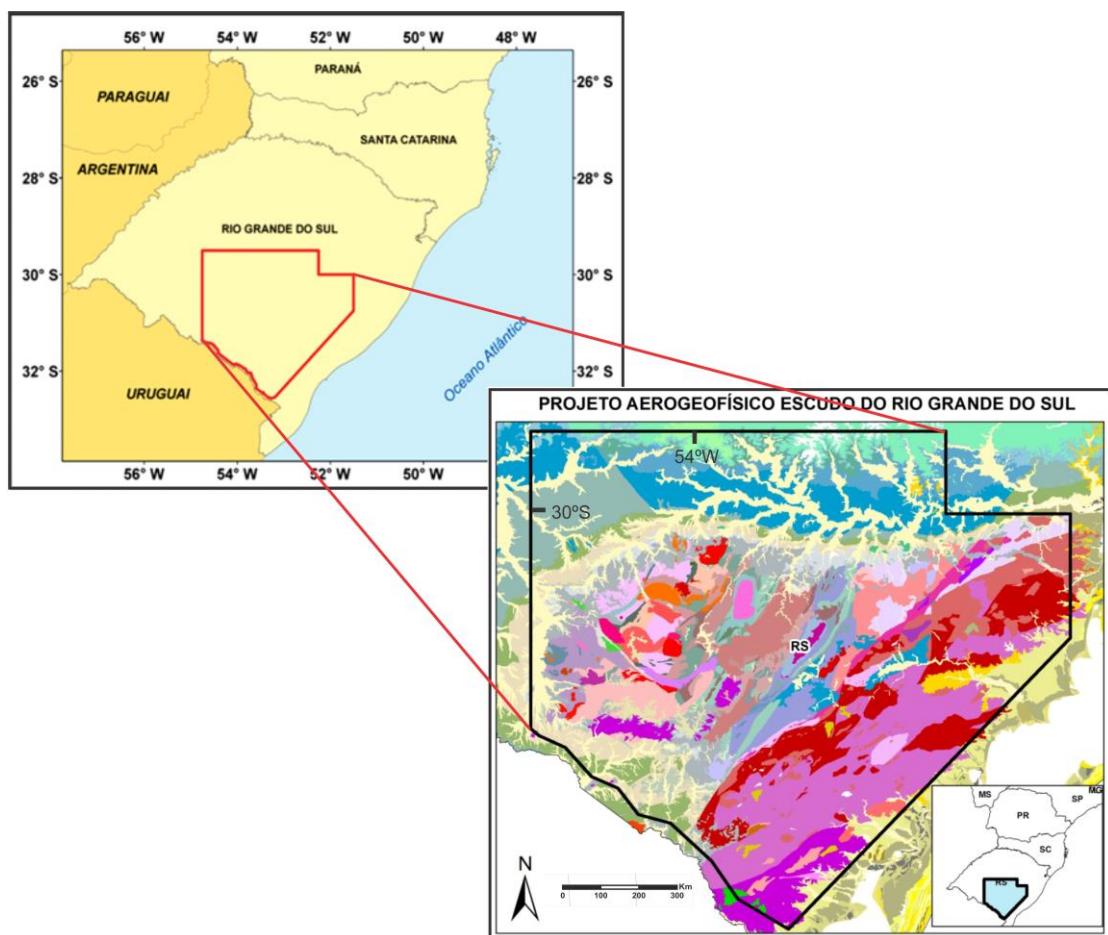
Figura 13. Ajuste dos estereopares (anaglifos) com o terreno (georreferenciamento) no datum SIRGAS 2000, através das drenagens e do sistema viário retirados do Banco de Dados do IBGE. Software ArcGis, extensão ArcMap 10.3.



5.6. Levantamento Aerogeofísico

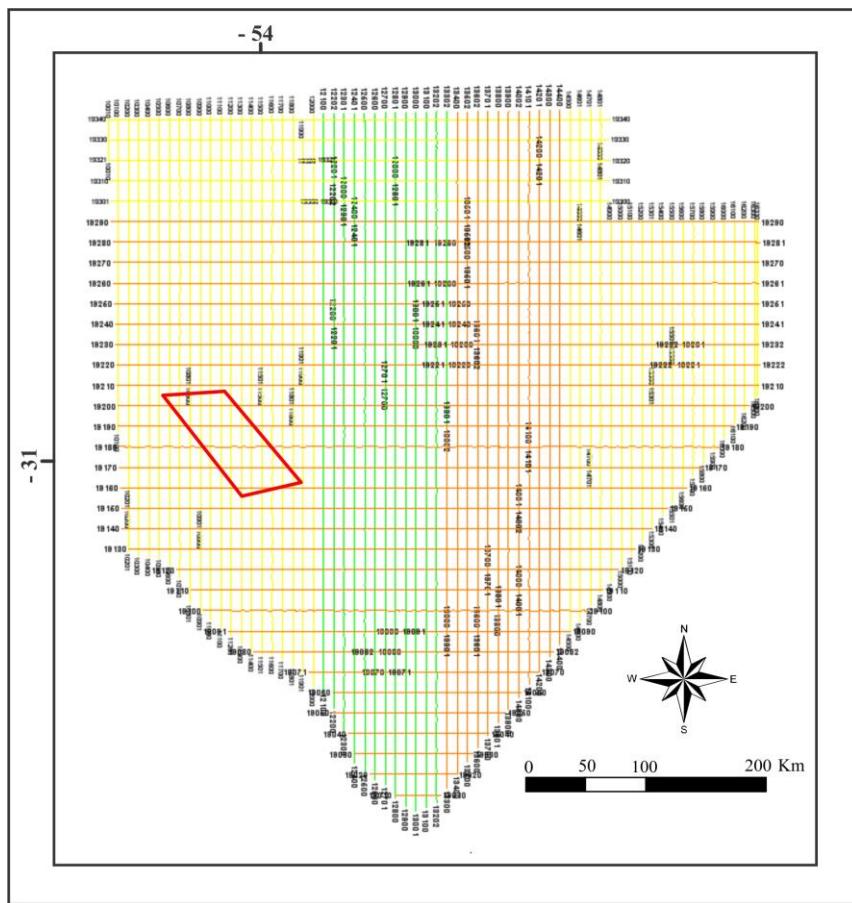
O Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, comissionado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), no ano de 2010, constou do recobrimento de 159.789,21 km (Fig. 14) através da programação de 633 linhas de vôo (152.100,66 km) e 34 linhas de controle (7.688,55 km) (Fig. 15) de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução. Os levantamentos compreenderam altura média fixada em 100 metros sobre o terreno, linhas de vôo espaçadas a cada 500 m e linhas de controle a cada 10 km, orientadas nas direções norte-sul e leste-oeste, respectivamente. Estes dados estão disponíveis na escala 1:100.000.

Figura 14. Mapa de localização da área onde foi realizado o levantamento aerogeofísico no Estado do Rio Grande do Sul. Em destaque, a área que envolve o Projeto Aerogeofísico - Escudo Sul-rio-grandense, CPRM 2010.



Fonte: Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, CPRM 2010.

Figura 15. Mapa esquemático modificado do posicionamento das linhas de vôo distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) com a área de estudos em destaque.



Fonte: Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, CPRM 2010.

Ao longo dos perfis dez leituras do aeromagnetômetro foram realizadas em todas os vôos, e as leituras dos gamaespectrômetros corresponderam a uma amostragem por segundo posicionadas através do sistema de observação de satélite GPS com precisão menor que 5 metros. Para o controle da variação diurna do campo magnético terrestre, estações fixas foram instaladas nas bases de operações utilizadas durante o levantamento nas cidades de Santa Maria e Pelotas (RS).

Os equipamentos utilizados pelas aeronaves durante a execução do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul estão apresentados no quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Informações técnicas do levantamento aerogeofísico realizado no ESrg pelo Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

| Prefixo da Aeronave | PR-SSB | PT-MEP | PT-WOT |
|--|---|---|---|
| Modelo da Aeronave | C-208B Caravan | C-208B Caravan | Navajo PA31-310 |
| Fabricante da Aeronave | Cessna | Cessna | Piper |
| Aeromagnetômetro | Scintrex CS-2 | Scintrex CS-2 | Scintrex CS-2 |
| Gamaespectrômetro | Radiation Solutions Inc./RS500 | Exploranium GR-820 | Exploranium GR-820 |
| Volume dos Cristais Detectores de Iodeto de Sódio | 2.048 pol ³ down e 512 pol ³ up | 2.048 pol ³ down e 512 pol ³ up | 2.048 pol ³ down e 512 pol ³ up |
| Sistema de Navegação | FASDAS | FASDAS | FASDAS |
| Sistema de Aquisição GPS | Trimble AgGPS 132 DGPS “Realtime” | Trimble AgGPS 132 DGPS “Realtime” | Trimble AgGPS 132 DGPS “Realtime” |
| Câmera de Vídeo | Panasonic WV-484 | Sony DXC-107A | Panasonic WV-484 |
| Radar Altímetro | King - 405 | Collins ALT-50 | Collins ALT-50 |
| Altímetro Barométrico | Fugro/Enviro | Fugro/Enviro | Fugro/Enviro |
| Magnetômetro Terrestre | GEM Systems GSM-19 | GEM Systems GSM-19 | GEM Systems GSM-19 |
| Sistema de Aquisição | FASDAS | FASDAS | FASDAS |

Fonte: Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, CPRM 2010.

5.7. Gamaespectrometria

5.7.1. Fundamentos Teóricos

O processo natural e espontâneo pelo qual núcleos de um isótopo radioativo instável, com excesso de energia se desintegram e formam núcleos de isótopos mais estáveis, acompanhado da emissão de energia na forma de partículas ou energia é conhecido como decaimento radioativo (IAEA, 2003). Nesse processo de desintegração radioativa há emissão de partículas alfa (α), beta (β) e gama (γ).

Através de um espectrômetro aerotransportado, é feito a contagem total da radiação, onde cada elemento é identificado em um canal do espectrômetro de acordo com sua energia, com todos os raios gama em uma janela energética de 0,41 a 2,81 MeV (Mega elétrons-Volt). O potássio (^{40}K) tem o pico de energia em 1,46 MeV. Urânio e tório só emitem radiação gama através do decaimento radioativo de seus produtos, o ^{214}Bi para o ^{238}U e ^{208}Tl para o ^{232}Th ,

com energias em 1,76 e 2,61 MeV respectivamente, sendo assim denominados como urânio equivalente (eU) e tório equivalente (eTh) (DISCKSON e SCOTT, 1997).

As partículas γ são radiações eletromagnéticas e por não possuir carga ou massa, possuem maior poder de penetração na matéria, sendo assim a radiação utilizada na medição da radioatividade em geofísica. Suas principais fontes provêm da desintegração do potássio (^{40}K), tório (^{232}Th) e elementos das séries do urânio (^{238}U) que estão presentes na composição da maioria das rochas em superfície e são responsáveis pelas principais fontes de radiação gama na superfície terrestre (e.g. TELFORD *et al.*, 1990). Entretanto podem atravessar até 30 centímetros de rocha e várias centenas de metros de ar, tornando-as a melhor alternativa para levantamentos radiométricos (MINTY, 1997).

Os solos, quando *in situ*, possuem concentrações relativas dos radioelementos encontrados na rocha em subsuperfície. Sem análise direta não há como saber se o solo sofreu alterações mecânicas e químicas, porém na comparação com levantamentos geológicos prévios, feitos na área, pode-se aproximar e comparar resultados. O fator principal será a diferenciação entre rochas máficas e félsicas.

Rochas félsicas possuem um teor mais elevado de radioelementos do que rochas máficas ou ultrabásicas devido à tendência de aumento de Th e U em relação ao teor de sílica. O tório apresenta crescimento maior do número de contagens em função do teor de sílica comparativamente ao urânio. Rochas formadas no último estágio de colocação ígnea (pegmatitos), durante a redução de temperaturas, apresentam altos teores de potássio e quantidades menores de tório e urânio, entretanto, rochas tardias ocupam áreas pequenas e muitas vezes não apresentam influência em aerolevantamentos (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Feldspatos potássicos e micas são minerais que apresentam alta concentração de potássio (K), onde unidades geológicas com altos teores desses minerais apresentam anomalias associadas. Quando lixiviado, o K pode ser adsorvido em argilominerais, como ilita, montmorilonita e caulinita. O K não é observado em quartzo, olivina, cloritas e carbonatos, apenas em teores muito baixos nos piroxênios ou anfibólios. A principal ocorrência de K está nos minerais ortoclásio e microclínio, além da biotita e muscovita.

Presumidamente, a gamaespectrometria é um método geofísico cujo objetivo é estimar as concentrações de potássio, tório e urânio a partir da medida da radiação gama natural emitida por seus radioisótopos e radioisótopos filhos que ocorrem naturalmente na crosta terrestre. A partir do conhecimento do comportamento geoquímico destes elementos e de sua

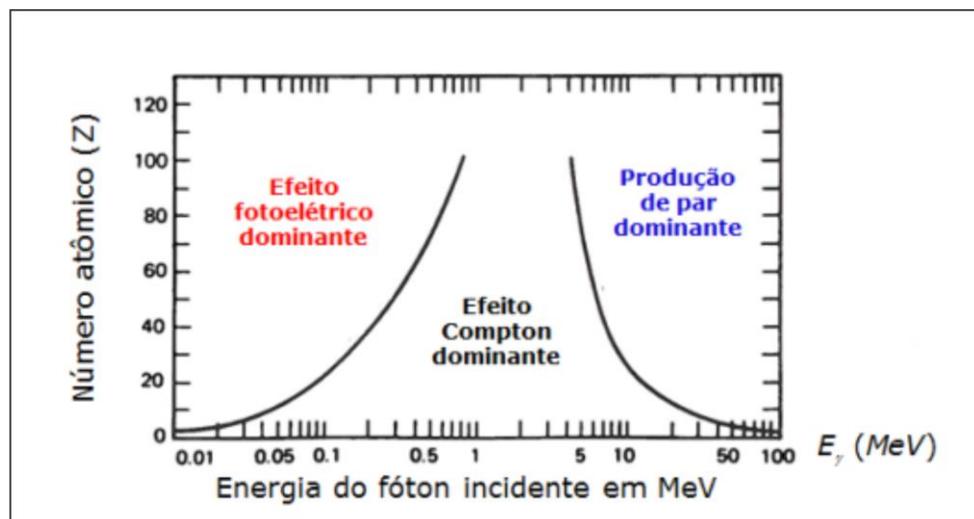
relação com as rochas, é possível relacionar suas concentrações à geologia de uma determinada área de interesse e a processos secundários que lá ocorreram.

a. Interação da Radiação Gama com a Matéria

Segundo Ferreira *et al.*, 2002 existem três processos principais pelos quais a radiação gama interage com a matéria: Efeito Fotoelétrico, Espalhamento Compton e Produção de par elétron-positron (Fig. 16). No efeito fotoelétrico o raio gama é completamente absorvido por um elétron periférico, o qual é expelido de um átomo. É um processo de absorção que se processa, predominantemente, em condições de baixos níveis de energia. O Espalhamento Compton é um processo pelo qual um fóton incidente perde parte de sua energia para um elétron e é espalhado segundo um ângulo relacionado à sua direção original. A perda de energia do raio gama é transferida por energia cinética para um elétron. É um processo onde predominam níveis moderados de energia.

Na produção de par, o fóton incidente é completamente absorvido, resultando na criação de um par de elétron-pósitron, no campo eletrostático de um núcleo, com uma energia total equivalente àquela do fóton original. Podem ocorrer em níveis energéticos maiores do que 1,02 MeV e predomina em energias muito altas, particularmente em materiais de elevado número atômico (maior que 30).

Figura 16. Gráfico da interação dos raios gama com a matéria.



Fonte: Modificado de Minty 1997.

b. Radiação de Fundo (*Background*)

Segundo Minty (1997), qualquer radiação não originária do terreno é considerada como *background*, desde que não tenha nenhum significado geológico e precisa ser removida dos dados gamaespectrométricos observados. Existem quatro tipos de fontes de radiação do *background*: fluxo atmosférico do radônio, *background* cósmico, *background* da aeronave e produtos oriundos de explosões atômicas e acidentes nucleares.

- *background* da aeronave: é o efeito causado pela aeronave nas medidas e é uma constante.
- *background* cósmico: é o efeito causado pela interação da radiação cósmica com moléculas e átomos da atmosfera superior, produzindo a radiação secundária.

A correção de ambos ocorre a partir da calibração do sistema sobre um ambiente livre de fontes radioativas onde deve-se a medida apenas aos *backgrounds* da aeronave e cósmico (MINTY *et al.*, 1997).

c. Efeito Compton

Em virtude do espalhamento Compton na superfície e no ar, as janelas de contagens de K, U e Th são afetadas por raios gama que não são originadas pelo respectivo radioelemento ou produtos de seu decaimento, o que pode ocasionar interferências nas janelas de baixa energia do U e do K, a partir de uma fonte pura de Th (GRASTY, 1979). O mesmo ocorre com fontes de U que interferem no espectro de baixa energia do K, assim como na janela de alta energia do Th em resposta à radiação do ^{214}Bi na série do decaimento do U. Devido ao pequeno poder de resolução dos detectores de NaI, as contagens decorrentes de uma fonte pura de K podem ser registradas no canal do U. As taxas de contagens nas janelas de baixa energia oriundas de fontes puras de U e Th são conhecidas como *stripping factors* e denominadas α , β e γ , onde: α é igual a taxa das contagens nas janelas de U e Th a partir de uma fonte pura de Th; β é igual a taxa das contagens nas janelas de K e Th a partir de uma fonte pura de Th; γ é igual a taxa das contagens nas janelas de K e U a partir de uma fonte pura de U.

5.8. Magnetometria

5.8.1. Fundamentos Teóricos

A magnetometria é o método geofísico que estuda as interações entre o campo geomagnético e as rochas da crosta terrestre. Rochas que desenvolvem magnetização significativa geram campos magnéticos secundários que alteram localmente o campo geomagnético, formando as chamadas anomalias magnéticas. A resposta das rochas à influência do campo magnético terrestre é previsível e depende de suas propriedades físicas, certos tipos de rochas contêm minerais magnéticos o suficiente para produzir anomalias magnéticas significativas (KEAREY *et al*, 2009), o que permite analisar a geologia de uma área de interesse por meio da interpretação de dados magnéticos.

Os minerais formadores de rocha mais comuns exibem uma suscetibilidade magnética muito baixa, e as rochas devem seu caráter magnético à proporção geralmente baixa de minerais magnéticos que contêm. Os principais minerais magnéticos são a magnetita, a pirrotita e a ilmenita, estes podem fornecer informações sobre a distribuição de minerais magnéticos, tais como a calcopirita, galena, asbesto e calcocita. Dentre os materiais responsáveis pelas propriedades magnéticas das rochas mais comuns estão os denominados ferromagnéticos, que geram magnetização espontânea forte e possuem alta suscetibilidade magnética, pois seus elétrons são pareados com *spins* na mesma direção. A magnetização que se observa nas rochas, como resultado da presença de minerais magnéticos na sua composição, pode ser classificada em dois tipos: magnetização induzida e magnetização residual remanescente ou remanente. A magnetização induzida é provocada pelo campo atual da Terra, enquanto a magnetização remanescente é adquirida ao longo da história geológica das rochas (KEAREY, 2009). A partir disso é gerado a anomalia magnética das rochas onde a magnetização se superpõe ao campo magnético terrestre.

a. Correção da Paralaxe

O erro de paralaxe é determinado a partir de uma linha voada em sentidos opostos sobre uma mesma feição magnética anômala, este corresponde à defasagem entre os instantes de medida do magnetômetro e o sistema de posicionamento GPS. A correção a ser aplicada

corresponde ao valor deslocado no tempo que torna as feições coincidentes em ambas as linhas.

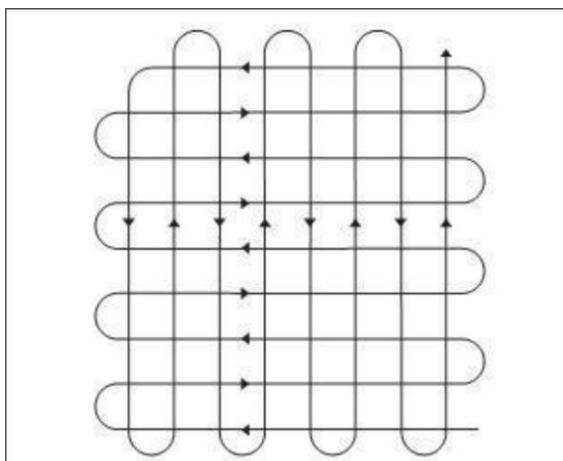
b. Correção da Variação Diúrna

A variação diurna pode ser determinada pelo arranjo de numerosos pontos de intersecção no plano do levantamento aeromagnético (Fig. 17), são decorrentes do fluxo de partículas carregadas dentro da ionosfera em direção aos pólos magnéticos, gerando um campo magnético, modificados em sintonia com os efeitos de maré do Sol e da Lua. São monitorados para identificar períodos de tempestades magnéticas, em que o levantamento aéreo é cancelado. A correção é feita com o auxílio de um magnetômetro terrestre e deve ser introduzida a um certo nível base onde irá efetuar uma leitura contínua registrando as variações magnéticas da área do levantamento. Os valores obtidos são subtraídos das leituras do magnetômetro móvel de acordo com a variação da hora da amostragem.

Os efeitos da variação diurna podem ser removidos de várias maneiras. Em terra, pode ser empregado um método similar ao do monitoramento da deriva gravimétrica, no qual o magnetômetro é lido periodicamente durante todo o dia, numa estação base fixa. As diferenças observadas nas leituras da base são, então, distribuídas entre as leituras nas estações ocupadas durante o dia, de acordo com seu horário de observação (KEAREY, 2009).

Análises das diferenças nas leituras de cada ponto de intersecção, representando a mudança de campo em uma série de diferentes períodos de tempo, permitem que todo o levantamento seja corrigido para a variação diurna por um processo de ajuste de rede, sem a necessidade de um instrumento na base (KEAREY, 2009).

Figura 17. Plano de vôo para um levantamento aeromagnético.



Fonte: Kearey, 2009.

c. Micronivelamento

Processos matemáticos referentes ao nivelamento das malhas de amostragem, costumam gerar imperfeições nas imagens produzidas a partir de dados aerogeofísicos. Dentre as técnicas de suavização dessas variações destacam-se a decorrugação e o micronivelamento (MINTY, 1991).

O desnível entre as linhas de vôo gera padrões caracterizados por ruídos alongados que acompanham a direção de sobre vôo, entretanto, esses ruídos estão confinados a estas linhas de vôo e apresentam comprimento de onda longitudinal maior que o espaçamento das linhas de controle e comprimentos de onda transversais. A remoção de ruídos relacionados ao desnivelamento das linhas de vôo não ocasiona perda de informações relevantes geradas pelas altas frequências (MINTY, 1991).

d. Remoção do IGRF

O International Geomagnetic Reference Field (IGRF) é a representação teórica para um dado intervalo de tempo do campo magnético normal da Terra, somando-se os campos causados por materiais magnéticos da crosta e correntes elétricas induzidas por campos magnéticos externos à crosta. O campo geomagnético possui variações de orientação e magnitude devido a latitude, longitude, altitude e o tempo. A altitude é obtida através da

média da altura de vôo acima do nível do mar e as variações seculares são bastante lentas, sendo usada a data média do levantamento aéreo para o cálculo do IGRF.

Pode ser necessária a remoção se a área for muito grande e/ou se é necessário a obtenção de uma grande precisão. Em áreas pequenas, um único IGRF pode ser utilizado para a área toda (REEVES, 2005).

5.9. Processamento dos Dados Aerogeofísicos

Utilizados neste trabalho, os dados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) foram disponibilizados no formato ASCII (XYZ), GDB's, compatíveis com a plataforma do *Oasis Montaj Geosoft*, 2007 onde estão agrupadas informações de posicionamento corrigidas e todos os demais canais de informação registrados a bordo da aeronave.

No processo de confecção das malhas regulares para obtenção dos mapas torna-se necessário realizar um processo de interpolação entre esses dados, criando-se uma representação de dados suavizada e regular. A transposição dos valores obtidos nas linhas de vôo para a malha regular é normalmente efetuada mediante um algoritmo que usa uma determinada função para definir o valor de cada nó da malha, com base nos pontos mais próximos das linhas de vôo contidas no arquivo. Segundo Briggs (1974), a célula deve ter o tamanho de $\frac{1}{4}$ do espaçamento entre as linhas de vôo, que é o valor ideal para que se minimize a variação dos dados pontuais na geração da malha regular. A *gridagem* se refere ao processo de interpolação de dados, onde é gerada uma malha ou grade de dados regular, com células do mesmo tamanho e espaçamento em um sistema de coordenadas conhecidas. Os sistemas de “gridagem” mais aplicados à prospecção geofísica são: Mínima Curvatura, *Krigagem* e Bi-direcional.

A gridagem Bi-Direcional é ideal para dados de levantamentos geofísicos aéreos potenciais, especialmente quando a densidade de dados é muito alta. Consiste em uma interpolação linear ao longo das duas direções: seguindo norte-sul, geralmente as direções das linhas de vôo com paralelo teórico UTM do *grid*; leste-oeste, seguindo o ponto definido pelo cruzamento dos meridianos UTM (norte-sul) com os paralelos (leste-oeste), função *spline* cúbica; Direção normal às linhas de vôo – função *spline* bicúbica. O algoritmo do bidirecional (BIGRID) a ser utilizado neste trabalho é composto também por um filtro não linear que elimina os ruídos de alta freqüência (*spikes*) e um parâmetro realce de *trends* que evita o

aparecimento de feições lineares compostas de várias anomalias de pequenos comprimentos de onda (AKIMA, 1970).

Com a utilização de técnicas de processamento e filtragem aplicadas aos dados aeromagnetométricos foi possível a identificação e realce de assinaturas anômalas nos mapas das diferentes transformações do campo potencial magnético. Esta é a mais comumente utilizada em levantamentos geofísicos aéreos especialmente quando a densidade de dados é muito alta ao longo da linha de vôo.

Para o processamento dos dados, os grids são transformados do domínio original do espaço para o domínio da frequência para aplicação dos filtros, com o auxílio da extensão *Magmap*, do software *Geosoft*. Nessa etapa há a expansão do grid para a utilização do algoritmo Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform – FFT*).

5.9.1 Dados Aeromagnetométricos

A evolução da tecnologia e de metodologias de interpretação de dados fez com que os levantamentos aeromagnetométricos passassem a ser uma ferramenta capaz de contribuir com diversos tipos de informação além do simples mapeamento de anomalias. Os levantamentos magnéticos são formas rápidas e de excelente custo-benefício que contribuem como ferramenta de investigação em um mapeamento convencional, mas se mostra ineficaz quando utilizado em áreas de cobertura significativa ou muito intemperizadas.

O principal objetivo do processamento de dados magnéticos é a remoção da variação temporal do campo magnético terrestre para isolar a resposta devida às rochas. Assim, os dados magnetométricos servem para identificar feições estruturais e contatos litológicos, além de auxiliar na tentativa de modelamento dos corpos geológicos em profundidade. Quando integrado a outros tipos de dados, estes dados servem para refinar e confirmar informações sobre a geologia da área. As medidas magnéticas podem ainda ser usadas na identificação de contatos geológicos e estruturais, como falhas e dobras (LUIZ e SILVA, 1995).

