



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)**

AYARA LETÍCIA BENTES DA SILVA

# **CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DA REGIÃO SW DA FOLHA MARABÁ, COM BASE NA INTERAÇÃO AEROGEOFÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO (RADAR E TM).**

BELÉM – PA

MARÇO - 2013

AYARA LETÍCIA BENTES DA SILVA

CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DA REGIÃO SW DA FOLHA MARABÁ, COM BASE  
NA INTERAÇÃO AEROGEOFÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO (RADAR E TM).

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia da  
Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Ms. João Almiro Corrêa  
Soares.

Coorientador: Prof. Ms. Alberto Leandro de  
Melo.

BELÉM – PA

MARÇO - 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

S586c Silva, Ayara Letícia Bentes da

Contribuição para a geologia da região SW da folha Marabá, com base na interação aerogeofísica e sensoriamento remoto (radar e tm)/ Ayara Letícia Bentes da Silva; Orientador: João Almiro Corrêa Soares; Coorientador: Alberto Leandro de Melo– 2013

64f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Geologia. 2. Integração de dados. 3. Aerogeofísica. 4. TM. 5. SAR. I. Soares, João Almiro Corrêa, *orient.* II. Melo, Alberto Leandro de, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22<sup>a</sup> ed.:551

---

AYARA LETÍCIA BENTES DA SILVA

CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DA REGIÃO SW DA FOLHA MARABÁ, COM BASE  
NA INTERAÇÃO AEROGEOFÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO (RADAR E TM).

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia da  
Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca examinadora:



**Prof.Ms. João Almiro Corrêa Soares.**  
Mestre em Sensoriamento Remoto  
Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais, INPE, Brasil.

---

**Prof.Ms. Alberto Leandro de Melo.**  
Mestre em Geofísica  
Universidade Federal do Pará.

---

**Prof. Dr. Arnaldo de Queiroz da Silva**  
Doutor em Sensoriamento Remoto  