A etapa correspondente ao tratamento e processamento dos dados aeromagnetométricos envolveu a aplicação de filtros para gerar os mapas de transformações do campo potencial magnético relativa à compilação dos dados do Projeto Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010). A figura 18 mostra um fluxograma esquemático com os procedimentos das técnicas de filtragens descritas a seguir, utilizadas no processamento dos

dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos obtidos como resultado da aplicação dos diferentes filtros (i.e., mapas de imagens das anomalias magnéticas).

a. Derivada Horizontal

Segundo Stanley (1977), a derivada horizontal (DH) nada mais é que um filtro que ressalta as altas frequências, aplicado na direção "x" ou "y", permite mostrar a tendência das principais estruturas ao realçar os gradientes das possíveis fontes. É muito útil também no realce de feições lineares que são obstruídas por feições mais expressivas em outra direção. Ideal para a remoção de feições direcionais, porém pode passar ou rejeitar determinada direção.

A derivada horizontal pode auxiliar na definição de um contato brusco entre duas rochas possuindo diferentes magnetizações (NAIDU e MATHEW, 1998). A idéia de uma "derivada horizontal" pode ser estendida para uma derivada tal definida como sinal analítico.

b. Derivada Vertical

Com a utilização da derivada vertical (DV), componentes de alta freqüência em um conjunto de dados são amplificadas em diferentes graus (Naidu e Mathew, 1998). Trata-se de um filtro que amplifica os comprimentos de onda curtos, acentuando os gradientes das bordas dos corpos magnéticos rasos (PETERS, 1949). Aplicado a dados de campo magnético total para realçar anomalias causadas por fontes superficiais. Derivadas de 1^a ordem realçam fontes magnéticas mais rasas, eliminando fontes mais profundas e mantendo feições de fontes intermediárias. Derivadas de 2^a ordem realçam ainda mais fontes rasas, atenuando ou eliminando os outros componentes (VASCONCELLOS *et al.*, 1994).

c. Gradiente Horizontal

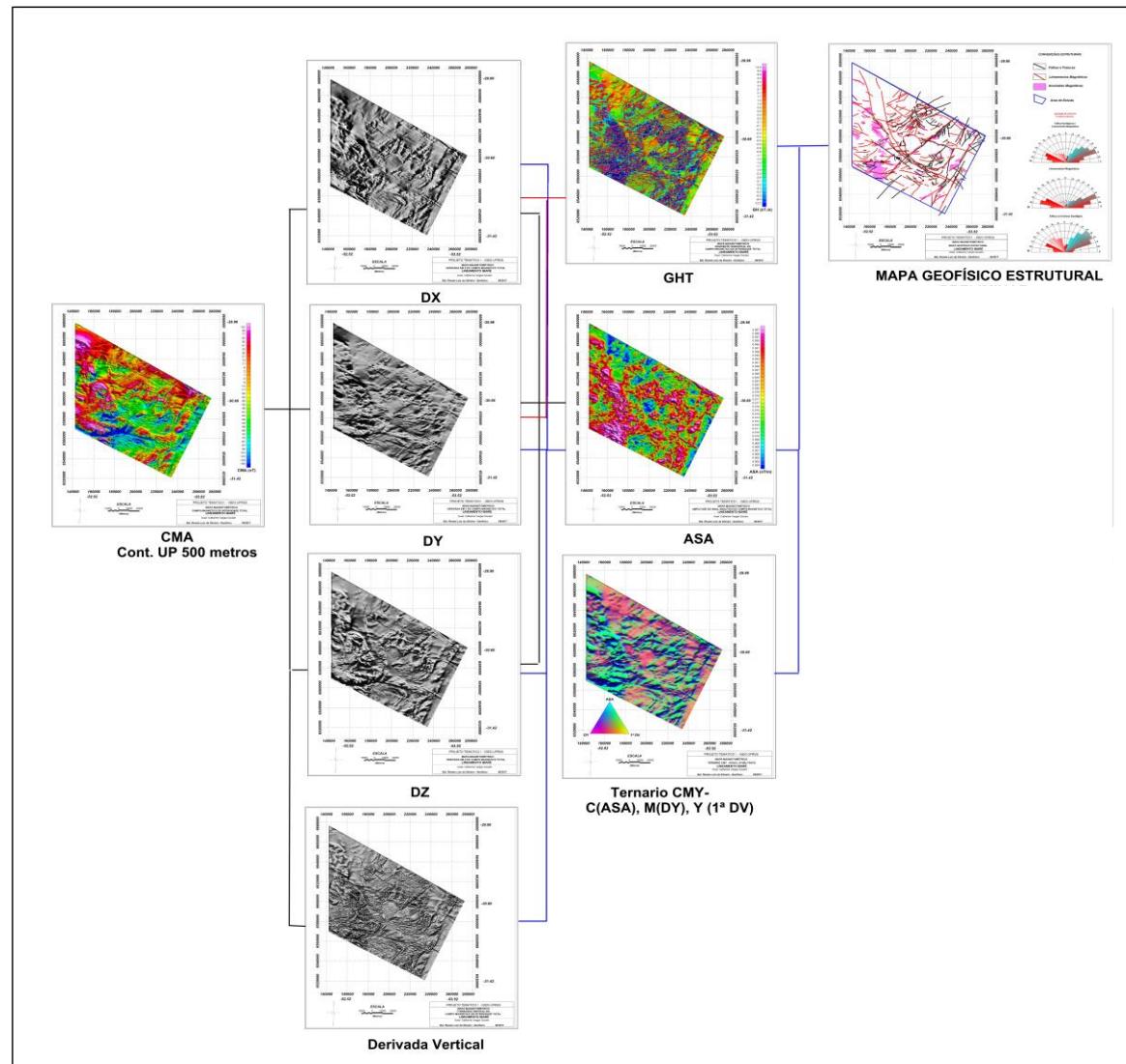
O gradiente horizontal (GH), de ordem zero é o vetor resultante da combinação das primeiras derivadas horizontais nas direções x e y. Este, em geral, indica mudanças abruptas do campo magnético anômalo, facilitando o delineamento de estruturas geológicas rasas ou posicionadas a pouca profundidade (NABLIGHIAN, 1972).

d. Amplitude do Sinal Analítico

O conceito de Sinal Analítico 2-D foi desenvolvido por (NABLIGHIAN, 1972, 1974). Esta técnica é caracterizada por não ter dependência com relação à direção do vetor magnetização da fonte, ou seja, pode ser correlacionada, à intensidade de magnetização da fonte.

A amplitude (valor absoluto) do sinal analítico 3-D, em um ponto qualquer com coordenada (x, y), pode ser obtido a partir de três gradientes ortogonais do Campo Magnético. Após a filtragem, os dados retornam para o mesmo formato do grid original através da transformada inversa de Fourier (Inverse FFT).

Figura 18. Fluxograma esquemático das técnicas de filtragens utilizadas no processamento dos dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos finais obtidos através da aplicação dos diferentes filtros na área de estudos.

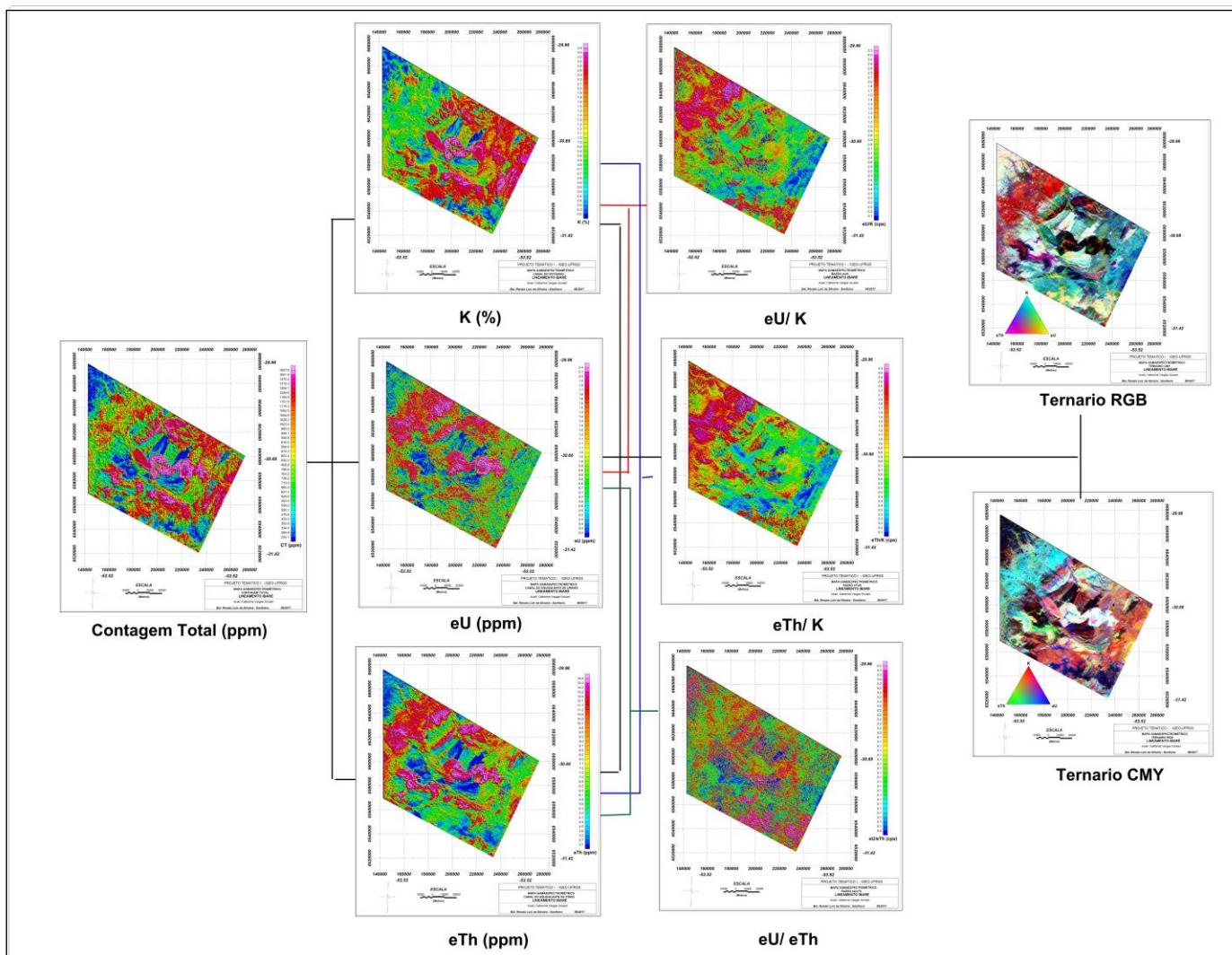


5.9.2 Dados Gamaespectrométricos

A aplicação da gamaespectrometria em aerolevantamentos geofísicos se tornou rotineira com o avanço de técnicas de processamento e aquisição. Sua aplicação em mapeamento geológico e identificação de estruturas aceleram consideravelmente o processo de reconhecimento regional.

O processamento de dados gamaespectrométricos envolve a aplicação de diversas rotinas de processamento (Fig. 19) para corrigir os espectros medidos e convertê-los em medidas de concentração de K, Th e U, este procedimento inicia-se a partir da geração do mapa de contagem total (ppm), e em sequência os mapas do canal do Potássio K (%), do canal equivalente de Urânio eU (ppm), do canal equivalente de Tório eTh (ppm), mapas das Razões eU/K e eTh/K, mapa do Fator F ($F = K * eU/eTh$), e por fim, mapa ternário de composição colorida (R - K, G - eTh e B - eU). Nas razões U/K e Th/K apresentam em maior evidencia a diferença dos teores entre os elementos quando comparados aos da razão de U/Th, que apresenta contrastes menores (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Figura 19. Fluxograma esquemático do procedimento aplicado ao processamento dos dados aerogamaespectrométricos onde foram gerados mapas de imagens dos valores anômalos das concentrações dos radioelementos.



5.9.3. Lineamentos Magnéticos

Lineamentos magnéticos são feições observadas de forma indireta através do realce de anomalias do campo magnético da Terra capazes de revelar estruturas tectônicas como falhas e zonas de cisalhamento, contatos geológicos entre unidades distintas e intrusão de corpos magnéticos (OLIVEIRA, 2008).

5.10. Trabalho de campo

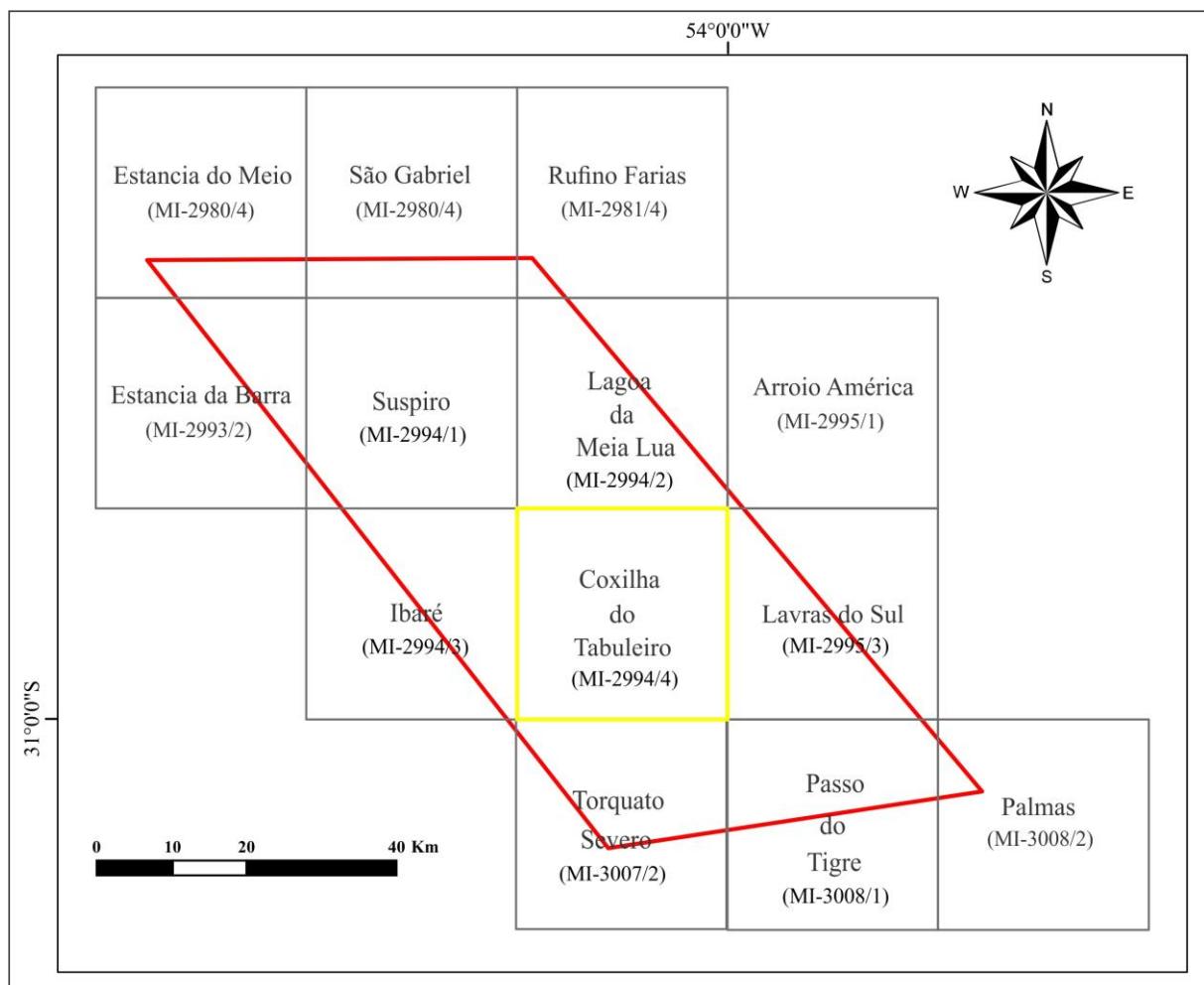
O trabalho de campo foi realizado entre os dias 3 e 7 de agosto de 2017 na região de Lavras do Sul, tendo como principal via de acesso a RS - 156. Para a execução do estudo foi selecionada uma área chave cuja base cartográfica utilizada foi a Folha Coxilha do Tabuleiro (SH.21-Z-B-VI-4) (MI - 2994/4) (Fig. 29) em escala 1/50.000. Os dados estruturais foram coletados segundo a notação em "trama" com bússola Brunton.

A coleta dos dados estruturais foi realizada para contribuir na identificação e compreensão da evolução geotectônica na região. Em situações em que a área de estudos é muito ampla o método adequado a ser utilizado compreende a realização de perfis perpendiculares, visto que possibilita a melhor averiguação entre as relações litológicas e suas estruturas decorrentes na região. Na região onde ocorre o LI, o levantamento dos dados foi realizado em estradas, vias ferroviárias e fazendas onde também foram realizadas coletas de amostras.

O trabalho realizado em campo envolveu:

- Reconhecimento geológico da área de estudos;
- Reconhecimento dos lineamentos identificados previamente nos modelos MDE e anaglifos;
- Verificação do caráter das estruturas encontradas em campo;
- Coleta de dados estruturais como: planos de fratura, falhas e atitude de camadas;
- Coleta de amostras para verificação litológica de detalhe;

Figura 20. Articulação cartográfica das cartas em escala 1/50.000 na região da área de estudos. O polígono vermelho representa a localização da área de estudos total. O polígono amarelo representa a área chave de estudos.



6. RESULTADOS

6.1 Modelo Digital do Terreno e Fotointerpretação

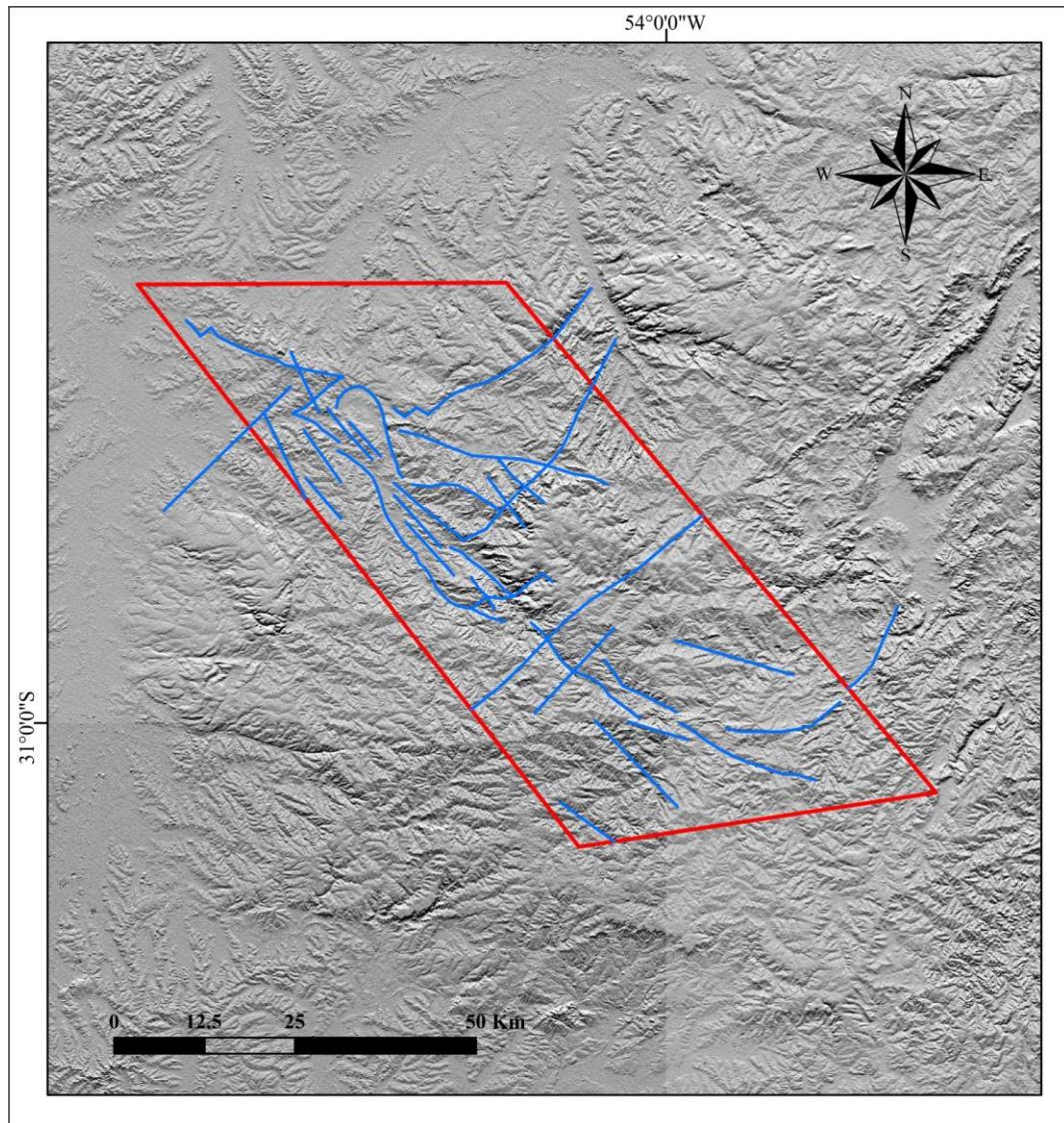
A interpretação dos mapas de relevo sombreado permitiu a identificação e o traçado de um conjunto lineamentos diversos, e extração dos mesmos em diferentes escalas (1/400.000; 1/200.000; 1/100.000), o que resultou na elaboração de mapas destacando estas morfoestruturas (Mapa 9, Mapa 10 e Mapa 11), tornando possível a identificação destas feições, reunidas em um mapa de lineamentos (Mapa 12). Concomitantemente, diagramas de roseta foram gerados com intuito de obter orientações preferenciais dos lineamentos fotointerpretados (Fig. 21a; b, c), havendo como resultado uma predominância direcional noroeste-sudeste (NW-SE), concordantes com o Lineamento de Ibaré.

A celeridade da aquisição destes resultados revela as vantagens do uso de mapas de relevo sombreado na investigação de estruturas regionais pois estes mostraram-se adequados na identificação e análise dos lineamentos, uma vez que estes apresentam ausência de feições superficiais que influenciam na interpretação, como a presença de nuvens, que obstruem a visibilidade dos lineamentos, além de estradas e cercas de propriedades, se não distintas adequadamente dos lineamentos, podem causar o levantamento de falsos dados.

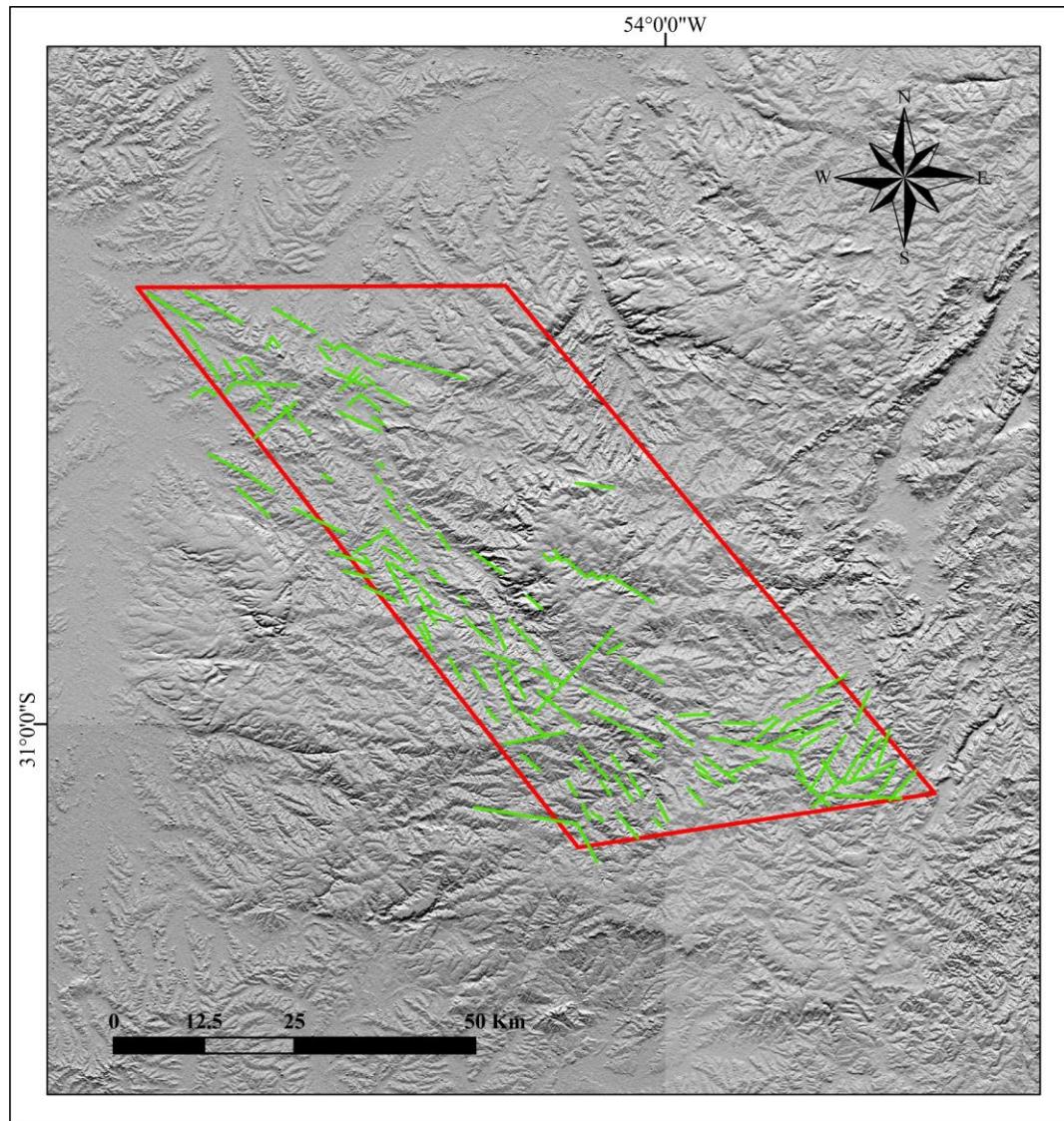
O mesmo foi realizado na interpretação dos padrões de drenagem (Fig. 22 e 23) e relevo, (Fig. 24 e 25) por meio dos estereopares, que também permitiu a identificação de um conjunto de feições lineares, nas escalas 1/60.000 e 1/25.000, que apresentam predomínio direcional preferencial NW-SE. A partir da identificação destas feições foi possível fazer a verificação no quesito delimitação e localização espacial referente ao Lineamento de Ibaré, viabilizando reunir uma base de dados precisa prévia ao trabalho de campo, auxiliando no reconhecimento do terreno e contribuindo na elaboração das estratégias de campo.

A partir da interpretação visual destes produtos, MDE e estereopares, foi realizada a extração dos lineamentos, positivos e negativos, possibilitando a aplicação da técnica de vetorização das feições identificadas. A representação da disposição espacial e direcional destes lineamentos vetorizados foi realizada através da rotina de análise exploratória do Software *Stereo32*, gerando diagramas de roseta que mostram a frequência e o predomínio direcional destas feições (Fig. 21d).

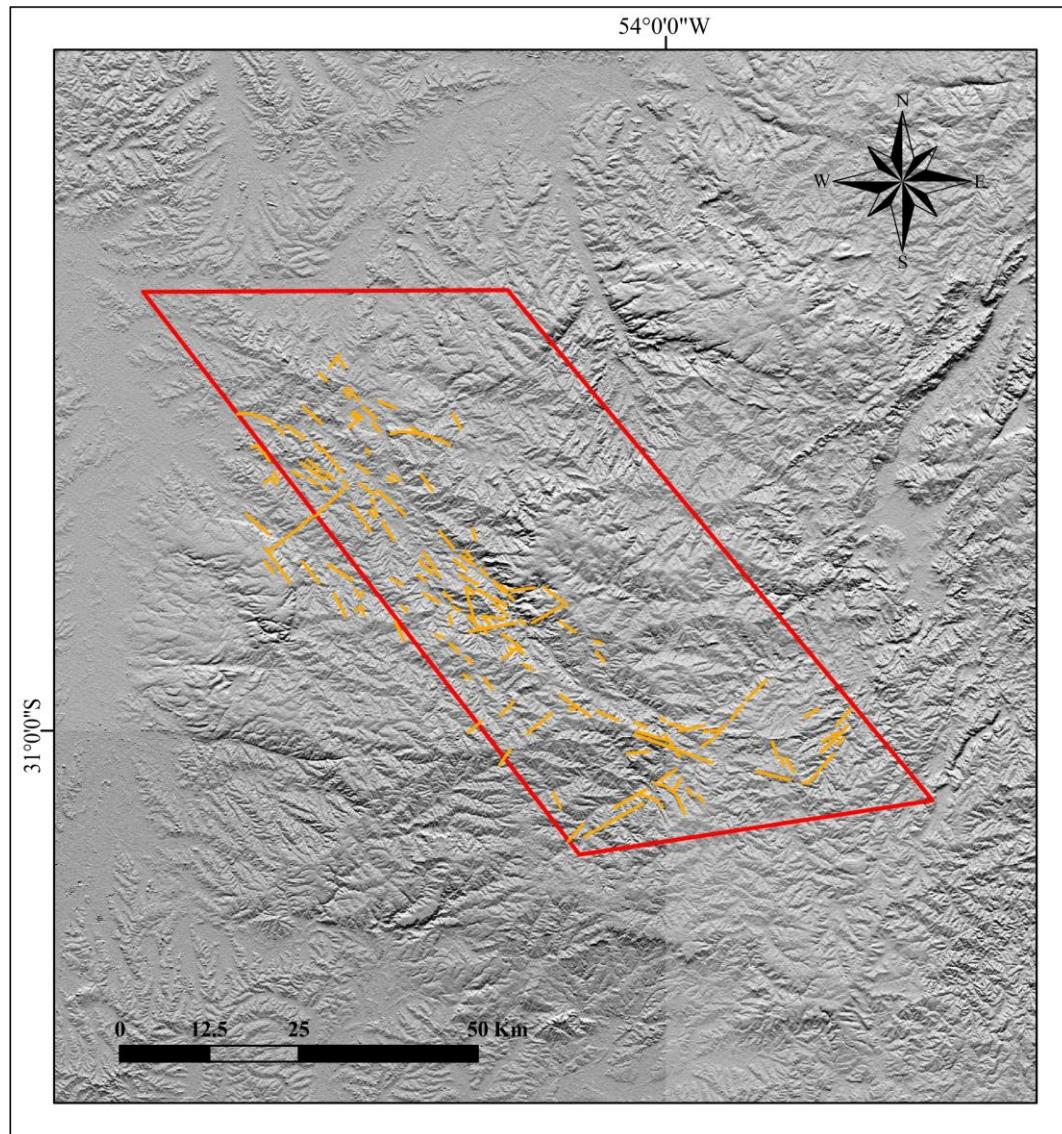
Mapa 9. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/400.000.



Mapa 10. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/200.000.



Mapa 11. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escala 1/100.000.



Mapa 12. Mapa de lineamentos morfoestruturais extraídos a partir do relevo sombreado dos Modelos Digitais do Terreno. Escalas 1/400.000; 1/200.000; e 1/100.000.

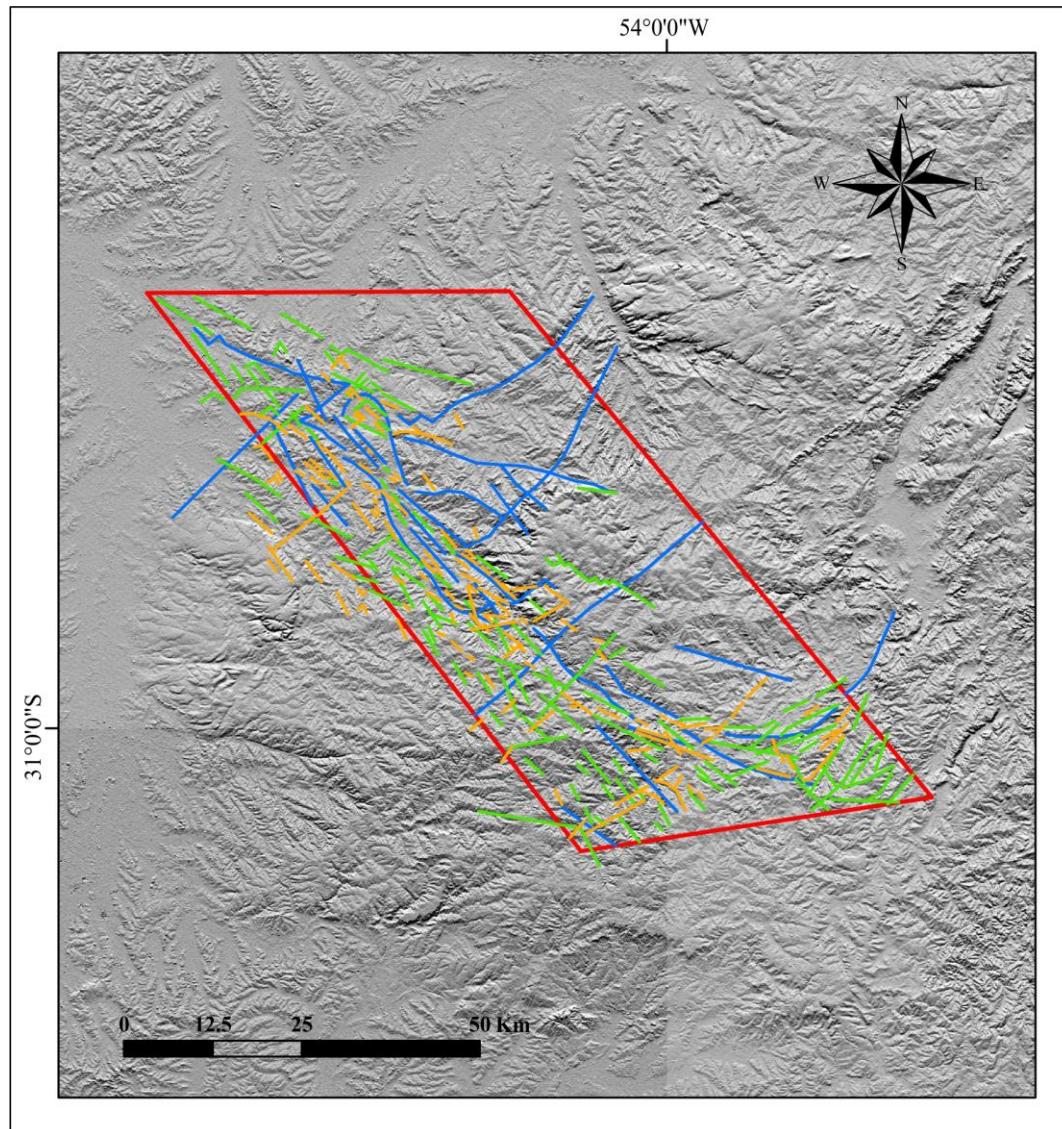


Figura 21. Diagrama de Roseta da frequência acumulada dos lineamentos morfoestruturais nas escalas: a) 1/400.000, b) 1/200.000, c) 1/100.000 e d) integração da frequência acumulada em todas as escalas apresentadas.

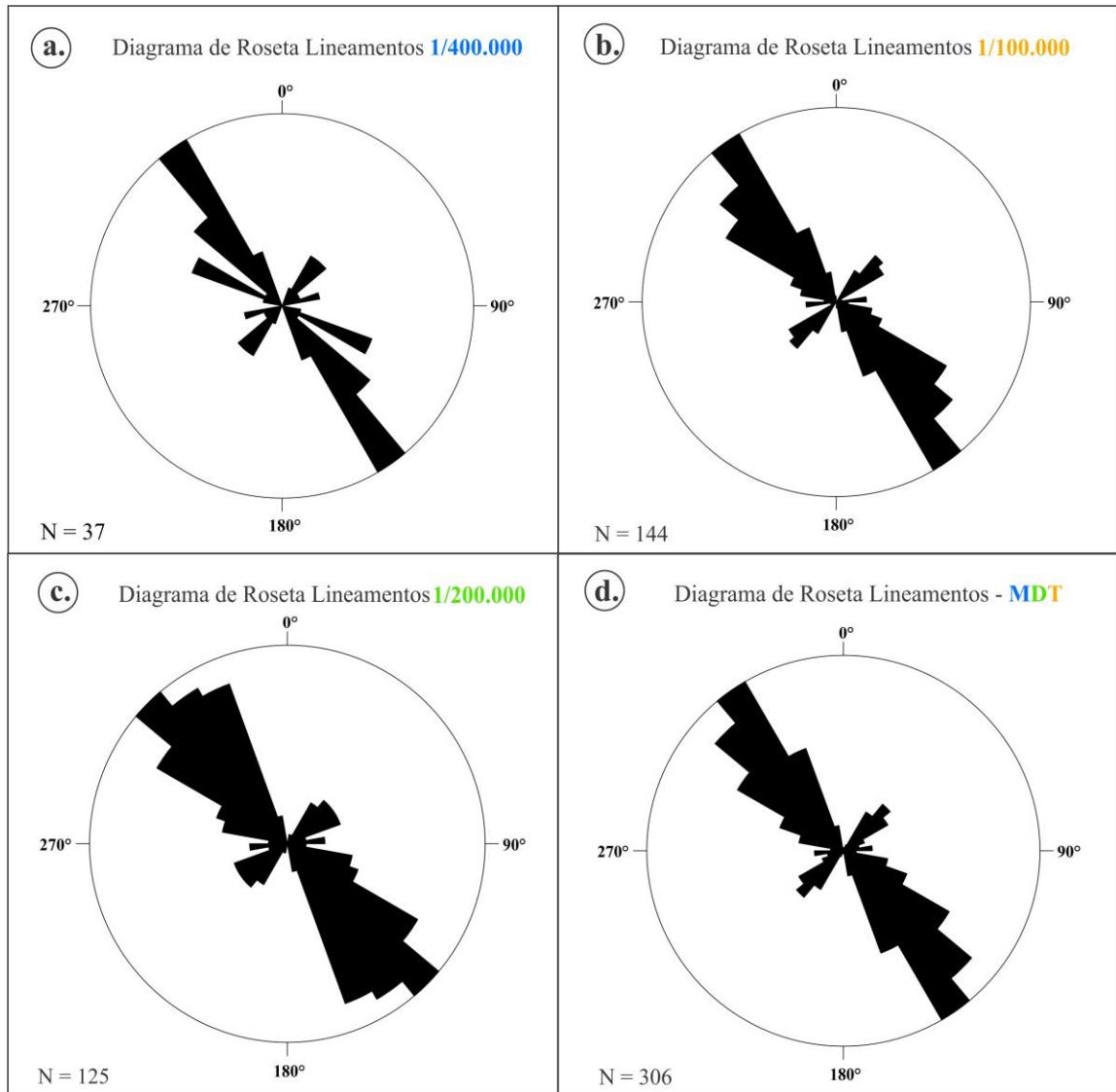


Figura 22. Identificação dos lineamentos em escala 1/60.000, através da análise do padrão do relevo (positivo) e anomalias retilíneas observadas nos padrões de drenagem (negativos).

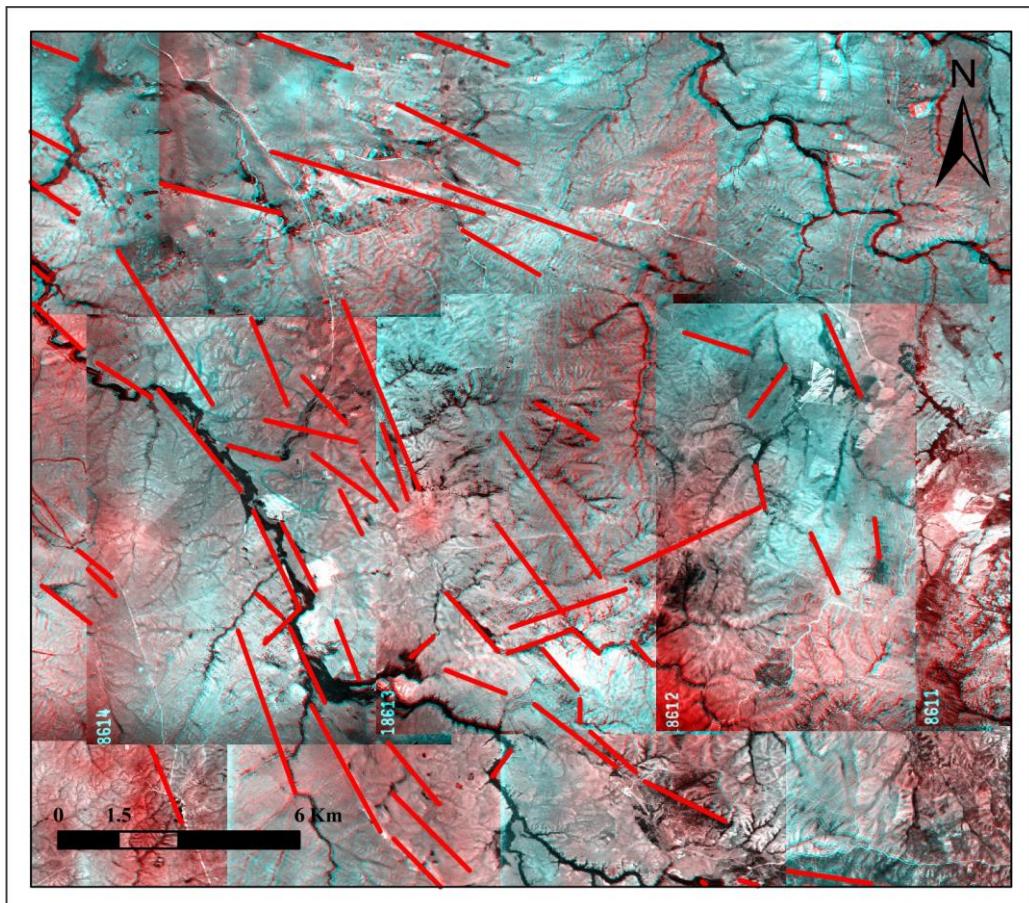


Figura 23. Diagrama de Roseta da frequência absoluta dos lineamentos na escala 1/60.000.

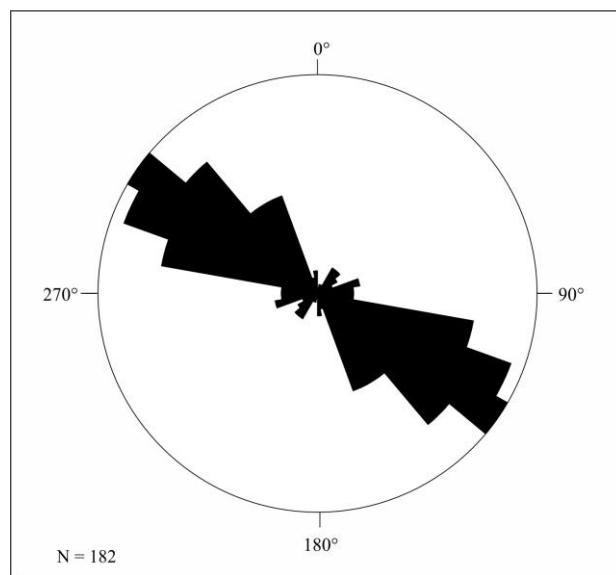


Figura 24. Identificação dos lineamentos em escala 1/25.000, através da análise do padrão do relevo (positivo) e anomalias retilíneas observadas nos padrões de drenagem (negativos).

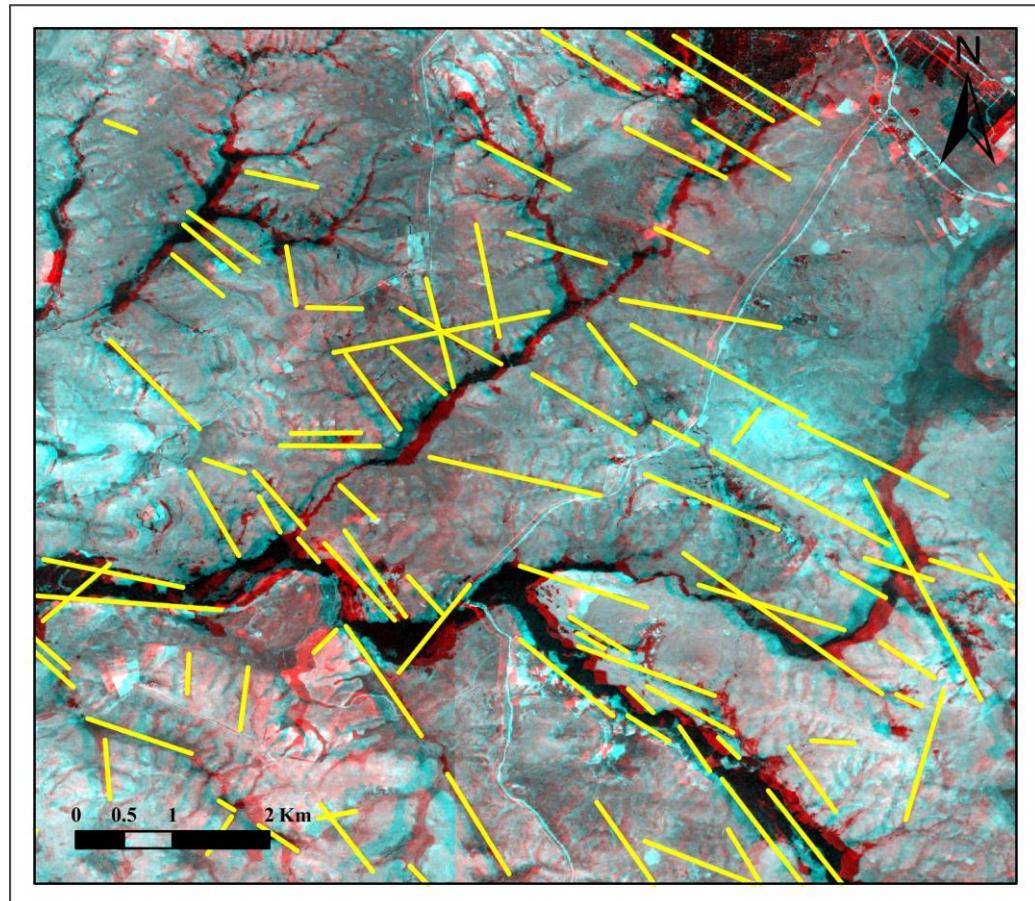
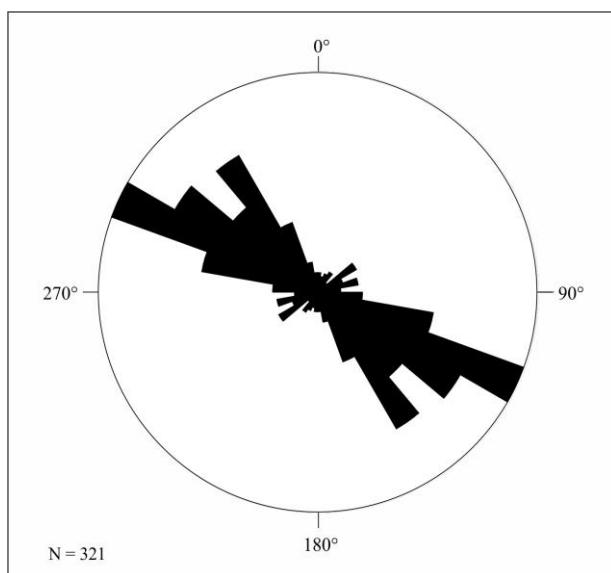


Figura 25. Diagrama de Roseta da frequência absoluta dos lineamentos na escala 1/25.000.



6.2 Aerogeofísica

Com base na análise e interpretação dos produtos gráficos finais dos dados aerogeofísicos foi possível identificar assinaturas anômalas em subsuperfície, ou seja, não observáveis nos produtos de sensoriamento remoto.

O processamento dos dados aerogeofísicos magnetométricos viabilizou a identificação de anomalias magnéticas situadas em subsuperfície, não observáveis nos produtos de sensoriamento remoto. Através da análise dos produtos gráficos finais dos dados magnetométricos foi possível a visualização em termos de amplitude e comprimento de onda das assinaturas magnéticas anômalas. As assinaturas de curto comprimento de onda estão relacionadas aos lineamentos magnéticos na região associadas a falhas e fraturas, e as de longo comprimento de ondas estão associadas ao embasamento, o Cráton Rio de La Plata (Fig. 26).

A partir das variações e representações contínuas referentes aos lineamentos magnéticos, foi utilizado como base o *grid* campo magnético de intensidade total (Mapa 13) que, partindo para a aplicação dos filtros, foram gerados os mapas de imagens da primeira derivada vertical (x , y , z) (Mapas 14, 15, 16), primeira derivada vertical (1^a DV) (Mapa 17), gradiente horizontal (GH) (Mapa 18) e amplitude do sinal analítico (Mapa 19) do campo magnético total, os quais promovem o realce das feições em subsuperfície corroborando para a identificação e traçado.

A gamaespectrometria permitiu delimitar em superfície limites espaciais e laterais de diferentes unidades litológicas a partir das anomalias de K (%) e dos equivalentes de eTh (ppm) e eU (ppm). Devido ao método limitar-se a poucas profundidades, integrando-o com a magnetometria, foi possível caracterizar além de diferentes litotipos, estruturas em profundidade marcadas pela presença de lineamentos magnéticos.

As cores presentes nos *grids* estão associadas com o máximo e o mínimo da concentração dos três elementos (K, eU e eTh) permanecendo cada elemento em um vértice de um triângulo equilátero. Resultados com a cor branca representam altas contagens dos três elementos e cores pretas estão associadas às baixas contagens, da mesma forma que o mapa apresentará cores intermediárias entre cada vértice.

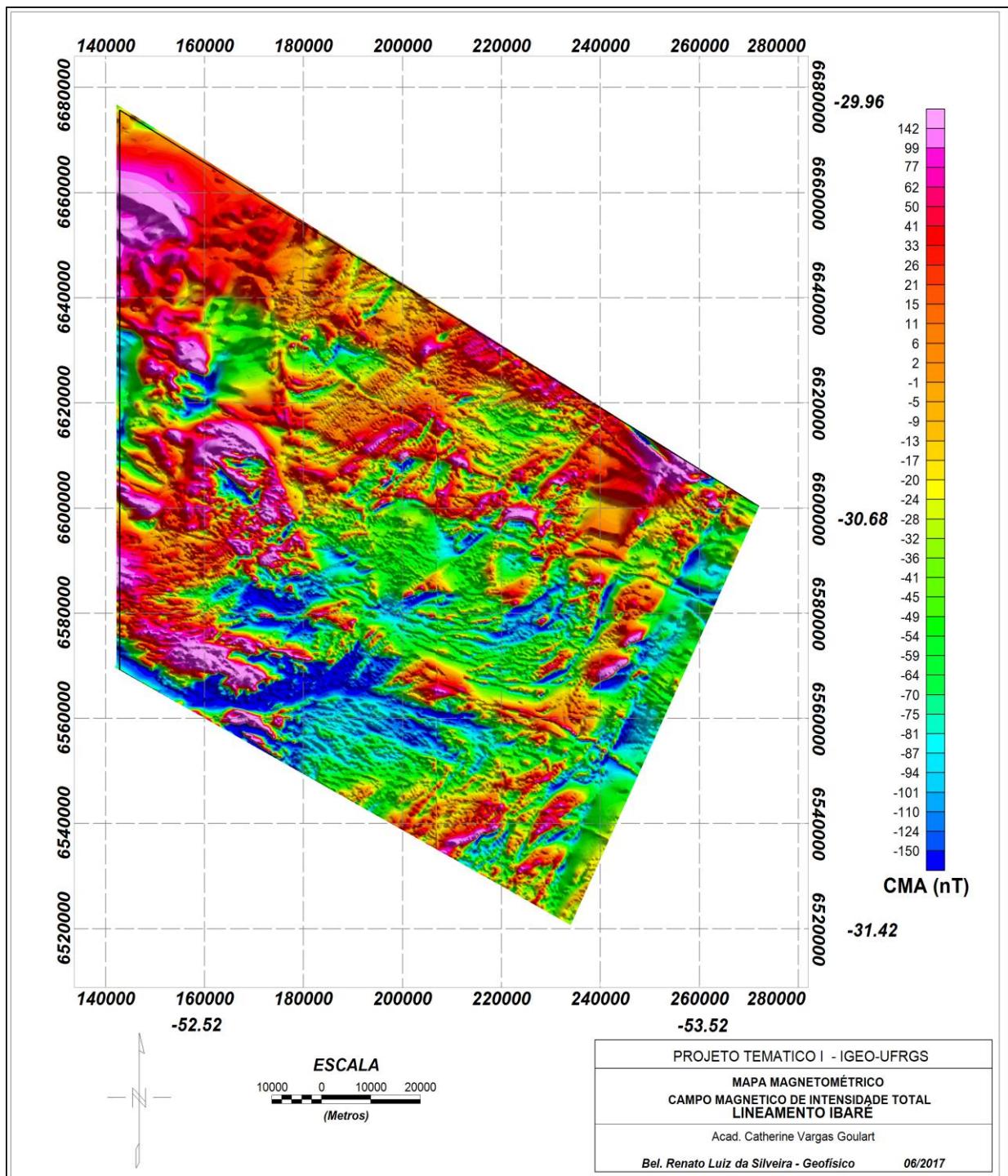
A partir do *grid* contagem total (Mapa 20) foram gerados mapas básicos de K (Mapa 21), eU (Mapa 22) e Th (Mapa 23), e a partir deste, mapas das razões entre estes elementos e mapas ternários de composição RGB (Mapa 24) e CMY (Mapa 25). O mapa ternário é gerado a partir da associação do sistema de cores RGB (ou CMY), sendo R=potássio (%), G=urânio

(ppm) e B=tório (ppm). Os mapas das razões eU/K (Mapa 26), eTh/K (Mapa 27) e eU/eTh (Mapa 28) destacam a diferença entre as concentrações dos elementos radiométricos possibilitando a identificação de contatos litológicos. Variações na concentração dos radioelementos são resultado principalmente da geologia local, como processos de enriquecimento (diferenciação magmática e/ou ação hidrotermal) e grau de intemperismo.

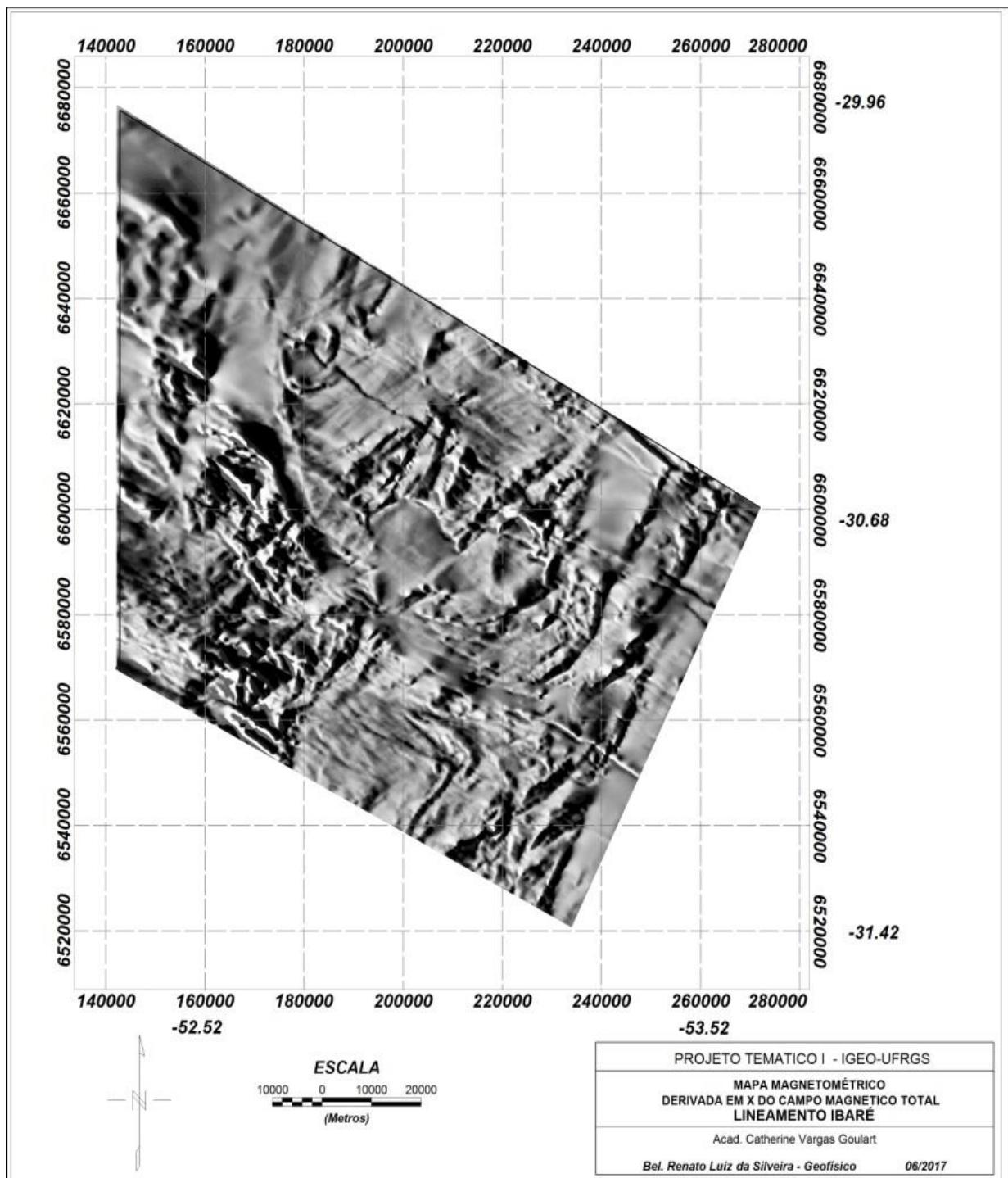
Os *grids* dos dados magnetométricos gerados através do sistema *Geosoft* 2007 fornecem dados que quando sobrepostos (*overlay*) uns aos outros possibilitam o traçado das anomalias decorrentes. Denominados de lineamentos magnéticos, muitas vezes estas anomalias estão correlacionadas com lineamentos morfoestruturais do terreno que, em sua maior parte, são seus correspondentes diretos em superfície.

Através da interpretação visual destes produtos foi empregado à técnica de vetorização, possibilitando a extração de traços retilíneos ou suavemente curvos referentes as anomalias magnéticas. A representação da disposição espacial e direcional dos lineamentos vetorizados foi realizada através da rotina de análise exploratória do Software *Spring* 4.2, que permitiu a representação da frequência absoluta e o predomínio direcional destas anomalias em diagramas de roseta (Fig. 26). Os lineamentos magnéticos identificados com predomínio direcional de direção noroeste (NW) foram correlacionados com o Lineamento de Ibaré (Fig. 26).

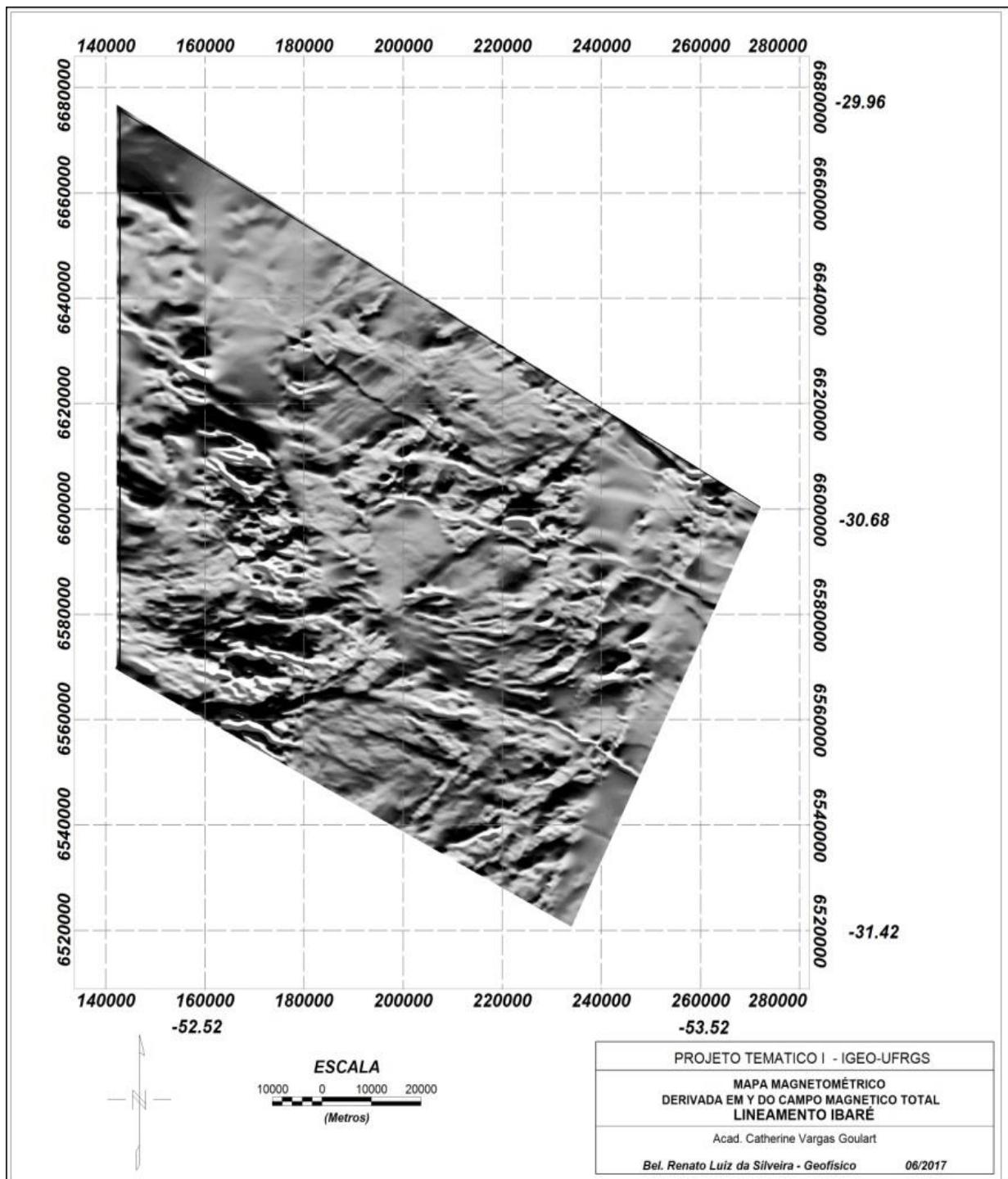
Mapa 13. Mapa magnetométrico do campo magnético de intensidade total na área de estudos.



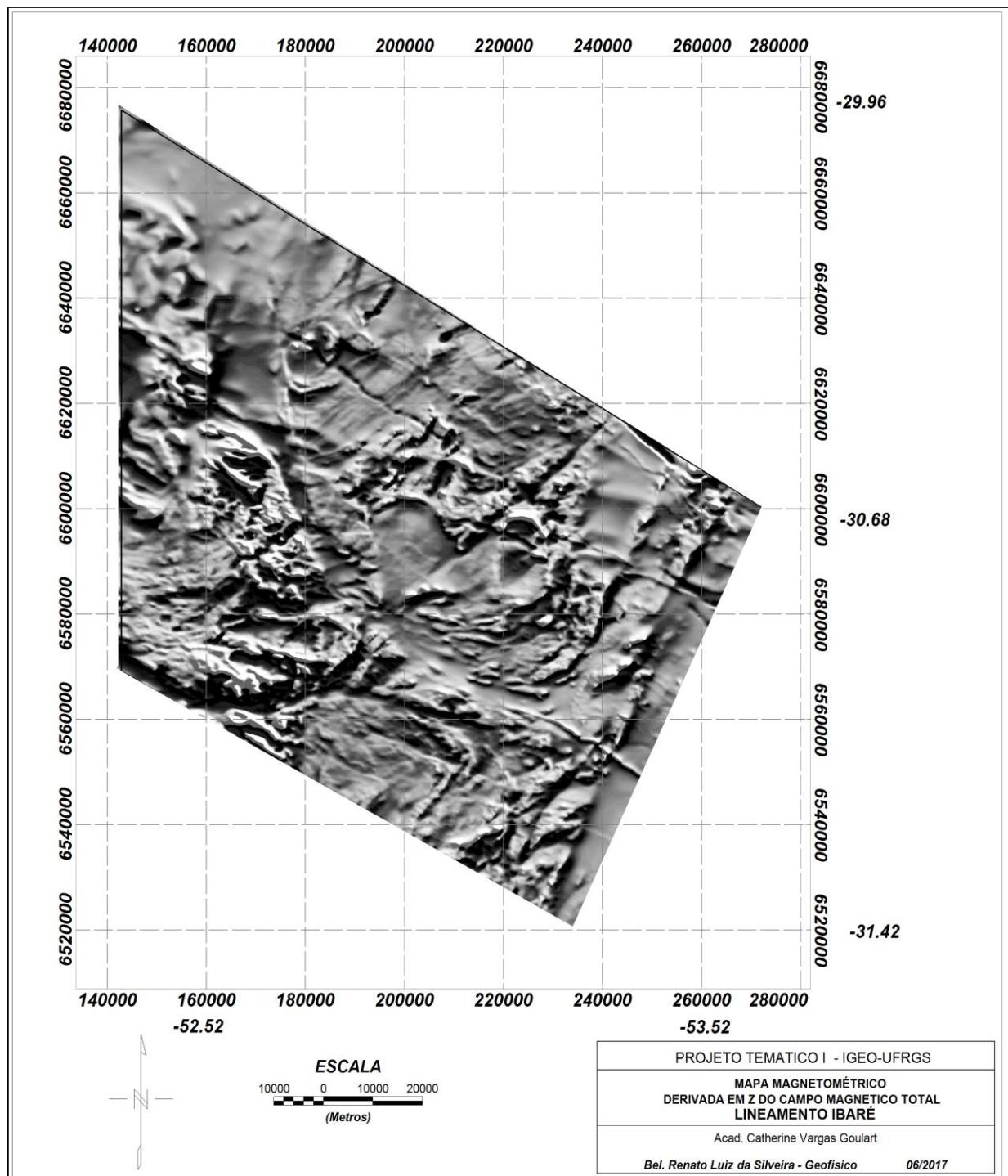
Mapa 14. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em “x” do campo magnético total na área de estudos.



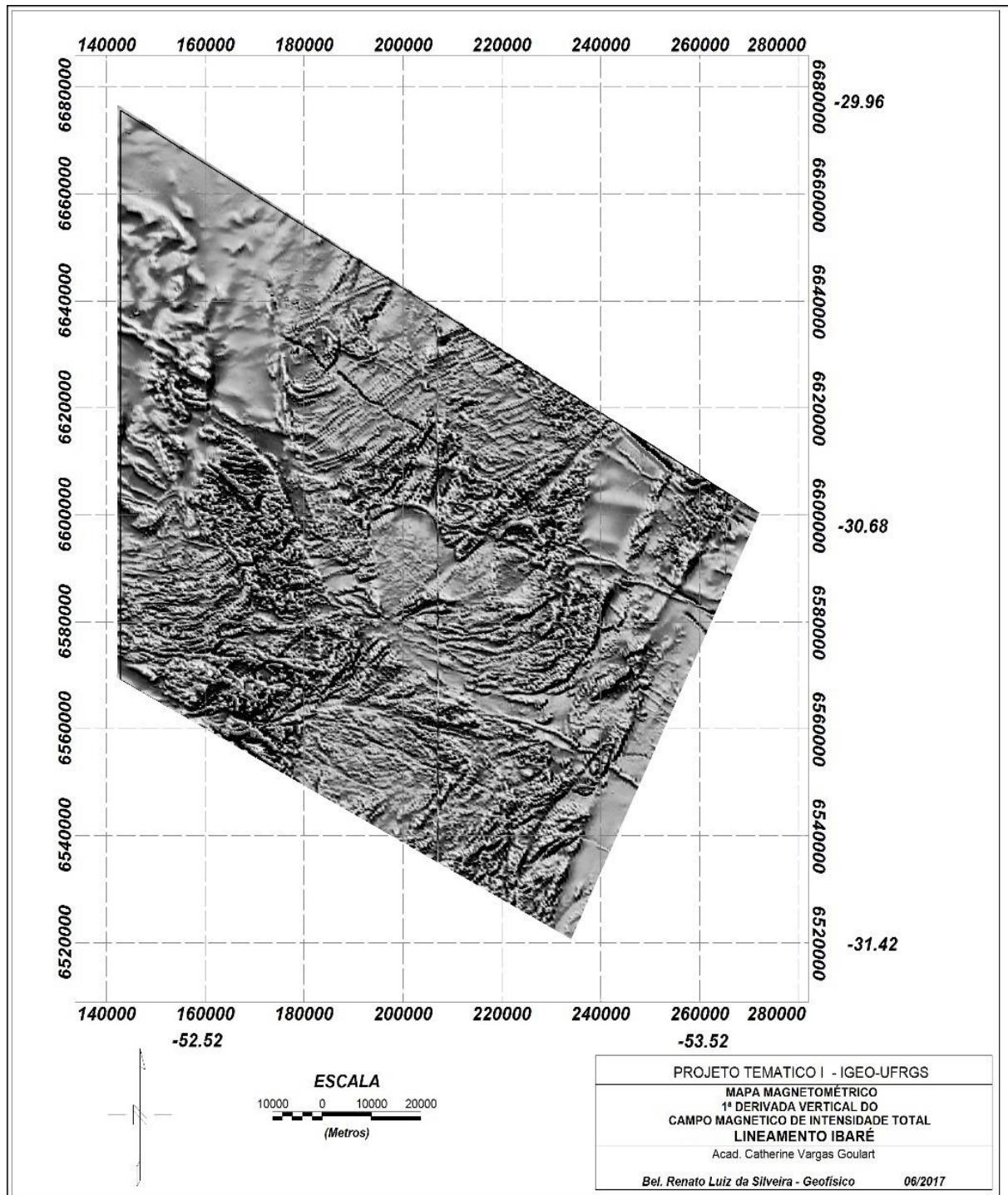
Mapa 15. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em "y" do campo magnético total na área de estudos.



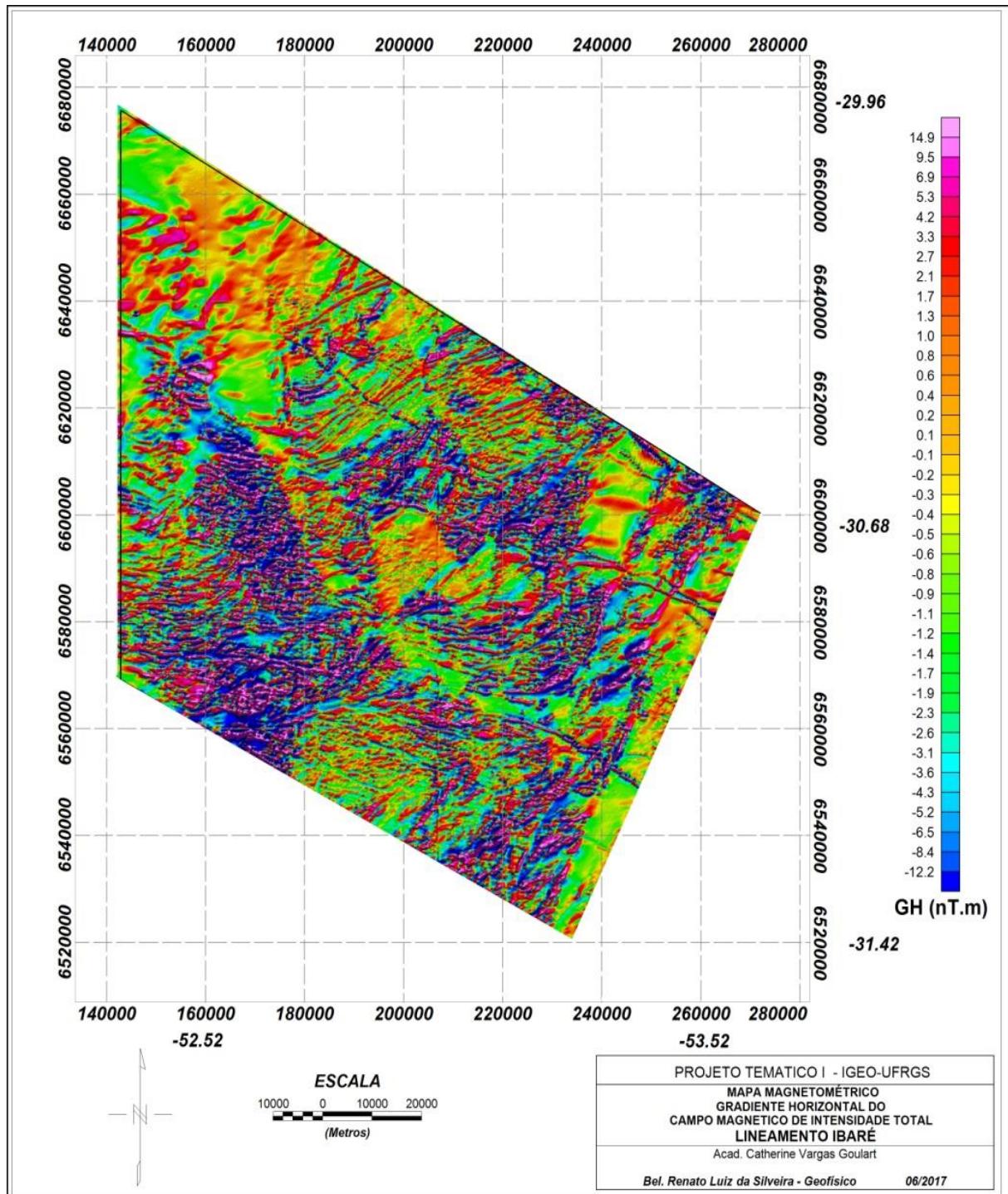
Mapa 13. Mapa magnetométrico da derivada horizontal em "z" do campo magnético total na área de estudos.



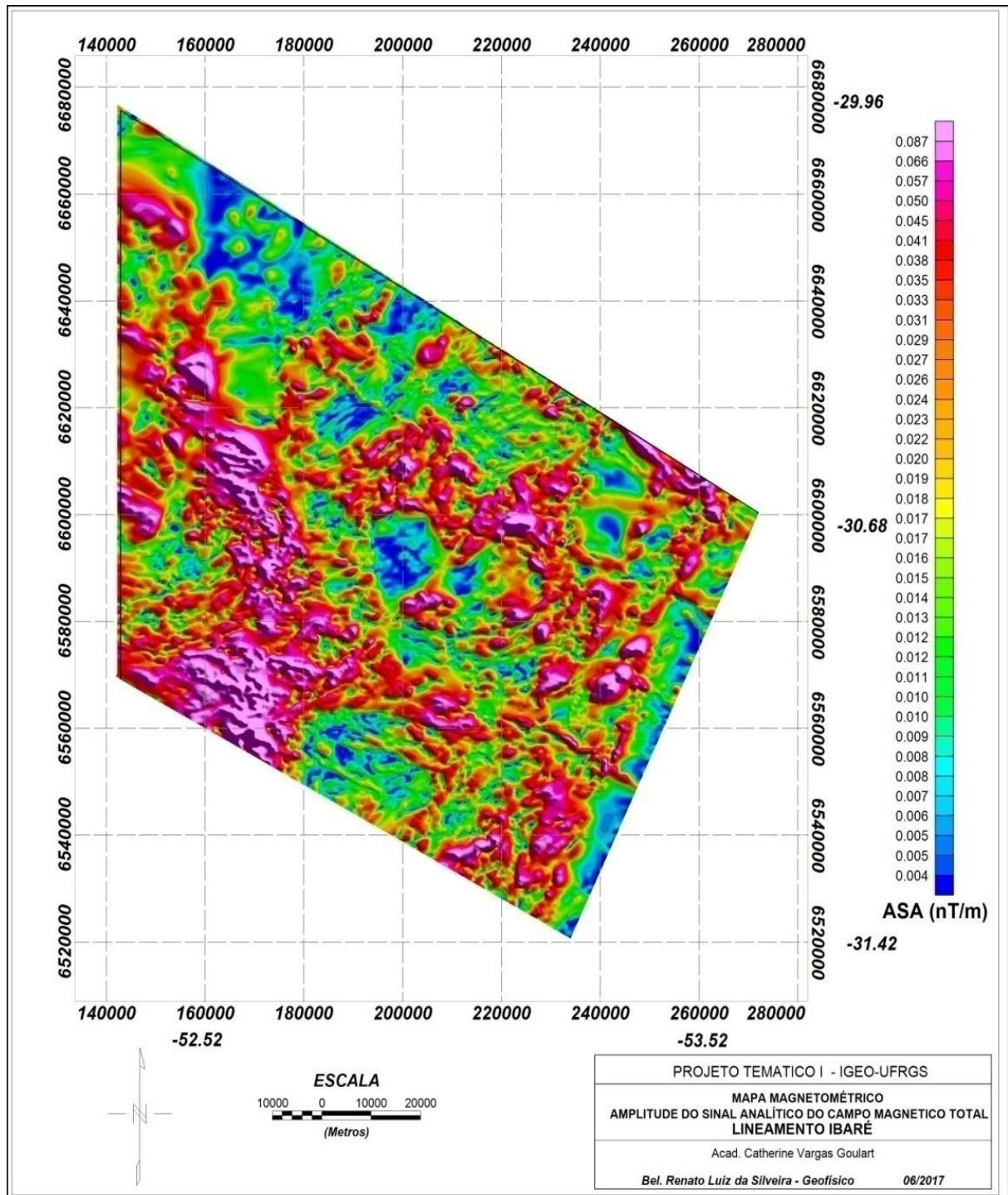
Mapa 17. Mapa magnetométrico da 1^a derivada vertical (1^a DV) do campo magnético total na área de estudos. Promove o realce das fontes magnéticas mais rasas.



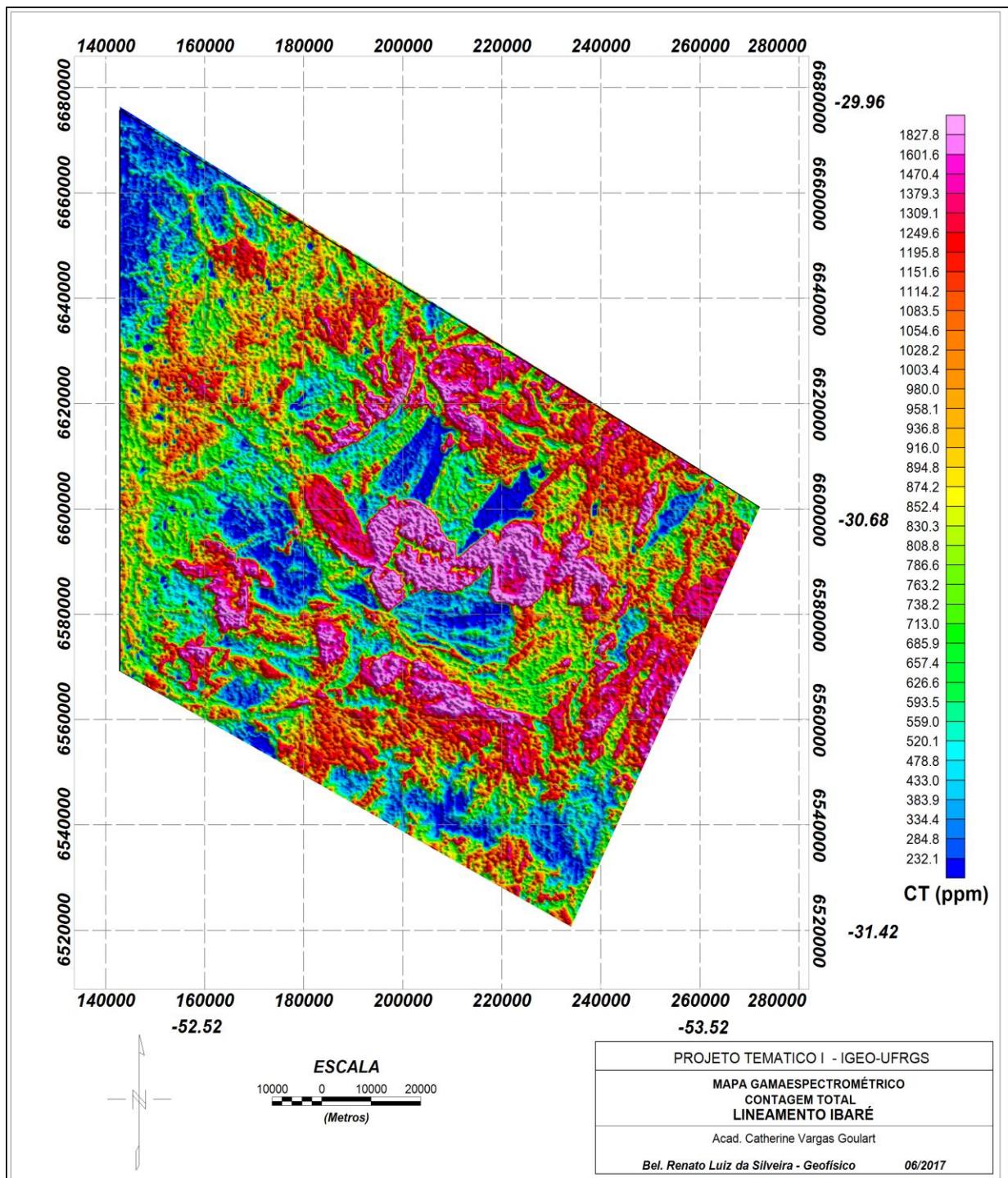
Mapa 18. Mapa magnetométrico do gradiente horizontal do campo magnético de intensidade total da área de estudos.



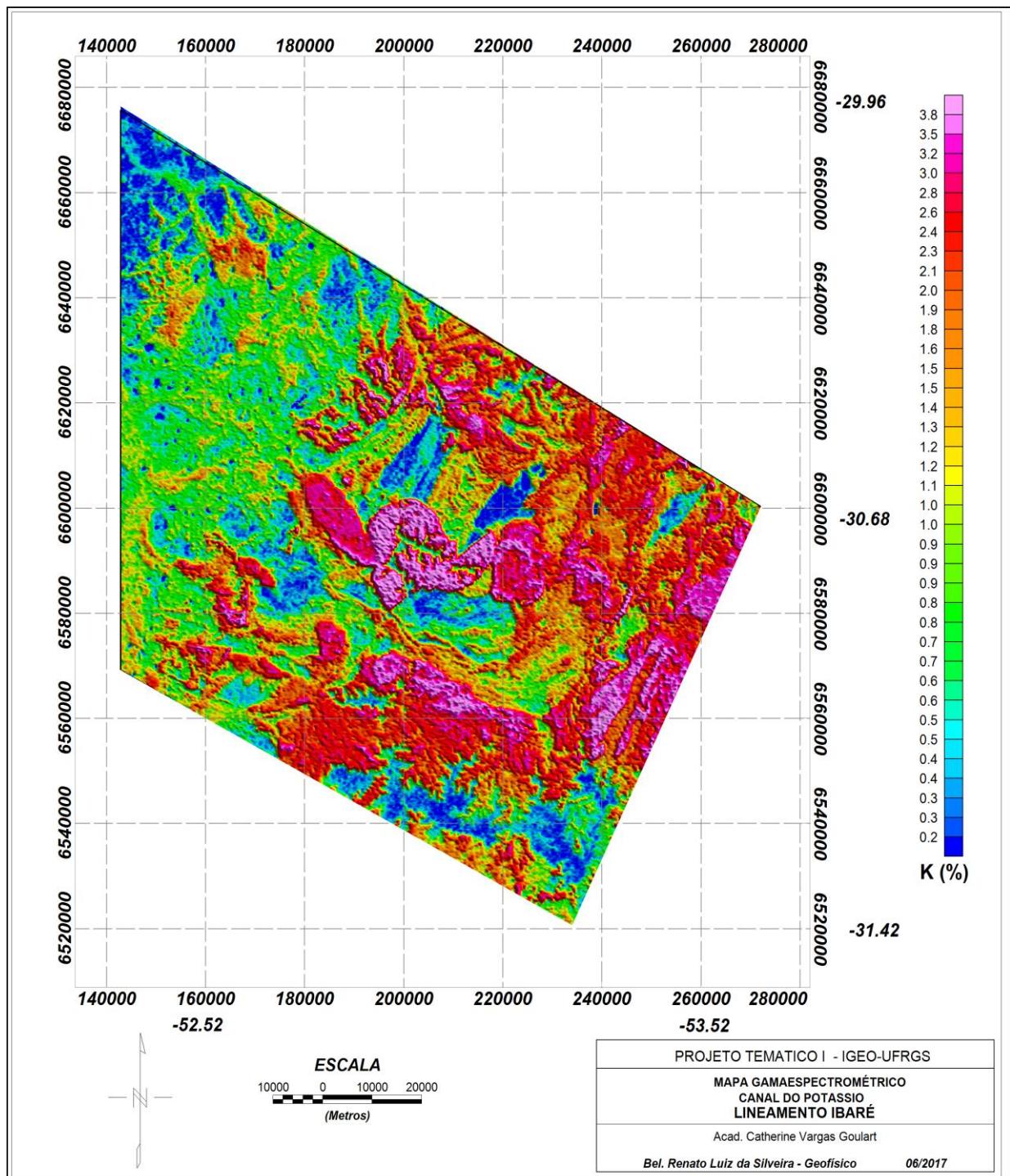
Mapa 19. Mapa magnetométrico da amplitude do sinal analítico (ASA) do campo magnético total da área de estudos.



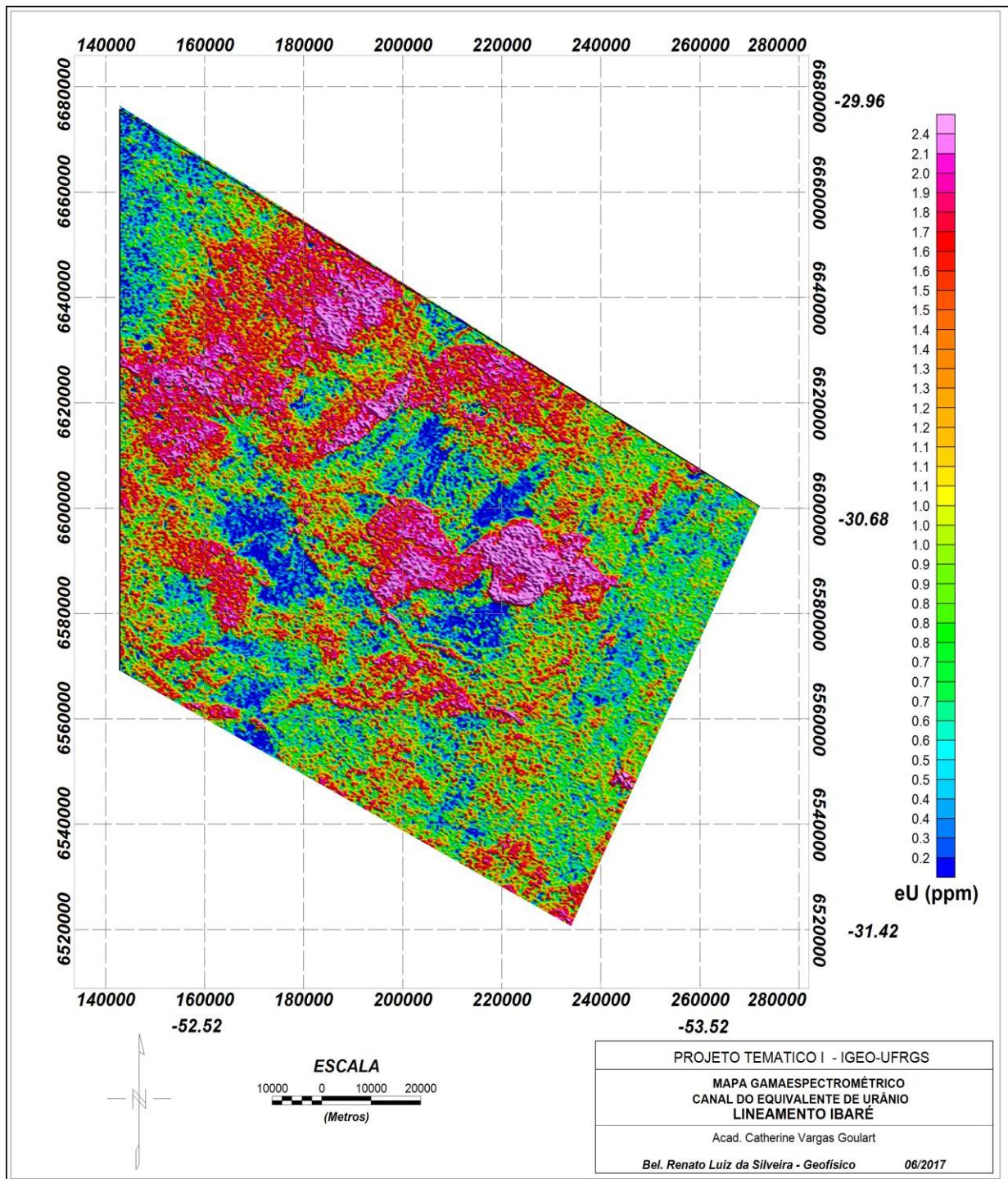
Mapa 20. Mapa gamaespectrométrico da Contagem Total na área de estudos.



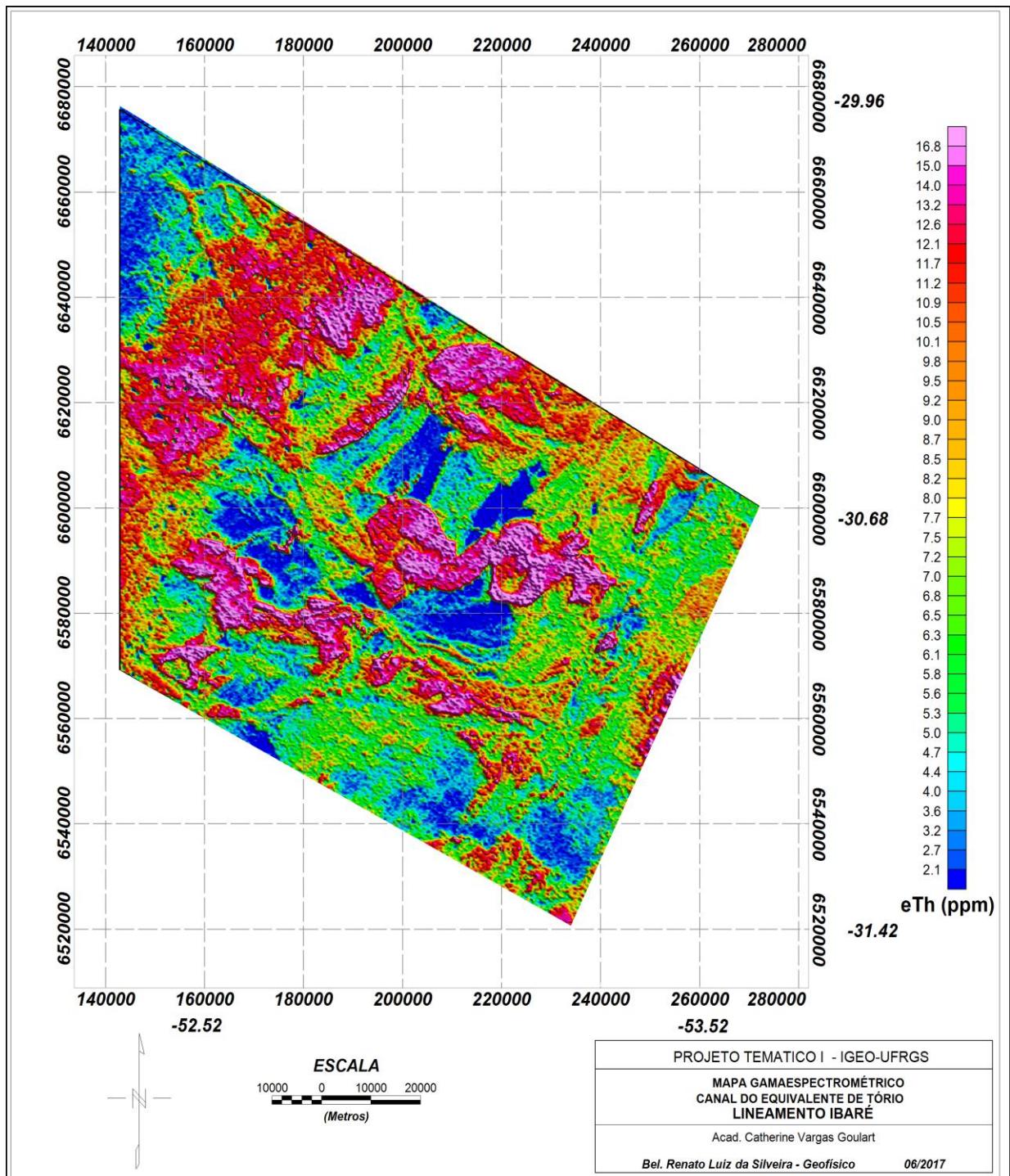
Mapa 21. Mapa gamaespectrométrico do canal do Potássio (K) na área de estudos.



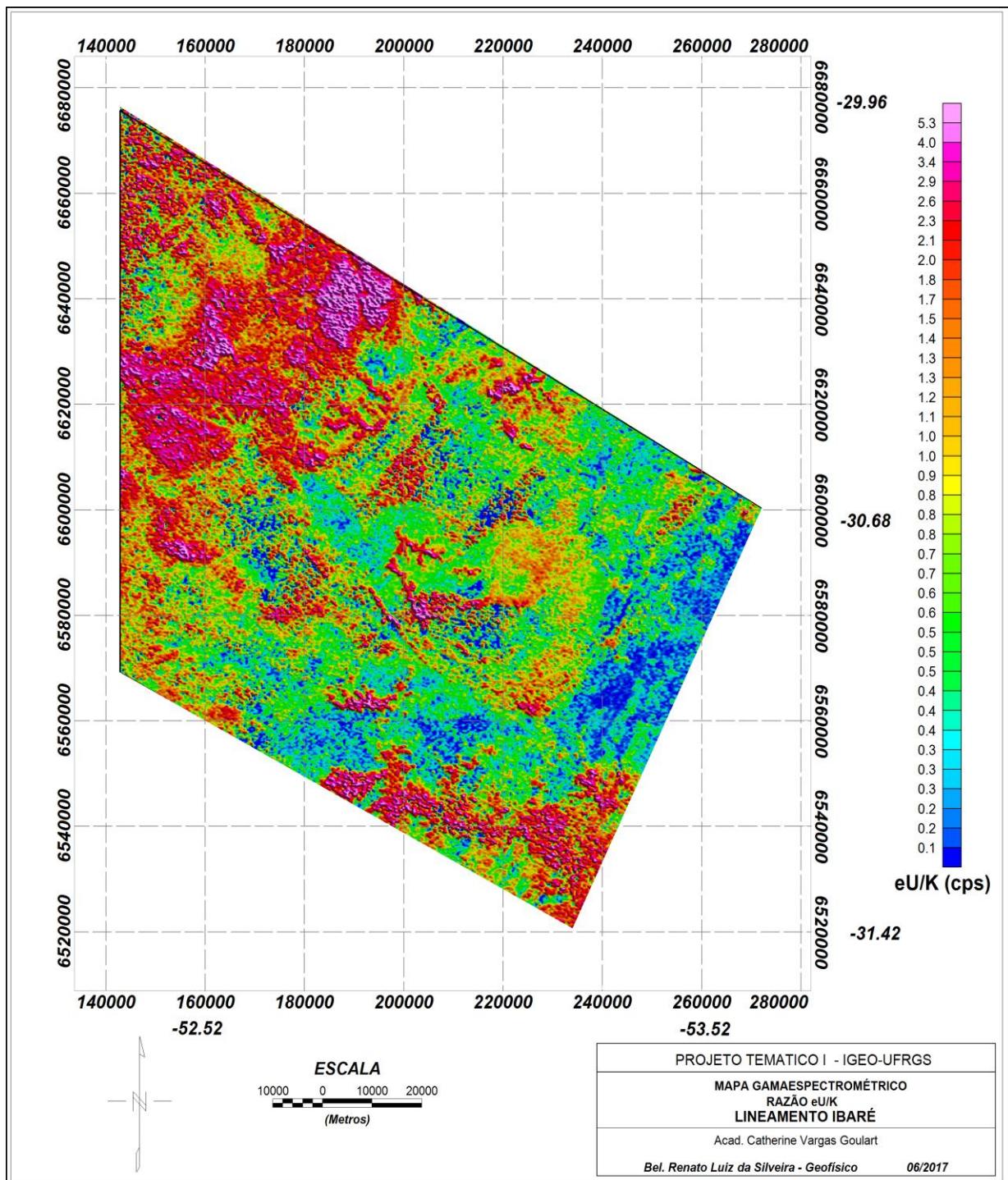
Mapa 14. Mapa gamaespectrométrico do canal do equivalente de Urânio (eU) na área de estudos.



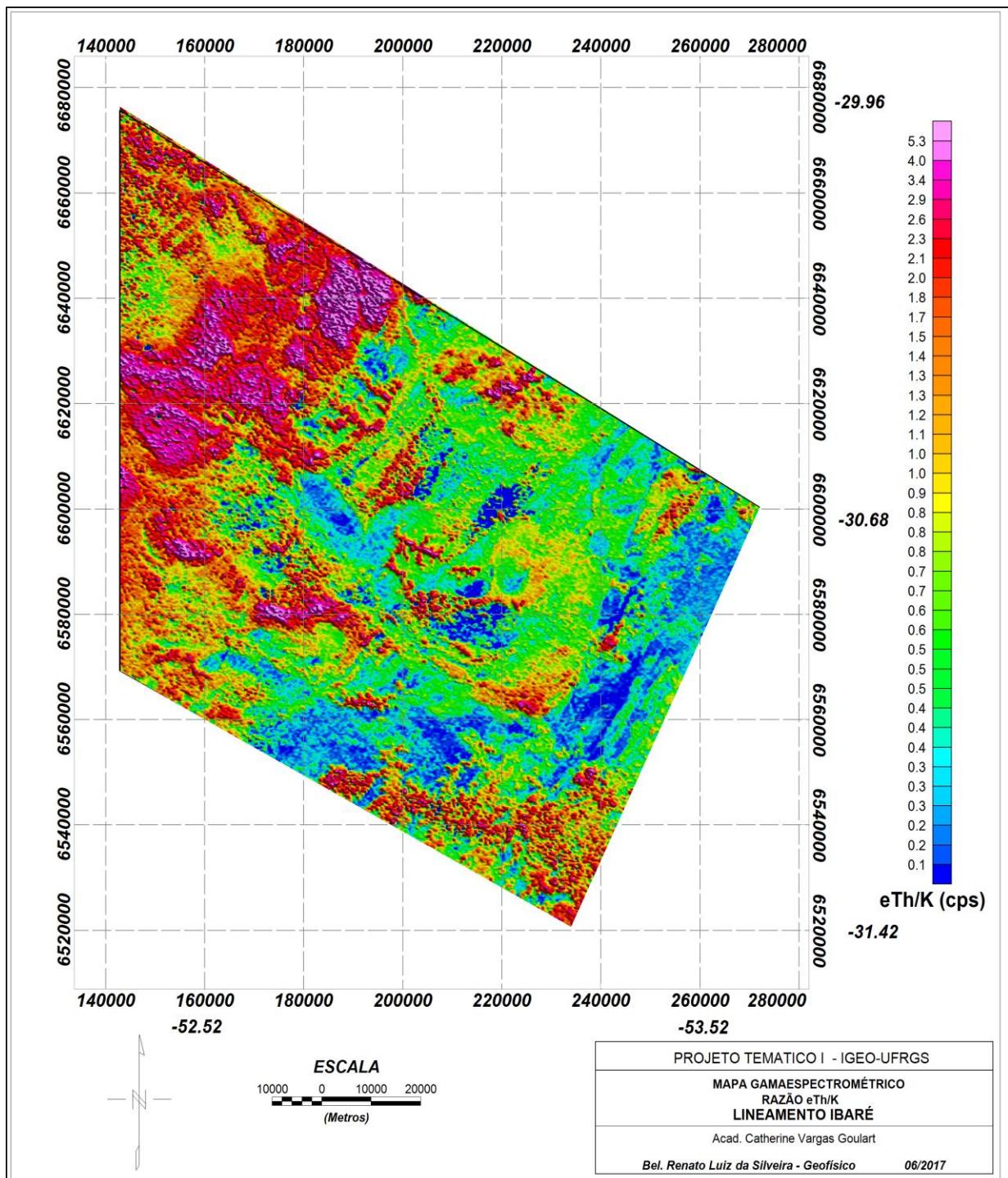
Mapa 23. Mapa gamaespectrométrico do canal do equivalente de Tório (eTh) na área de estudos.



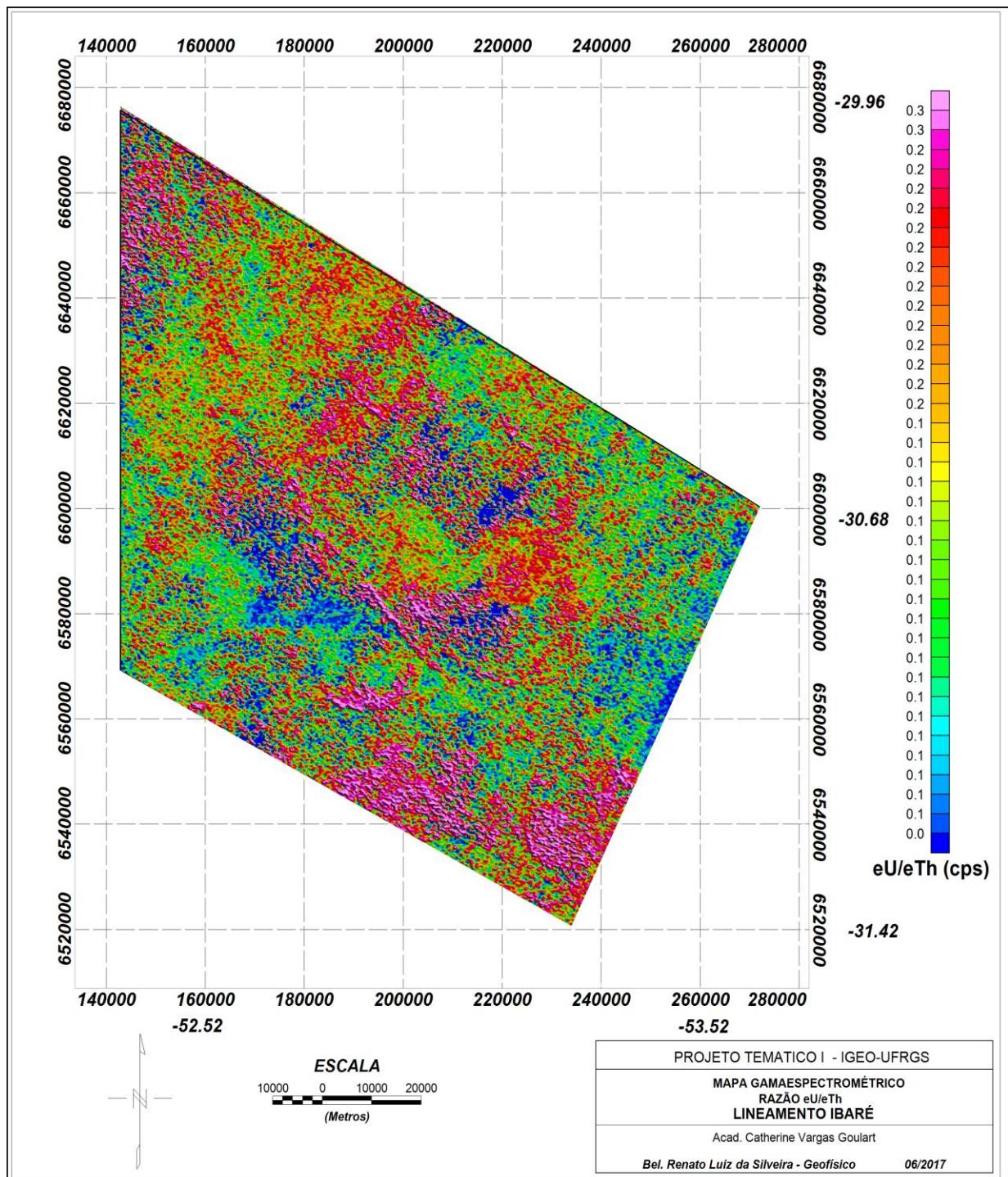
Mapa 24. Mapa gamaespectrométrico da razão eU/K na área de estudos.



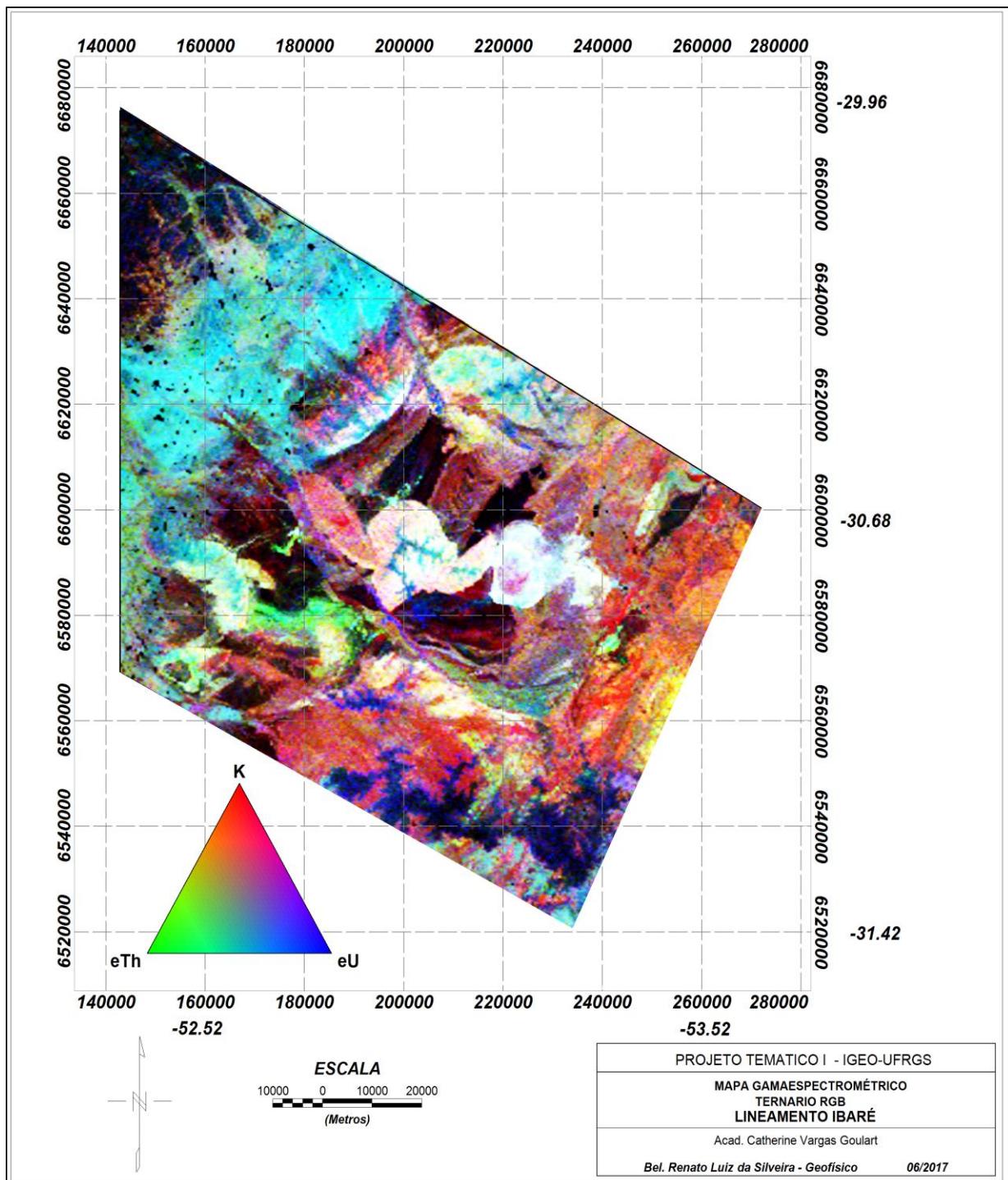
Mapa 25. Mapa gamaespectrométrico da razão eTh/K na área de estudos.



Mapa 26. Mapa gamaespectrométrico da razão eU/eTh na área de estudos.



Mapa 27. Mapa gamaespectrométrico do Ternário (RGB) na área de estudos.



Mapa 28. Mapa gamaespectrométrico do Ternário (CMY) na área de estudos.

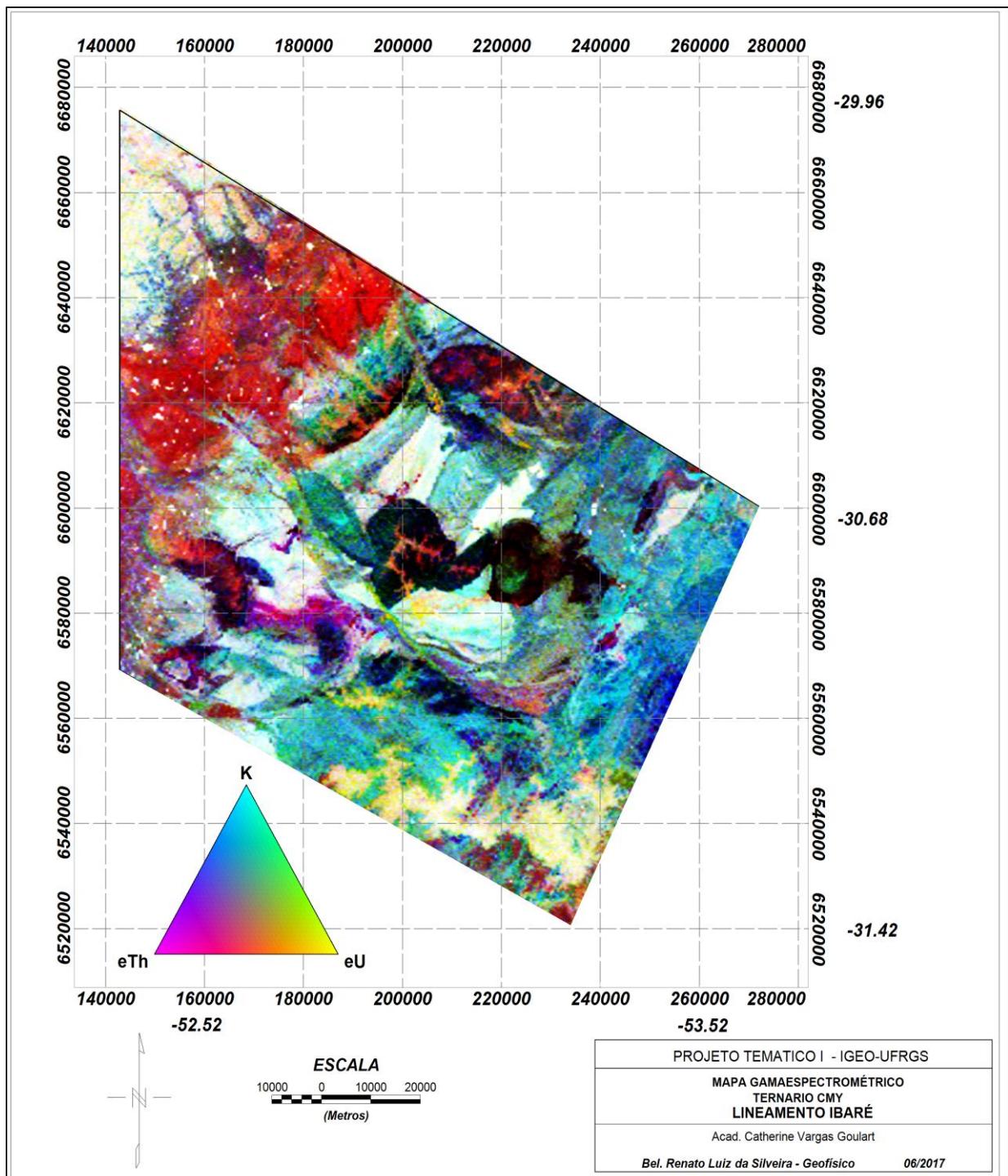
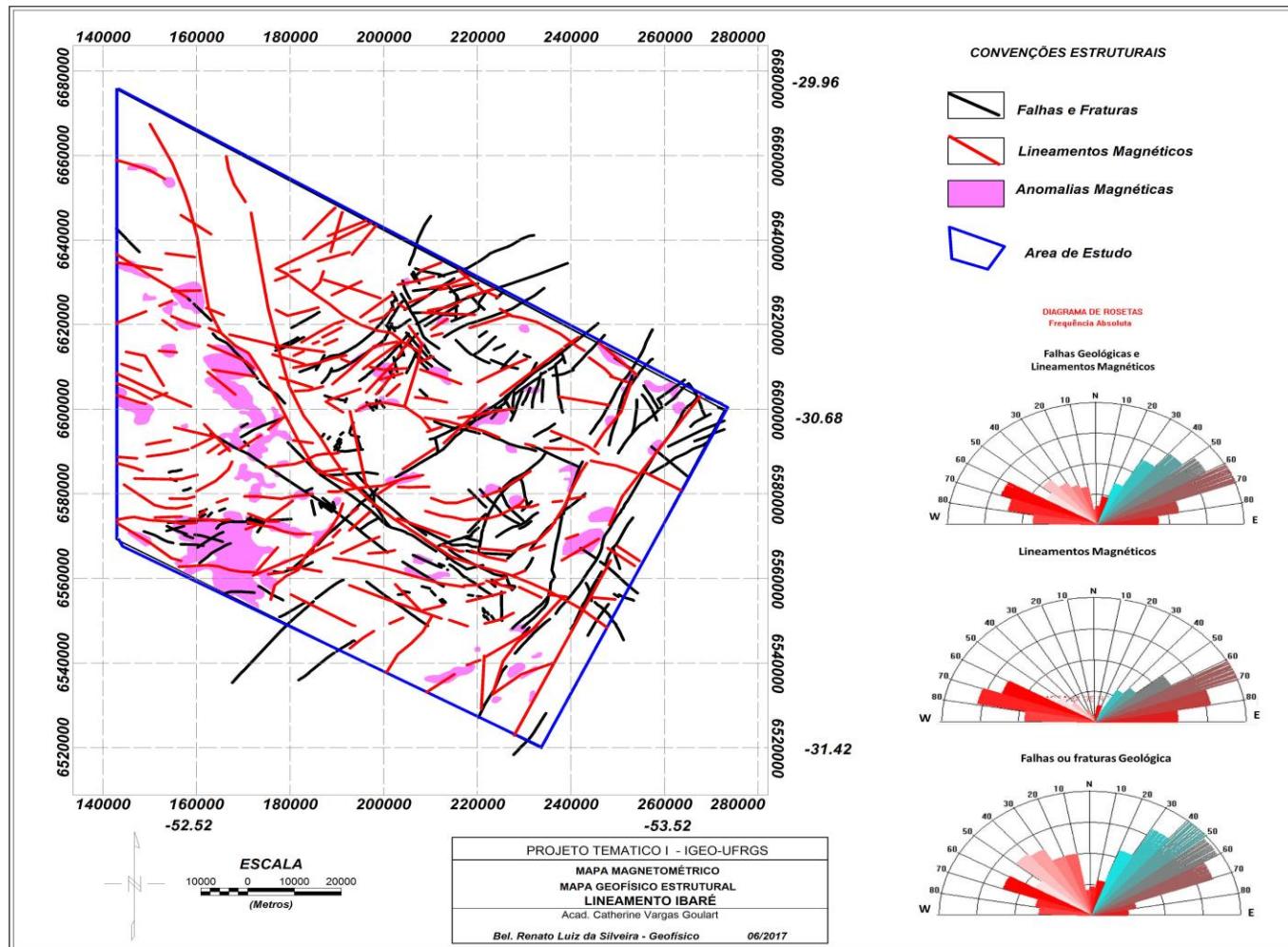


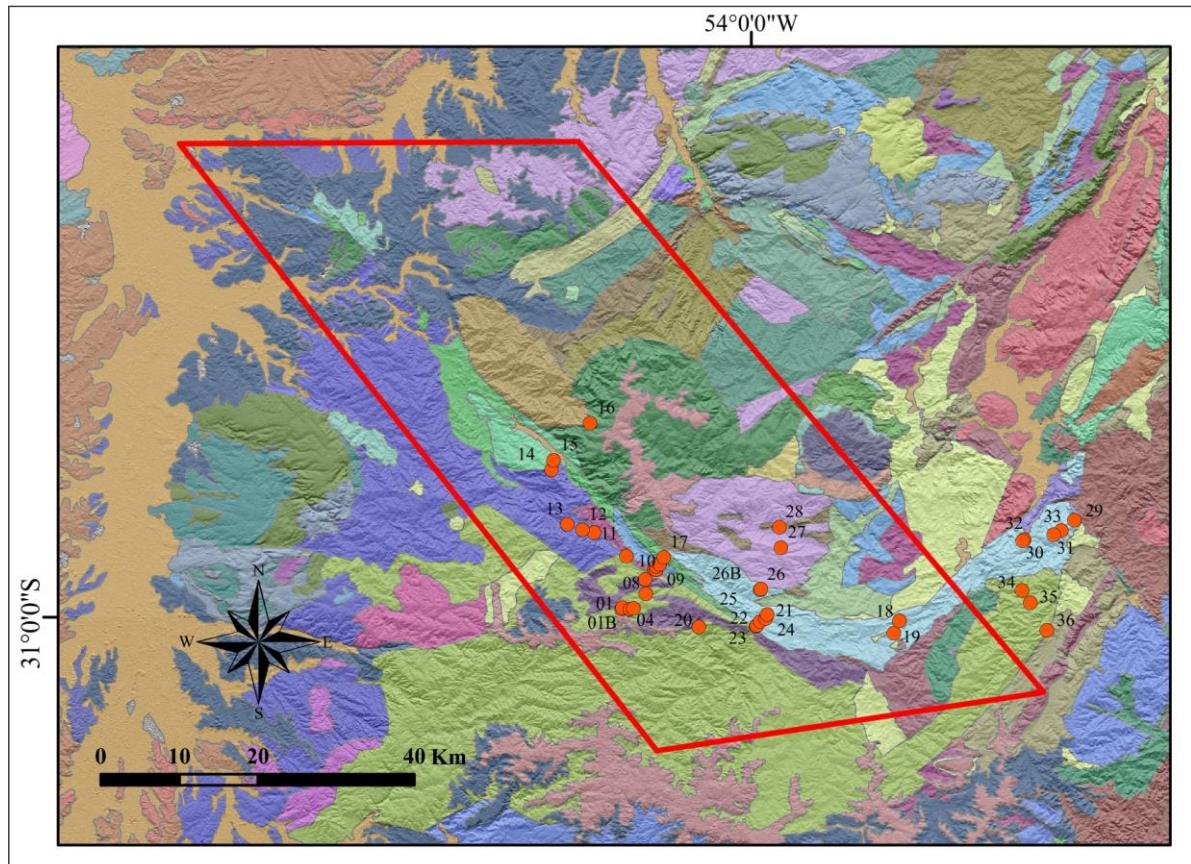
Figura 26. Mapa esquemático preliminar geofísico dos lineamentos magnéticos e morfoestruturais. Diagramas de roseta referentes aos lineamentos apresentados, propostos para a área de estudos.



6.3. Trabalho de Campo

O trabalho de campo permitiu, através do reconhecimento geológico da região (Mapa 29), a identificação de estruturas deformacionais as quais haviam sido observadas previamente nos produtos de sensoriamento remoto, estas foram classificadas como estruturas rúpteis caracterizadas por cristas alongadas com direção preferencial NE-SW onde, algumas destas eram representadas por: afloramentos quebrados em blocos muito pequenos (Fig. 27), blocos de quartzo leitoso (Fig. 28a), blocos de quartzo de falha (Fig. 28b). Também foram observadas estrias de falha, ora subhorizontal (Fig. 29), ora subvertical no CAM, e um sistemas de fraturas de direção N-S (Fig. 29a) e NE-SW (Fig. 29b). A ocorrência desse conjunto de estruturas marca a presença de atividade tectônica de caráter rúptil nesta região, onde não foram encontradas evidências que comprovem a ocorrência de uma zona de cisalhamento dúctil abordada por alguns autores.

Mapa 29. Mapa Geológico com a área de estudos em destaque no polígono vermelho. Os círculos vermelhos marcam os afloramentos observados em campo.



Fonte: Modificado de CPRM, 2007

Figura 27. Afloramento em pequenos blocos alongando na direção NW-SE. Presença de fraturas com direção preferencial NW-SE. Evidência da passagem de uma estrutura rúptil.



Figura 28. a) Blocos de quartzo leitoso alinhados segundo azimute 309°. Estes blocos marcam a passagem de uma estrutura rúptil no local. b) Brecha de falha encontrada em uma crista alongada de direção NW-SE.



Figura 29. Fraturas finas de alto ângulo com direção SW-NE. Presentes nas unidades: a) Formação Maricá e b) nas rochas Complexo Arroio Marmeiro.



Identificadas em campo na região em que ocorre o Lineamento de Ibaré, a Fm Maricá, Grupo Itararé e Formação Rio Bonito foram depositadas sobre o CAM, estas unidades se dispõem em corpos alongados segundo a direção NW-SE orientadas paralelamente ao LI, exceto a Fm Rio Bonito que aparece como uma área isolada aflorante sobre o Grupo Itararé.

Na área de estudos, o Complexo Arroio Marmeiro exibe, muitas vezes, rochas que passaram por retrabalhamento, representado pelo alto ângulo de mergulho (Fig. 30a), veios de quartzo (Fig. 30b) e pela presença de dobras observados nesta unidade. Foram identificados metarenitos, metasiltitos, metapelitos, xistos pelíticos e grafita xistos em corpos tabulares concordantes. Os xistos calci-silicáticos ocorrem em formas isoladas e são marcados pela ocorrência de dobras, nos grafita xistos foram observadas dobras em Chevron (Fig. 31) com plano axial de alto ângulo.

Figura 30. Afloramento em corte de estrada bastante alterado expondo uma unidade do Complexo Arroio Marmeiro composta por metassedimentos de grão fino indicando baixo grau de metamorfismo, e bandamento de baixo ângulo S_x (10/130) marcado pela muscovita. Apresenta intercalação de níveis mais arenosos. Presença de veio de quartzo leitoso na ordem de 15 a 20 cm de espessura que corta a foliação. S_x (69/223) no leito da estrada.



Figura 31. Afloramento na estrada de ferro (trilhos do trem) expondo unidades do Complexo Arroio Marmeiro. Rochas com alto grau de deformação apresentando bandamento com alto ângulo de mergulho. S_b (85/050; 85/030). Ocorrência de Dobras Chevron com plano axial de alto ângulo. PA (32/019); Eixo (19/322).



Como unidade mais antiga da Bacia do Camaquã, a Fm Maricá é o depósito sedimentar mais antigo da área de estudos, onde foram observados localmente conglomerados com litoclástos predominantemente de granitos, xistos pelíticos e subordinadamente monzonitos e riolitos, arenitos que variam de finos a grossos em geral maciços e subordinadamente pelitos. No geral são camadas tabulares ou lenticulares com mergulho geralmente superiores a 30° (Fig. 32).

No Grupo Itararé (Fig. 33) foram observados, na parte basal, paraconglomerados predominantemente maciços, pobramente selecionados, com seixos, blocos e matações de granito, quartzo, riolitos, andesito, gnaisses, xistos e rochas sedimentares. O topo desta unidade compreende siltitos e localmente arenitos finos com estratificação plano-paralela. A Fm Rio Bonito aparece em camadas maciças com geometria tabular representadas pelos conglomerados, e outras possuindo estratificação plano-paralela (Fig. 34) com geometria tabular a lenticular presentes nos arenitos arcóseos médios a grossos.

Figura 32. a) Afloramento que expõe as unidades da Fm Maricá. Intercalação de camadas de folhelho com arenito maciço fino a médio em camadas subverticais. Indicativo de basculamentos de blocos (intensa movimentação) no período sin a pos deposicional. b) Afloramento em lajeado bem alterado que corta a estrada expondo unidades da Formação Maricá composto por arenito fino de cor bege claro com estratificação subvertical bem marcada, S₀ (74/356).



Figura 33. Afloramento de corte de estrada expondo o contato por discordância erosiva e angular entre a Formação Maricá e o Grupo Itararé. A Formação Maricá apresenta camadas finas a grossas compostas por arenitos arcoseanos a arcóseo-líticos, finos a grossos, textural e composicionalmente imaturos, com grãos subangulosos a angulosos e grau de seleção moderado; estrutura maciça, ocasionalmente com estratificação cruzada acanalada e plano-paralela apresentando gradação normal. O Grupo Itararé apresenta na base uma camada espessa (~ 60 cm) de paraconglomerados predominantemente maciços, pobramente selecionados, com seixos (2-20 cm) de granito, quartzo, riolitos, andesito, gnaisses, xistos e rochas sedimentares, no topo, siltitos e arenitos finos com laminação plano-paralela contendo níveis fossilíferos. S0 Fm Maricá (74/234); S0 Gp Itararé (20/042).



Figura 34. Afloramento com rochas da Formação Rio Bonito. Na base ocorrem conglomerados e no topo encontram-se as porções mais finas como, arenito bege médio a grosso com grãos líticos de quartzo e feldspato. S0 (11/256; 09/251).



A partir da coleta de medidas estruturais e introdução destas notações em estereogramas através do software *Stereo 32*, permitiu reunir uma grande quantidade de dados estruturais em um único ambiente onde, foi possível visualizar, através dos pólos dos planos, e interpretar de forma precisa o posicionamento e a orientação das rochas que ocorrem na região do LI. O CAM fazer parte do embasamento, pertencendo ao grupo das unidades mais antigas desta região, em suas rochas concentram-se a maior quantidade de deformação e retrabalhamento, as quais exibem ângulos de mergulho que chegam a 90° (Fig. 35). A Fm Maricá apresenta os maiores basculamentos entre as unidades sedimentares, chegando a ângulos de mergulho das camadas superiores a 80° (Fig. 36a). Isso ocorre por ser a unidade sedimentar mais antiga, que passou por um período maior de deformação e retrabalhamento referente aos episódios de reativação do LI, quando comparada com as demais unidades sedimentares mais jovens.

Por ser mais jovem que a Fm Maricá, com deposição no Permiano Inferior, o Grupo Itararé apresenta camadas basculadas com mergulho geralmente na ordem de 20° (Fig. 36b) devido ao menor período de exposição referente aos episódios de reativação do LI. Como última deposição, as rochas da Fm Rio Bonito, no geral, foram as que apresentaram menor basculamento, com mergulhos inferiores a 20° (Fig. 36c), decorrente devido aos eventos episódicos de reativação mais jovens.

A coleta de dados estruturais referente as fraturas que ocorrem na área de estudos mostram um predomínio direcional N-SE e NE-SW (Fig. 37a, b), o que infere numa ocorrência maior de rochas com direção NW-SE nesta região, visto que as fraturas são estruturas que atuam ortogonalmente a posição das camadas.

Os dados estruturais apresentados neste trabalho são dados compilados, coletados durante o trabalho de campo realizado para a elaboração desta monografia, e dados levantados através do Mapeamento Geológico UFRGS (2005) (Mapa 30), do projeto Coxilha do Tabuleiro. Já os dados estruturais referentes às fraturas são dados coletados durante a realização do trabalho de campo do presente trabalho.

Figura 35. Estereograma das estruturas planares (camadas) referente as unidades do Complexo Arroio Marmeiro. Pólos da foliação evidenciando o médio a alto ângulo de mergulho e direção das camadas presentes nesta unidade. N é o número total de medidas coletadas. (Rede Equiárea, hemisfério inferior)

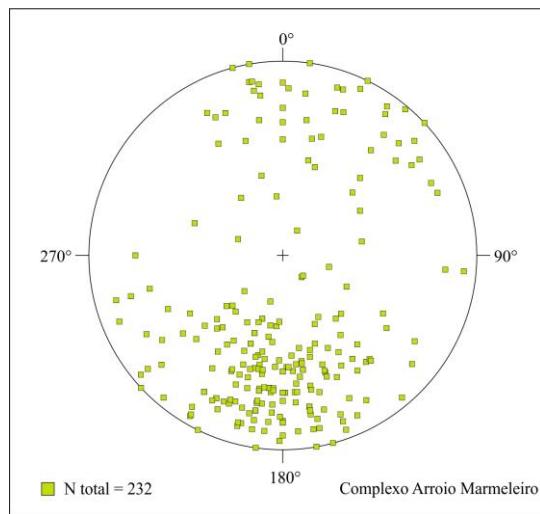


Figura 36. Estereograma das estruturas planares das unidades: a) Formação Maricá, b) Grupo Itararé, c) Formação Rio Bonito. Pólos da foliação que evidenciam o médio a alto ângulo de mergulho e direção das camadas presentes nestas unidades. N é o número total de medidas coletadas. (Rede Equiárea, hemisfério inferior)

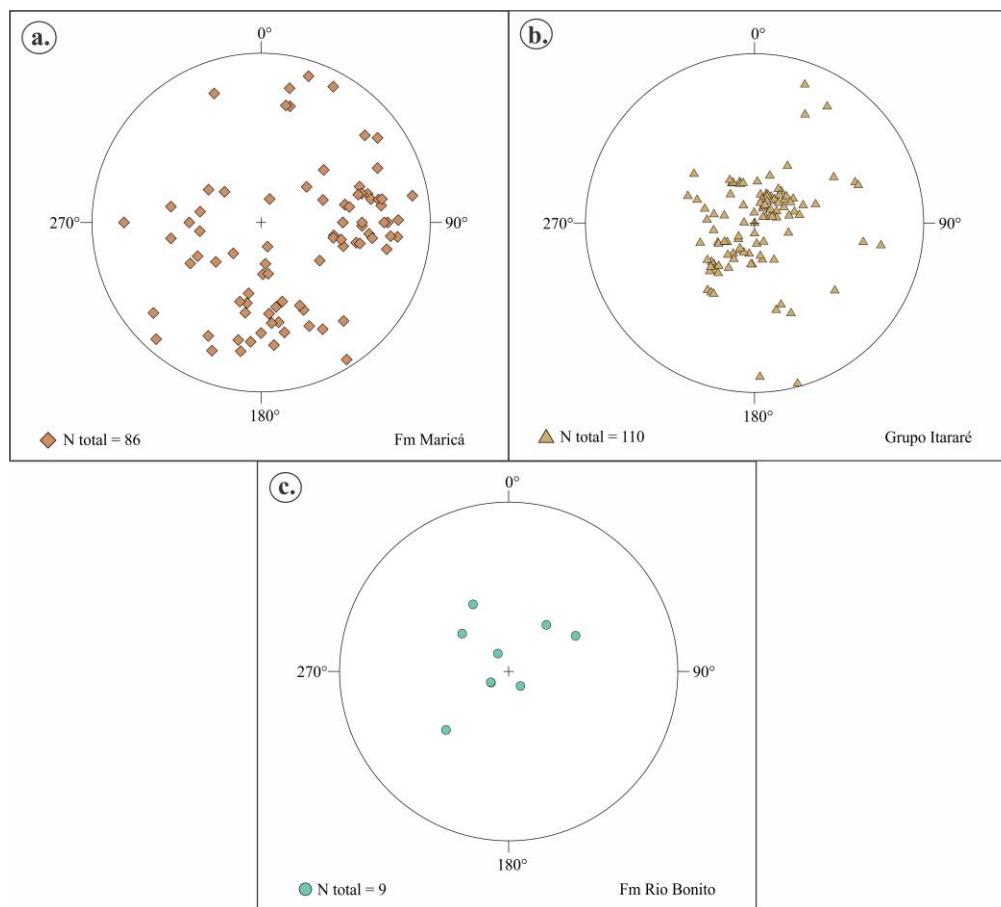
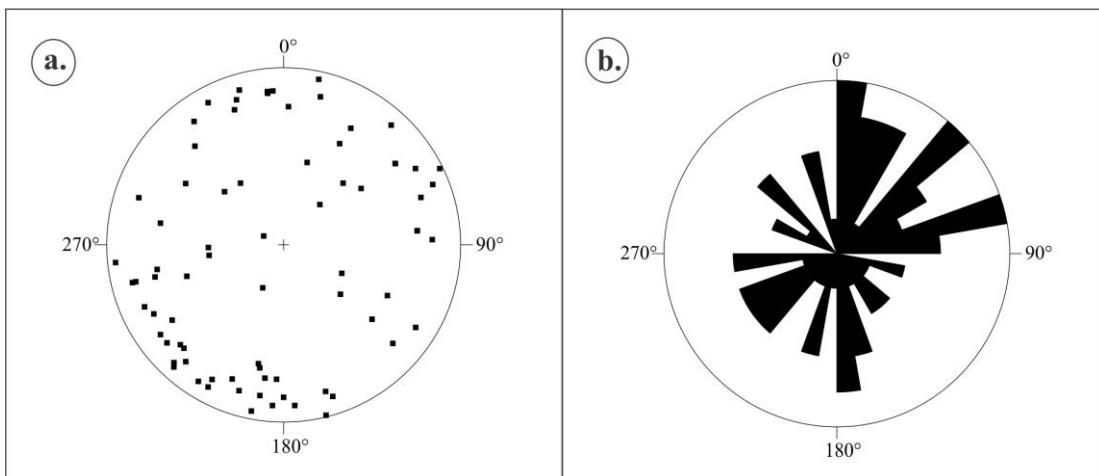
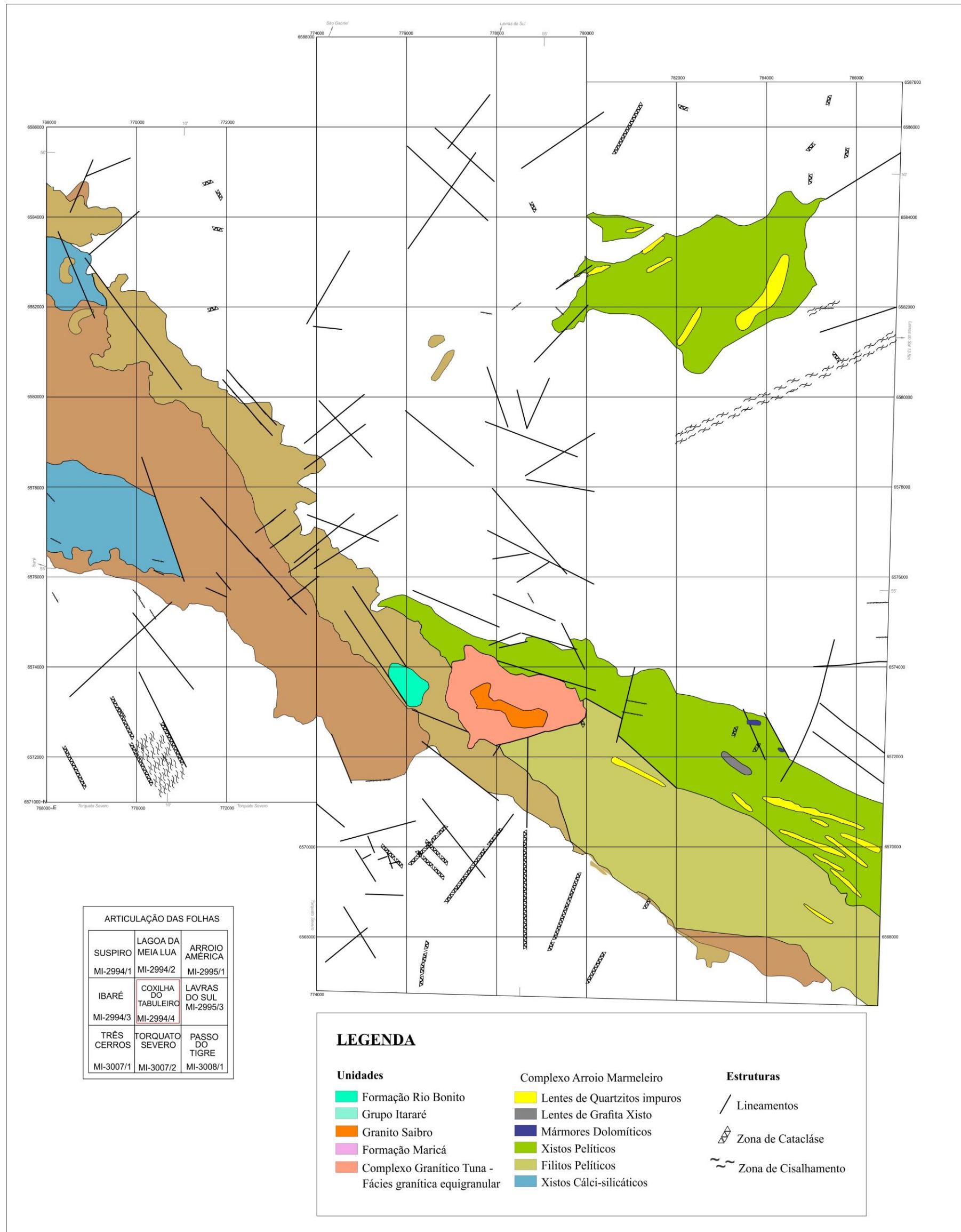


Figura 37. a) Estereograma dos pólos dos planos das fraturas decorrentes na área chave. b) Diagrama de roseta da frequência absoluta referente as fraturas coletadas em campo (Folha Coxilha do Tabuleiro). Mostra um predomínio direcional N-S e SE-NW. N é o número total de medidas coletadas. (Rede Equiárea, hemisfério inferior)



Mapa 30. Mapa geológico de parte da Folha Coxilha do Tabuleiro na escala 1/25.000. Mapeamento em detalhe realizado por UFRGS 2005 que permite visualizar a presença de unidades alongadas na direção NW-SE afetadas pelo Lineamento de Ibaré nesta região.



Fonte: UFRGS, 2005

7. DISCUSSÕES

Lineamentos são feições geomorfológicas/morfoestruturais que marcam no relevo a existência de estruturas em subsuperfície, ou seja, são o reflexo em superfície de estruturas tectônicas. Estes geralmente são representados por linhas contínuas de caráter retilíneo ou levemente curvo, mas quando a escala de observação é modificada, podem promover interpretações distintas (VENEZIANI, 1987).

Um lineamento quando observado em menor escala (1/750.000), é representado por uma única linha, mas quando o mesmo for observado em maior escala (1/25.000), este geralmente será representado por um conjunto de linhas paralelas a sub-paralelas entre si, as quais juntas podem constituir uma feição de escala regional observável por inteiro somente em menor escala (O'LEARY *et al.*, 1979). Contudo, a escala de observação possui um papel de extrema importância na identificação e interpretação dos lineamentos, onde, a identificação em maior quantidade corrobora para uma interpretação com maior fidelidade, mas estes podem representar tanto estruturas tectônicas de caráter rúptil quanto de caráter dúctil, sendo esta distinção possível somente através do trabalho de campo onde as rochas afetadas pelos lineamentos registram o caráter estrutural do mesmo.

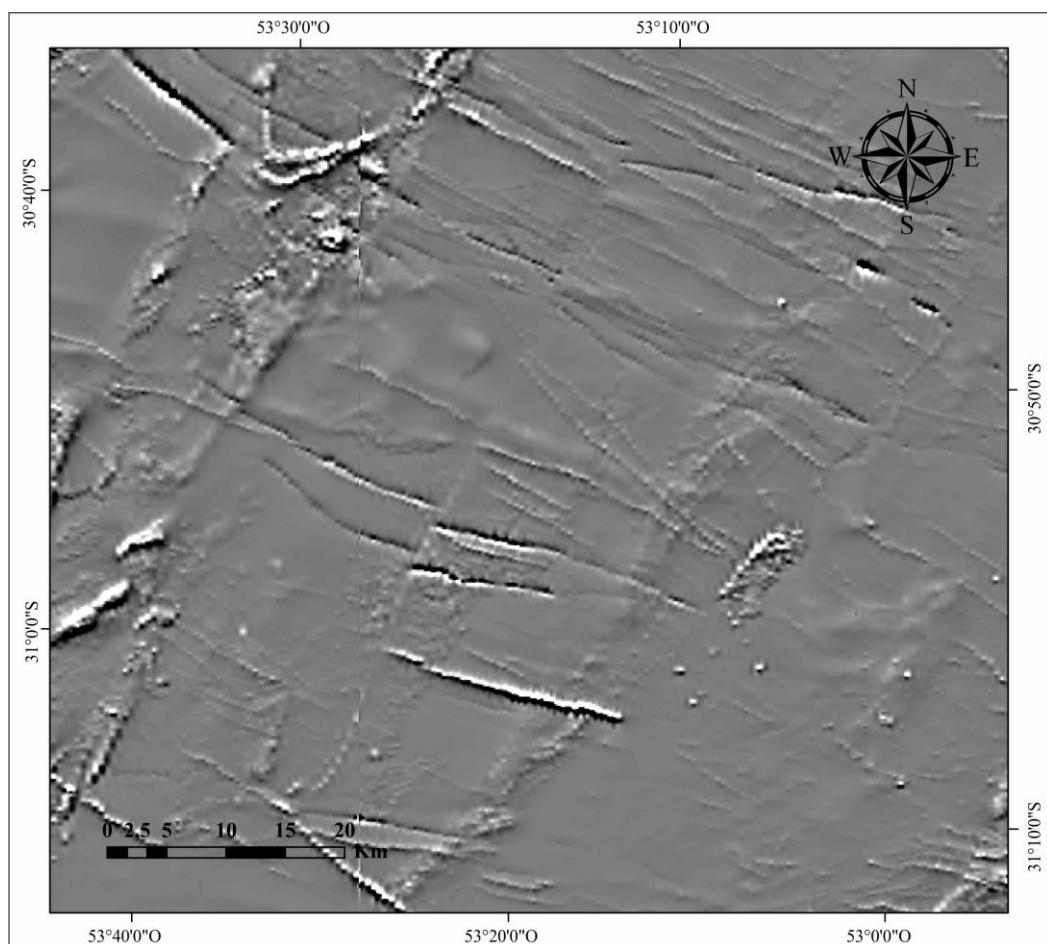
O Lineamento de Ibaré é uma feição de escala regional a qual na maioria dos casos, está representada nos mapas geológicos como uma linha curva contínua, ora posicionada no limite entre os terrenos Taquarembó e São Gabriel, ora inserida no Terreno São Gabriel, sendo este posicionamento correlacionado diretamente com o caráter geológico dessa feição que, dependendo da interpretação do autor, esta acaba por ser posicionada em locais distintos dentro do Esrg.

O conjunto de dados alcançados através do sensoriamento remoto e da aerogeofísica (campo magnético anômalo e primeira derivada vertical) foram fundamentais e eficientes na identificação e extração dos lineamentos, estes relativos à expressão das estruturas tectônicas em superfície e profundidade presentes na área de estudos. O sensoriamento remoto permitiu reunir, de forma quantitativa, um número significativo de lineamentos geomorfológicos, o que corroborou na delimitação do LI.

A interpretação dos mapas aerogeofísicos auxiliou de forma quantitativa, mostrando claramente a existência de duas estruturas importantes na região do LI, mas esta metodologia também se mostrou qualitativa onde, em específico, o mapa da primeira derivada vertical destacou de forma precisa, fora da região do LI, estruturas em subsuperfície que se

apresentavam de forma interrupta, expondo o momento em que estas são afetadas por uma zona de cisalhamento, a qual promove um deslocamento, resultando no escalonamento das mesmas (Mapa 31).

Mapa 31. Mapa magnetométrico da 1^a Derivada Vertical. Zona de Cisalhamento na região da Dorsal de Canguçu.



A atividade de campo elucidou alguns dos questionamentos relacionados ao caráter estrutural das feições previamente observadas, onde estas encontraram-se afetando as unidades do CAM e, em sua maior parte, as unidades da Fm Maricá, do Gp Itararé e Fm Rio Bonito. Os dados coletados em campo apontaram que as unidades mais antigas mostram-se mais basculadas que as demais onde o CAM, com idades neoproterozoicas, apresenta os maiores basculamentos, e a Fm Rio Bonito, do permiano inferior, apresenta os menores. Estes dados atestam que as unidades da Fm Maricá, do Gp Itararé e Fm Rio Bonito recobrem o LI, o qual mostra-se presente devido aos seus episódios de reativações que perturbaram estas unidades e retrabalham as rochas do CAM.

Denominado formalmente de Falha Suspiro-Linhares por Ribeiro *et al.*, (1966), de acordo com Senhorinho (2012), o LI pode ser enquadrado no sistema de falhas proposto por Picada (1971), constitido por falhas de direções N65W e N75W (Azimutes 295° a 285°), determinando uma zona (LAUX *et al.*, 2012, CAMOZZATO *et al.*, 2012). A estruturação e evolução tectônica da região em que ocorre esta feição, segundo Ruppel (2010), corresponde a construção e estruturação do mesmo, o qual é constituído por uma faixa de lineamentos paralelos e subparalelos de direção NW-SE que pode ser considerado uma zona de cisalhamento dúctil com cinemática transcorrente destral e reativações sinistrais, que separa o Terreno São Gabriel do Terreno Taquarembó (LUZARDO e FERNANDES, 1990).

UFRGS (2016) distinguiu através do traçado de lineamentos em anaglifos, duas estruturas sub-paralelas de caráter significativo: (1) uma zona de cisalhamento de direção NW na região nordeste da folha de Ibaré, e (2) uma zona de cisalhamento de direção E-W na porção sul desta folha. A zona de cisalhamento de direção NW foi denominada por UFRGS (2016) como Zona de Cisalhamento Ibaré. Esta zona desenvolve uma foliação milonítica subvertical de cinemática transcorrente desenvolvida sobre as rochas do Complexo Arroio Marmeiro. A partir da análise estrutural do mapeamento definiu-se que esta trama milonítica se desenvolveu a partir da progressão da deformação, e que é encontrada de forma pontual nesta unidade.

Na porção sul desta folha, a ocorrência de milonitos marcou a presença de uma zona de cisalhamento de direção E-W, de cinemática transcorrente destral (UFRGS, 2016) que afeta uma unidade granítica deformada, os Granitoides Arroio do Salso (GAS – UFRGS, 2015). Feições microestruturais apresentadas por UFRGS (2016) indicam temperaturas de deformação em condições de fácies xistos-verdes. Mais a sul é encontrada outra zona de cisalhamento que afeta os GAS e localmente o embasamento gnáissico. A Zona de Cisalhamento Afonso Jacinto (ZCAJ) definida por Padilha (2016) tem direção ENE-WSW com ângulos de mergulho que variam de médio a alto ângulo para sul. Lineações de estiramento de alto *rake* sugerem um caráter *dip-slip* com indicadores cinemáticos apontando movimento de topo para NW. Microestruturas analisadas pelo autor indicam uma temperatura de deformação em condições de fácies anfibolito médio o que não é compatível com a trama deformacional registrada nas rochas afetadas pelo LI.

A existência de uma feição de direção NE-SW observada no mapa aerogeofísico da primeira derivada vertical, na porção norte da folha Vila Afonso Jacinto onde encontra-se a ZCAJ estudada por Padilha (2016), atravessa a folha Ibaré na porção sul nas proximidades do

GAS. A estrutura apresenta uma correlação com as zonas de cisalhamento citadas, pois esta percorre as regiões onde encontram-se os milonitos, permitindo estes constituírem parte de uma única zona de cisalhamento, representada por esta estrutura. Estendendo-se de forma contínua até o LI, onde não encontra-se mais visível, a estrutura retorna logo após o mesmo, e através das folhas Coxilha do Tabuleiro e Arroio América.

A integração dos resultados provenientes dos produtos gerados através das metodologias adotadas resultou em um mapa (Mapa 32) onde todas as feições previamente identificadas foram sobrepostas. Essa integração permitiu correlacionar a ocorrência de importantes estruturas tectônicas decorrentes na porção sudoeste do ESrg, as quais são responsáveis pela configuração de uma feição de escala regional, o Lineamento de Ibaré.

A técnica de vetorização possibilitou a extração dos traços retilíneos ou suavemente curvos referentes as feições já identificadas, o que permitiu a representação da frequência absoluta e o predomínio direcional destas feições em diagramas de roseta (Fig. 37). Assim, foi possível avaliar o somatório de todos os vetores destas feições, que resultaram no predomínio direcional NW-SE evidenciando sua correlação com o LI.

Com base na integração dos resultados e interpretação dos mesmos foi possível delimitar o Lineamento de Ibaré (Mapa 33) o qual apresenta-se como uma zona com variação lateral, que representa a colisão entre o Cráton Rio de La Plata e o Orógeno São Gabriel para alguns autores como (CHEMALE JR., 2000, HARTMANN *et al.*, 2007) e para outros delimita parcialmente esta colisão (Fernandes *et al.* 1995a, b).

Mapa 32. Mapa de integração dos resultados de sensoriamento remoto, aerogeofísicos e geologia regional da área de estudos. Em amarelo destacam-se os lineamentos identificados nos produtos de sensoriamento remoto. Em vermelho destacam-se os lineamentos magnéticos identificados nos produtos aerogeofísicos.

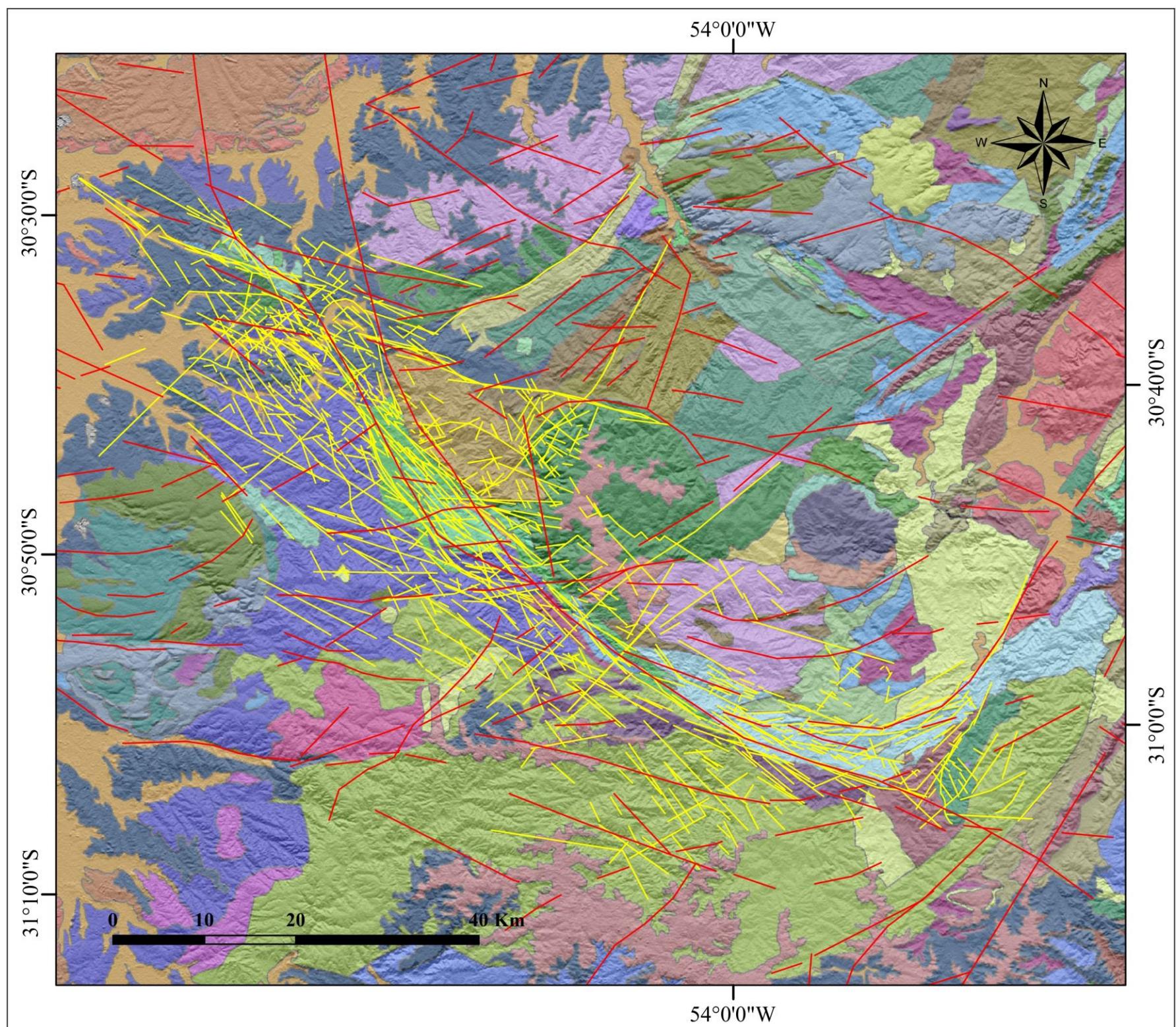
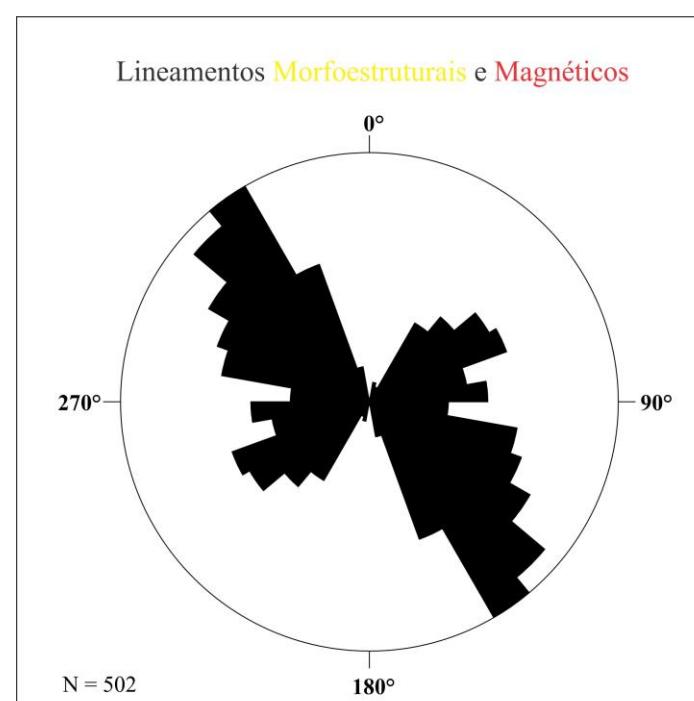
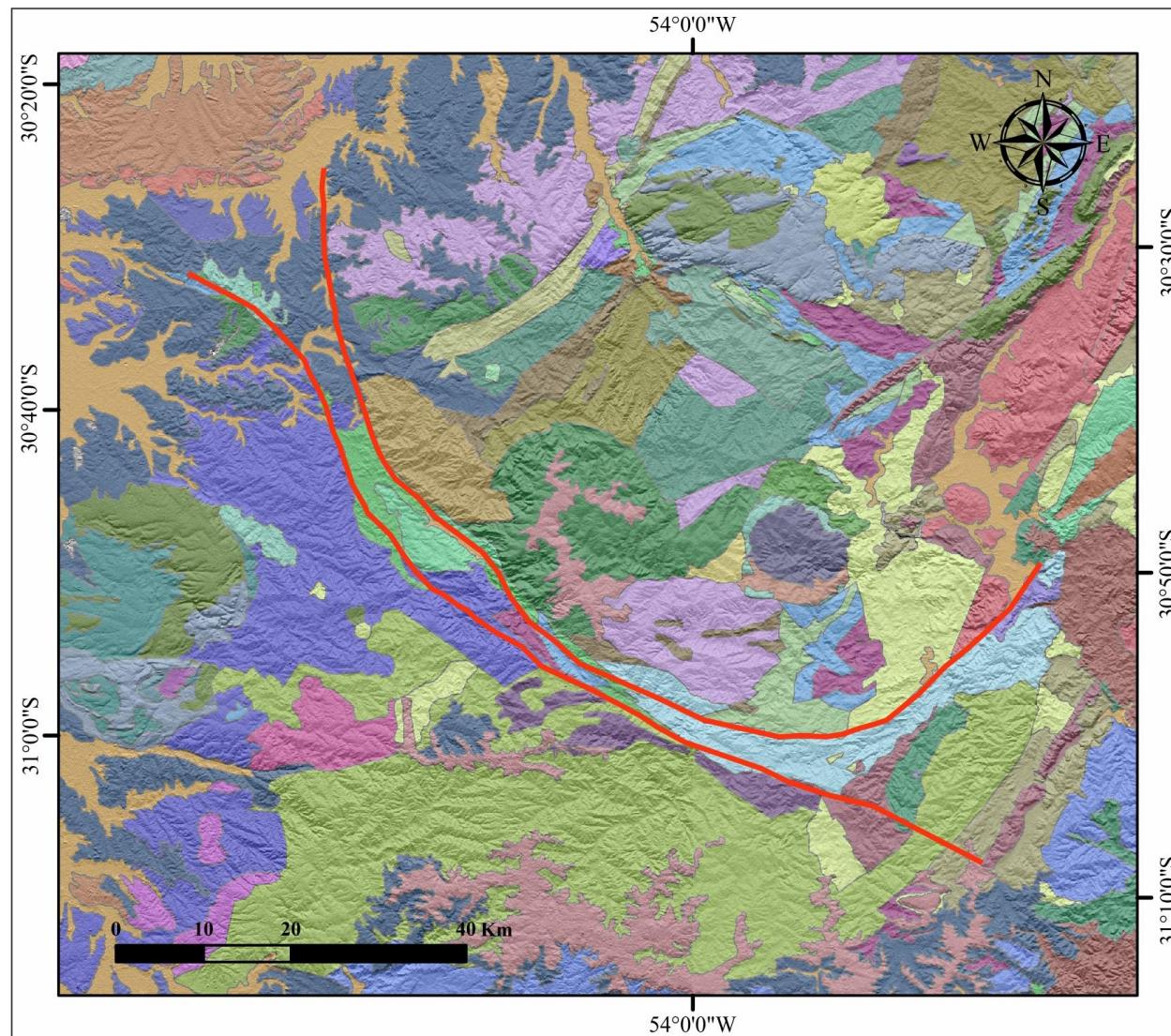


Figura 38. Diagrama de roseta da integração dos lineamentos morfoestruturais e magnéticos na região da área de estudos.



Mapa 33. Mapa de localização da Zona de Falha Ibaré no Escudo Sul-rio-grandense.



CONCLUSÕES

Identificado através dos produtos de sensoriamento remoto, a feição de mega escala conhecida como Lineamento de Ibaré é composto por um sistema de falhas paralelas a sub-paralelas entre si com um predomínio direcional NW-SE que, quando observadas em menor escala configuram uma zona com uma variação lateral que perfaz toda sua extensão, apresentando larguras mínimas em torno de 2,5 km e máximas 10-15 km.

A partir da delimitação realizada através dos resultados, observou-se que o LI caracteriza uma zona, onde a feição delimitante à SW encontra-se no limite entre os terrenos Taquarembó e São Gabriel marcando a separação entre os mesmos, e a feição delimitante à NE está inserida no Terreno São Gabriel, e apresenta uma inflexão de direção NE-SW possivelmente correlacionada com os eventos de reativação da Sutura de Caçapava. Esta interpretação explica o porquê dos diferentes posicionamentos desta feição dentro do ESrg.

A existência de uma zona de cisalhamento NE-SE e outra E-W nas rochas do GAS (Granitoides Arroio do Salso) faz com que alguns autores correlacione a trama milonítica desta unidade com o início do desenvolvimento do LI, entretanto, a partir da interpretação dos dados apresentados neste trabalho e dados obtidos através de estudos nesta região, foi observado que não existe deformação dúctil associada ao lineamento e que, estas zonas adjacentes podem fazer parte de uma única estrutura onde esta apresenta-se seccionada pelo LI, concluindo ser mais antiga que o mesmo. As temperaturas de deformação das rochas associadas a esta zona de cisalhamento são de fácies anfibolito médio, o que não é compatível com a trama deformacional registrada nas rochas afetadas pelo LI, que são de fácies xisto verde. A partir destas correlações é possível identificar que são provenientes de eventos distintos, não havendo quaisquer relações entre ambos.

Os dados do mapa geofísico magnetométrico da primeira derivada vertical atestam que o LI não é uma zona de cisalhamento devido a ocorrência de assinaturas contínuas perpendiculares ao LI, não havendo interrupções abruptas geralmente identificadas em zonas de cisalhamento. A ocorrência de milonitos no Complexo Arroio Marmeiro infere o contrário, indicando a existência desta estrutura. Analisando-se a ocorrência destas rochas é possível inferir que os milonitos nesta região foram gerados por uma progressão de deformação que gerou uma zona de cisalhamento pontual referente a um outro evento, o qual não faz parte do LI pois os milonitos não apresentam uma continuidade expressiva que promove uma magnitude de caráter tectônico significativa quando comparada com o LI, impossibilitando a caracterização do mesmo como uma zona de cisalhamento.

Atualmente o LI apresenta-se em maior parte encoberto, com aspecto em “calha” onde as unidades da Formação Maricá, Grupo Itararé e Formação Rio Bonito foram depositadas e basculadas ao longo do tempo através dos episódios de reativação do LI, dando origem a diversas estruturas de caráter rúptil. As estruturas encontradas nestas unidades comprovam que estas recobrem o LI.

Abordado como Zona de Cisalhamento Ibaré pela ocorrência pontual de milonitos onde, o restante dos mesmos descritos por terceiros encontram-se encobertos pelas unidades sedimentares decorrentes nesta região, pode-se dizer que atualmente existe uma zona de cisalhamento, porém em pequenas proporções localizada nas rochas do Complexo Arroio Marmeiro. Entretanto, a partir das discussões dos resultados apresentados onde, devido ao predomínio e magnitude das estruturas rúpteis decorrentes atualmente nesta zona, o Lineamento de Ibaré neste trabalho é definido como Zona de Falha Ibaré.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. *et al.* A Comparison of Landsat TM and SPOT Data for Lineament Mapping in Hulu Lepar Area, Pahang, Malaysia. **European Journal of Scientific Research.** Vol.34 No.3, p.406-415, 2009.
- AKIMA, H., 1970. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. **Journal of the Association for Computing Machinery**, 17, 589-602.
- ALMEIDA, F. F. M., 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim. Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro: DNPM, 241, 1-36.
- _____, F. F. M., 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 23, Salvador, BA, **Anais**, 1, 29-46.
- _____, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Reviews**, v. 17 pp. 1-29.
- _____, F. F. M. de (1977). O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 7(4): 349-364.
- _____, R. P., 2001. **Evolução tectono-sedimentar da Formação Santa Bárbara na Sub-Bacia Camaquã Ocidental**. Tese de Mestrado não publicada, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 161.
- _____, R. P., Fragoso-Cesar, A. R. S., Janikian, L., Fambrini, G. L., 2012. Recurring extensional and strike-slip tectonics after the Neoproterozoic collisional events in the southern Mantiqueira province. **Anais... Academia Brasileira de Ciências**, 84, 347-376.
- _____, R. P., Janikian, L., Fragoso-Cesar, A. R. S., Fambrini, G. L., 2010. The Ediacaran to Cambrian Rift System of Southeastern South America: Tectonic Implications. **The Journal of Geology**, 118, 145-161.
- ANJOS, I. L. S. e MOURÃO, L. M. 1987. Projeto Extremo Sudoeste do Brasil. **Relatório Final**. Vol. I. CPRM.
- ARCANJO, João Batista Alves. **Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações** /João Batista Alves Arcanjo. – Salvador - BA: CPRM/SGB, 2011.
- BABINSKI, M., CHEMALE JR F., HARTMANN L.A., VAN SCHUMUS W.R., SILVA L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil. **Geology**, 24: 439-442.
- _____, CHEMALE JR F., VAN SCHUMUS W.R., HARTMANN L.A., SILVA L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, 10:263-274.
- BALISTIERI, L. A. Buzzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**, Capítulo II, (eds.) CPRM, Brasília, 2003. p 71-75.

- PLUIJM, B. A. V. D., MARDHAK, S. 2004. Earth Structure: A introduction to structural geology and tectonics., 2nd Ed. W W Norton Company. New York. London.
- BRIGGS I. C. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39: 39-48.
- BRITO-NEVES, B. B. (Eds.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Editora Beca, 2004, p. 487-536.
- BORBA, A. W. 2006. **Evolução geológica da Bacia do Camaquã (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. Tese de Doutorado, 109 p. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- _____, A. W., Mizusaki A. M. P., Santos J. O. S., McNaughton N. J., Onoe A. T., Hartmann L. A (2008) U-Pb zircon and 40Ar-39Ar K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of southern Brazil. *Basin Research* 20, 359–375.
- CAMOZZATO, E.; LOPES, R.C.; PHILIPP, R.P. 2012. Programa Geologia do Brasil (PGB). **Mapa Geológico da Folha Hulha Negra (SH.22.Y-C-1), Escala 1:100.000**. Carta Geológica. Porto Alegre, CPRM, 1: 1-128.
- _____, E. e Lopes, R. C. 2013. **Mapa Geológico da Folha de Hulha Negra, SH.22-Y-C-I**. Porto Alegre: CPRM, 2013. Escala 1:100000.
- CARVALHO, P. F. Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil**, Rio de Janeiro, n. 66, p. 1-72, 1932.
- CHEMALE JUNIOR, F.; HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. Stratigraphy and tectonism os Precambrian to Early Paleozoic units in Southern Brazil and Uruguay – Excursion Guidebook. *Acta Geologica Leopoldensia*, v.43, p. 4-115, 1995.
- _____, F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Ed.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS.
- CORTÊS, A. R. P., 2015. Integração de dados geofísicos e geológicos na caracterização morfológica de ocorrência de cobre na borda norte da Bacia do Camaquã (RS). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista. **Dissertação de Mestrado**. 101 p.
- COSTA, A. F. U.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. 1989. Contribuição da geofísica (gravimetria/magnetometria) à compartimentação do Escudo Sulrio-grandense. IN: Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, 4. Porto Alegre, 1989. **Anais...** Porto Alegre, SBG.
- _____, A. F. U.; FERNANDES, L. A. D.; MAGRO, F. H. S.; NADAL, C. A.; FÉLIX, L. M. 1994. Modelamento Gravimétrico da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Balneário Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos...** Balneário Camboriú, SBG. v.2, p.28-30.

_____, A.F.U.; FERNANDES, L. A. D.; MAGRO, F.H.S.; NADAL, C.A.; FÉLIX, L.M. 1995. Modelagem gravimétrica dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçul. **Revista Brasileira de Geofísica**, (submetido).

_____, A. F. U. 1997. **Modelagem geofísica da estruturação das associações petrotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense**. Porto Alegre. (Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

COLWELL, R. N. (Ed.) 1997. "History and Place of Photographic Interpretation," in **Manual of Photographic Interpretation**, 2nd Ed., W. R. Phillipson (Ed.), Bethesda: ASPRS, 33-48.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GEOLOGIA, TECTÔNICA E RECURSOS MINERAIS DO BRASIL **Texto, Mapas & SIG**. Brasília, 2003. 55-82p; 292-334p.

_____. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. Projeto Geologia do Brasil ao Milonésimo - Programa Geologia do Brasil, Porto Alegre, 2007.

_____ - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul: Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Vol. I **Texto técnico**. Lasa Prospecções S/A, 2010. 260p.

_____ - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e recursos minerais da Folha Lagoa da Meia Lua - SH. 21-Z-B-VI, Escala 1:100.000, estado do Rio Grande do Sul / Jorge Henrique Laux. - Porto Alegre. ISBN 978-85-7499-332-4. Programa Geologia do Brasil. 255p.

DARDENNE, M. A, Schobbenhaus, C. 2001. **Metalogênese do Brasil**. Brasília, Editora UnB/CPRM, 392 p.

DICKSON B. L., SCOTT K. M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. AGSO J. Australia **Geology & Geophysics**. 17(2):187-200.

ETCHEBEHERE, M. L. de C.; SAAD, A. R.; CASADO, F. C. Análise Morfoestrutural Aplicada no Vale do Rio do Peixe (SP): Uma Contribuição ao Estudo da Neotectônica e da Morfogênese do Planalto Ocidental Paulista. **Geociências**, Guarulhos, v.10, n. 6, 2005, 45-62,2005.

FAMBRINI, G. L., Fragoso-Cesar A. R. S., Riccomini C. Janikian L., Almeida R. P., Pelosi A. P. M. R. 2001. Tectônica extensional sin-deposicional na Formação Santa Bárbara, Bacia do Camaquã, RS (Neoproterozóico III-Cambriano Inferior). In Simp. Nac. de Est. Tect 8, Recife, **Anais**, 149-152.

_____, G. L.; Janikian, L., Paes-de-Almeida, R., Fragoso-Cesar, A.R., Fonseca, A.R. 2002. Seqüências da Formação Santa Bárbara (Neoproterozóico III-Cambriano Inferior) na sub-bacia Camaquã Central, RS. In: SBG–Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, **Anais**, p. 660.

- _____, G. L., 2003. **O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) a norte do rio Camaquã**, Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutoramento não publicada, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243.
- _____, G. L.; JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R. P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã central, RS: Estratigrafia e sistemas deposicionais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 227-238, 2005.
- _____, G. L.; ALMEIDA, R. P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Estratigrafia e Evolução Paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Edicariano) na sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 550-565, 2006.
- _____, G. L.; JANIKIAN, L., ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S., 2007. Evolução estratigráfica e paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-bacia Camaquã Central, RS. **Geologia USP**, 7, 2, 1-24.
- FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. 1992a. Deformation Patterns in the Southern Brazilian Branch of the Pan-African Dom Feliciano Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, 5:77-96.
- _____, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; KOESTER, E.; KRAEMER, G.; SCHERER, C.M.; MENEGAT, R. 1992b. Granitóides Precoces do Cinturão Dom Feliciano: Caracterização Geoquímica e Discussão Estratigráfica. **Pesquisas**, 19 (2): 197-218.
- _____, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E., 1995a. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**. 25(4): 360-374.
- _____, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E., 1995b. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**. 25(4): 375-384.
- _____, L. A. D. e PORCHER, C. C. 2000. **Geologia Estrutural**. Mapa Geológico da Folha de Cachoeira do Sul. Brasília: PLGB CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- FERREIRA, F, J, F. SOUZA, J, L. 2002. **Gamaespectrometria: Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos**. Universidade federal do Paraná. Curitiba.
- FRAGOSO-CESAR, A. R. S. 1980. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio- Sul Riograndense. In Congresso Brasileiro de Geologia,31. Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: SBG. 1980.
- _____, A. R. S., LAVINA, E. L., PAIM, P. S. G., FACCINI, U. F., 1984. A Antefossa Molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul. In: **Anais** do SBG Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, RJ, 7, 3272-3283.

- _____, A. R. S., Faccini, U.F., Paim, P.S.G., Lavina, E.L., Altamirano, J.A.F. 1985. Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasiliano no Rio Grande do Sul. In: **Anais** do SBG Simpósio sul-brasileiro de geologia, Florianópolis, SC, **1**, 477-491.
- _____, A. R. S., Fambrini, G. L., Almeida, R. P., Pelosi, A. P. M. R., Janikian, L., Riccomini, C., Machado, R., Nogueira, A. C. R., Saes, G. S., 2000. The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, **30**, 3, 438-441.
- _____, A. R. S., Fambrini, G.L., Riccomini, C., Janikian, L., Almeida, R.P., Pelosi, A.P.M.R., Machado, R. 2001. Estruturas induzidas por abalos sísmicos na Seqüência Santa Bárbara (Neoproterozóico III-Eocambriano), Bacia do Camaquã, RS: o exemplo do Passo da Capela. **Revista Brasileira de Geociências**, **31**, 2, 155-162
- _____, A. R. S., Paes-de-Almeida, R., Pelosi, A. P. M. R., Janikian, L., Fambrini, G.L. 2002. Grupo Camaquã (Neoproterozóico III-Eopaleozóico): a cobertura anorogênica do Escudo Gaúcho no Rio Grande do Sul. In: SBG–Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, **Anais**, p.307.
- _____, A. R. S., Almeida, R. P., Fambrini, G. L., Pelosi, A. P. M. R., Janikian, L., 2003. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: **Anais** do SBG Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul – Escudos e Bacias, Porto Alegre, RS, 139-144.
- GEOSOFT. 2007. OASIS montaj TM Data **Processing and Analisys** (DPA) System. Versão 6.4.2 Geosoft Inc., Toronto, Canadá.
- GRESSE, P. G., Chemale Jr., F., Silva, L. C., Walraven, F., Hartmann, L. A., 1996. Late- to post-orogenic basins of the Pan-African-Brasiliano collision orogen in southern Africa and southern Brazil. **Basin Research**, **8**, 2, 157-171.
- GIBBS, R. A. e THOMAS, M. D. 1976. Gravity signature of fóssil plate boundaries in the Canadian Shield. **Nature**, 262(15): 199-200.
- GOULART, A. R. 2014. **Geologia e petrografia do picrito do boqueirão e sua correlação com outras rochas maficas ultramáficas no SW do Escudo Sul-riograndense**. Porto Alegre, 84p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GUY, M. 1966. Quelques principes et quelques expériences sur la méthodologie de la photo-interpretation. In: Symposium International de Photo-Interpretation, 2, Paris. **Anais...** Paris, v.1, p.21-41.
- GRASTY, R. L; KOSANKET, K. L.; FOOTES, R. S. Fields of view of airborne gamma-ray detectors. **Geophysics**, 1979, v. 44, n. 8, p. 1447-1457.
- HALLINAN. S.; MANTOVANI, M.; SHUKOVSKY, W.; BRAGGION JR, I. 1993. Estrutura do Escudo Sul-brasileiro: Uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, 23(3):201-214.

- HARTMANN, L. A. e NARDI, L. V. S. 1983. contribuição à geologia da região oeste do escudo sul-riograndense. IN: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. Porto Alegre, 1983. **Atas...** Porto Alegre, SBG. p.9-18.
- _____, L. A. 1987. Isócrona Sm-Nd de 2,1 Ga em minerais de duas amostras do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS. IN: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1. Porto Alegre, 1987. **Anais...** PortoAlegre, SBG. v.1, p.105-111.
- _____, L.A. 1991. Condições de metamorfismo no Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 44:23-44.
- _____, L.A. 1998. Deepest exposed crust of Brazil-geochemistry of Paleoproterozoic depleted Santa Maria Chico granulites. **Gondwana Research**.
- _____, L.A., LEITE J.A.D., MC AUGHTON, N.J., SANTOS, J.O.S. 1999. Deepest exposed crust of Brazil-SHRIMP establishes three events. **Geology**.
- _____, L.A.; PORCHER, C.C.; REMUS, M.V.D. Evolução das Rochas Metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- _____, L.A.; CHEMALE Jr, F.& PHILIPP, R. P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-cambriano. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J.C. (Ed.). **50 anos de Geologia**, Instituto de Geociências, Contribuições. Ed. Comunicação e Identidade, Porto Alegre.
- _____, L.A. 2008. Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolites-facies granodiorite in southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 80(3): 543-551.
- HOBBS, W. H. 1912. **Earth features and their meaning: an introduction to geology for the student and the general reader**. New York, MacMillan, 1st edition, 506 p.
- HOLTZ, M. 1999. Early Permian sequence stratigraphy and the paleophysiographic evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. **Jornal of African Earth Science** 29(1): 51-60.
- _____, M., KLUCHLE, J. A Formação Rio Bonito no Sul da Bacia do Paraná – Uma Discussão “heterodoxa” de Litoestratigrafia versus Estratigrafia de Sequências. I Encontro sobre Estratigrafia do Rio Grande do Sul: ESCUDO E BACIAS. ILEA/UFRGS. Porto Alegre, Maio/2003. 151-157 p.
- _____, M.; França, A. B.; Souza, P. A.; Iannuzzi, R.; Rohn, R., 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, 29:381-399.
- IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. **Tecdoc** nº 1363 da International Atomic Energy Agency, 179 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Cidades – Lavras do Sul, 2017. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php>> Acesso em: 10/05/2017.

IGLESIAS, C, M, F., 2000. Análise integrada de dados geológicos e estruturais para a prospecção de ouro na região de Torquato Severo (RS). Porto Alegre, 2000. 101 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

JACKSON, V. N.; RAMOS, V.A.; TERRY, S.A.; ZUZEK, A.B. 1973. Projeto Aerofísico Camaquã- Estado do Rio Grande do Sul. TEXAS INSTRUMENTOS DO BRASIL LTDA. Conv. DNPM-CPRM/CNEN-CPRM. I; II; III e IV, 224p., mapas.

JANIKIAN, L., 2001. Evolução Paleoambiental do Grupo Camaquã na região de Bom Jardim, Sub-Bacia Camaquã Central, RS. **Tese de Mestrado não publicada**, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 158.

_____, L.; ALMEIDA, R. P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FAMBRINI, G. L. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 4, p. 349-362, 2003.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**, tradução autorizada segunda edição. São José dos Campos, São Paulo: Parêntese Editora, 2011. 152-155p.

KAZMIERCZAK, T. S. **Mapeamento da bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto**. 2006. 110 f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

KEAREY Philip; Brooks, Michael e Hill, Ian. Geofísica de Exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: **Oficina de textos**, 2009. 438 pag.

KRAMER, G. **Evolução magmática e tectônica da suíte ortometamórfica Imbicuí, região de Lavras do Sul (RS)**. Porto Alegre, UFRGS, 1995, dissertação de mestrado, 99f.

LAUX, J. H. e BONGIOLO, E. M. 2011. Geoquímica do Complexo Granulítico Santa Maria Chico: arco de ilha Proterozóico no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 13, Gramado. **Anais...**, SBG, p. 744-747.

_____, J. H.; BONGIOLO, E.M; Klein, C.; Iglesias, C.M. de F. 2012. Programa de Geologia do Brasil-PGB. **Folha Lagoa da Meia Lua, SH.21-Z-B-VI**. Estado do Rio Grande do Sul. Carta Geológica. Porto Alegre, CPRM, 1 mapa colorido, Escala 1:100.000.

LEINZ, V., BARBOSA A. F., TEIXEIRA G. A. 1941. Mapa Geológico Caçapava-Lavras. **Bol. da Div. de Pro. Min. da Secr. de Agri.**, Ind, Com., Porto Alegre, 90:1-39.

- LEITES, S. R., LOPES, R. C., WILDER, W., PORCHER, C. A., SANDER, A. 1990. Divisão litofaciológica da Bacia do Camaquã na folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul-RS, e sua interpretação paleoambiental. In Congresso Brasileiro de Geologia., 36, Natal, **Anais**. 1: 300-312.
- LINDER, W., 2003, **Digital Photogrammetry: Theory and Applications**, Berlin: Springer-Verlag, 189.
- LOPES, A. P. e HARTMANN. L. A. 2003. Geoquímica de Rochas Metabásicas da Mina da Palma, Bloco São Gabriel, Escudo Sul-rio-grandense: Um Possível Platô Oceânico. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS – Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 30(1): 27-39.
- LUIZ, J. G.; Silva, L. M. C. **Geofísica de prospecção**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1995.
- LUZARDO e FERNANDES, L. A. D. 1990. Análise estrutural do Lineamento de Ibaré, Parte I – filitos de Ibaré: greenstone belt ou cobertura cratônica deformada **Acta Geológica Leopoldensia**, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 13:25-36.
- MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J.; BASEI, M.A.S. 1987. Nd and Pb isotope studies bearing on the crustal evolution of Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 17:263-268.
- MILANI, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L., 1994. Bacia do Paraná. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, **Boletim de Geociências**, 8(1):69-82
- _____, E. J. 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-occidental**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 2 volumes.
- _____, E. J., Ramos, V. A. 1998. Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-ocidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidiência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, 28(4):473-484
- MINTY B. R. S. 1988. A review of air borne gamma-rayspectrometric data-processing techniques. Canberra: **Australian Gov.** Publ. Service. 48 p.
- ____ B. R. S. 1991. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. **Exploration Geophysics**.
- ____ B. R. S. 1997. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, 17(2): 39-50.
- MORELLI, M.; PIANA, F. Comparison between remote sensed lineaments and geological structures in intensively cultivated hills (Monferrato and Langhe domains, NW Italy). **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, 4471–4493, 2006.
- NAIDU e MATHEW, Analysis of Geophysical Potential Fields, Elsevier, Advances in **Exploration Geophysics** 5. 1998.

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

_____, M. N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, 39, 85-92. Oasis Montaj, V 6.4.2 (HJ) Standart Edition. Copyright 2007, Geosoft Inc. 1974.

NARDI, L.V.S. e HARTMANN, L .A. 1979. O complexo granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-Rio-Grandense. **Acta. Geologica Leopoldensia**, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 6:45-75.

O'LEARY, D. W.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, J. M. M. T., FERNANDES, L. A. D., 1991. Estágios finais da evolução do Cinturão Dom Feliciano: Tectônica e sedimentação da Formação Arroio dos Nobres. In: SBG Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 3, Rio Claro, SP, 1991, **Boletim de Resumos Extensos**, 58-59.

OLIVEIRA, A. S. D., Pulz, G. M., Bongiolo, E. M., Calarge, L. M. 2003. Isótopos de Carbono em Filitos Carbonosos da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeiro, Sul de Ibaré, Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, RS.

_____, R. G. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)**. 413 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

_____, C. H. E. **Evolução Tectono-Estratigráfica das Bacias Santa Bárbara e Guaritas, Rio Grande do Sul**. 2012. 101p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PADILHA, D. F, 2016. A Zona De Cisalhamento Afonso Jacinto: Definição, Reconstrução Cinemática e Importância no Arcabouço Estrutural do Complexo Santa Maria Chico, RS. Porto Alegre. **Monografia de Conclusão de Curso**. Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PAIM, P.; CHEMALE JR, F.; LOPES, R. C. A Bacia do Camaquã. In: HOLZ, M., DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p. 231-274.

_____, P. S. G., Chemale Jr., F., Lopes, R. C., 2002. A Bacia do Camaquã. In: Holtz, M., Ros, L. F. De (eds) **Geologia do Rio Grande do Sul**, Edição CIGO/UFRGS, 231-274.

PELOSI, A. P. M. R, Fragozo-César, A.R.S., 2002. Síntese geológica da Formação Maricá, Neoproterozóico III do Rio Grande do Sul. In: SBG–Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, **Anais...**, p. 329

- _____, 2003. Proposta de classificação litoestratigráfica para o Grupo Maricá. I Encontro sobre Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias. Porto Alegre, **Anais...**, p. 133-138.
- PETERS, L. J. 1949. The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. **Geophysics**, 14: 290-320.
- PHILIPP, R. P.; HARTMANN, L. A. e Chemale Jr, F. 2009. Significado geotectônico das unidades Paleoproterozóicas do Escudo Sul-Rio-Grandense. Simpósio 45 Anos de Geocronologia do Brasil, USP, Instituto de Geociências, **Boletim de Resumos Expandidos**.
- _____, R .P.; Gireli, T. J.; Lopes, R .C.; Sander, A. 2015. Geologia do Complexo Granulítico Santa Maria Chico na região de Fontouras, Dom Pedrito, RS: significado tectônico e implicações sobre a evolução do Cráton Rio de La Plata. **Pesquisas em Geociências**.
- _____, R .P.; Girelli, T. J.; Cunha Lopes, R.; Sander, A. 2016b. Geologia do Complexo Granulítico Santa Maria Chico na região de Fontouras, Dom Pedrito, RS: Significado Tectônico e Implicações sobre o Cráton Rio de la Plata (submetido à **Revista Pesquisas em Geociências**).
- PICADA, R. S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-rio-grandense. Caracterização dos sistemas de Falhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Anais...São Paulo, SBG**, v.1, p.167-191.
- PIMENTEL, G. B. e GODOY, H. K. 1983. Projeto na área Leão – Mariana Pimentel, RS. **Relatório Interno**. DNPM – CPRM. 154p.
- PORCHER, C. C., HARTMANN, L. A., Remus, M. V. D. 2000. **Evolução das Rochas Metamórficas do Rio Grande do Sul**. In: Holz, M. e De Ros, L. F. (Org.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora UFRGS
- RAMOS, V. A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America - a Collisional History. **Episodes**, 11:168-174.
- REEVES, C. Aeromagnetic Surveys: principles practice & interpretation. Earthworks. 2005.
- RIBEIRO, M., Bocchi, P., Figueiredo Filho, P. M., Tessari, R. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul. Rio de Janeiro: DNPM, 1966. **Boletim**, (127).
- _____, M.; FANTINEL, L. M. A. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Rio-Grandense: I - tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do escudo do Rio Grande do Sul. **Ineringia**, Série Geológica, v.5, p.19-54, 1978.
- _____, V. B., Mantovani, M. S. M., Louro, V. H. A. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. Terra e Didatica (Impresso), v. 10, p. 29, 2013.
- RIVEREAU, J. C. 1972. **Curso de fotointerpretação: notas de aulas**. Brasília, Série Didática, Departamento de Geociências, Universidade Nacional de Brasília, vol. 4, 128 p.
- ROEST W. R. J., Verhoef J. & Pilkington M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, **Geophysics**, 57:116-125. 1992.

RUPPEL, L. M. V. 2010. **Evolução tectônica do Complexo Arroio da Porteira, Bagé – RS.** Porto Alegre, Dezembro de 2010, 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, E. L., Maciel, L. A. C., Zir Filho, J. A. 1998. **Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, DNPM.

SCHENEIDER, R. L, MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DEAMON R.F., NOGUEIRA A.A. 1974. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** 1º Congresso Brasileiro de Geologia, 1, pp. 41-65.

SCHULER C. A. B.; Araujo, L. L. Detecção de assentamentos irregulares em áreas de risco e classificação das habitações utilizando imagens anaglifo – uma forma de apoio ao planejamento urbano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INEP, 2005.

SENGÖR, A.M.C. 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: synopsis of a Tethyan perspective. **Earth Science Reviews**, 27:1-201.

SENHORINHO, E.M. 2012. **Controle Estrutural dos Carbonatitos no Rio Grande do Sul: Análise de Produtos de Sensoriamento Remoto Aerogeofísicos.** Porto Alegre, 162p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOARES, P. C & Fiori, P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geológica**, v. 16(32), p.40-70, 1976.

SOLIANI JR, E. 1986. Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica. **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo (USP), 239 p.

_____, E.; KAWASHITA, K.; BAITELLI, R. A Geologia Isotópica do Escudo Sul-rio-grandense - Parte I: métodos isotópicos e valor interpretativo. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p.161- 174.

STANLEY, J. M. 1977. Simplified gravity interpretation by gradients at the geological contact. **Geophysics**, 42: 1230-1235.

TELFORD W.M., Geldart L.P. e Sheriff R.E. 1990. **Applied geophysics.** 2 ed. Nova Iorque: Univ. Cambridge. 770p.

TEIXEIRA, A. L.; GAUCHER, C.; PAIM, P. S. G.; FONSECA, M. M.; PARENTE, C. V. P.; SILVA FILHO, W. F. S.; ALMEIDA, A. R., 2004. Bacias do estágio de transição da plataforma sul americana. In: NETO, V. M.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.;

TEMBA, P. C. **Fundamentos de Fotogrametria – Geoprocessamento**, Departamento de Cartografia, UFMG - 2000. 6p.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica - Introdução.** 2009. 8-9p.

- TOMMASI, A. e FERNANDES, L. A. D. 1990. O ciclo brasileiro na porção sudeste da Plataforma Sul-americana: um novo modelo. IN: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 1. Montevideo, 1990. **Anais...** Montevideo, v.1, p. 107-114.
- TOPODATA., 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 24/07/2017.
- UFRGS, 1991. Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte da Lavras do Sul SH-22-Y-A-IV-3 (MI - 2995/3), RS. Porto Alegre. 1 vol., **Nota Explicativa**, 2 mapas. Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS, 2005. Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte da Folha Coxilha do Tabuleiro SH.21-Z-B-VI-4 (MI - 2994/4), RS. Porto Alegre. 1 vol., **Nota Explicativa**, 2 mapas. Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS 2013. Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte da Folha Vila Afonso Jacinto SH21-Z-D-III-1 (MI-3007/1) e Ibaré SH21-Z-B-VI-3 (MI-2994/3), RS. Porto Alegre. 1 vol., **Nota Explicativa**, 2 mapas. Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS, 2016. Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte da Folha Ibaré SH.21-Z-B-VI-3 (MI - 2994/3), RS. Porto Alegre. 1 vol., **Nota Explicativa**, 2 mapas. Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VASCONCELOS R. M., Metelo M. J., Motta A. C. & Gomes R. D. 1994. **Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil**, CPRM, Rio de Janeiro, 165 pp.
- VENEZIANI, P. 1879. Análise de movimentos de tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos. São Paulo. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.
- WILDNER, W., Ramgrab, G. E., Lopes, R. D, Iglesias, C. D. F. 2008. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750000**. Porto Alegre: CPRM.
- WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry with air Photo interpretation and Remote Sensing**. 2. Ed. N. York, MacGraw-Hill Book Company, 1983. 626pp.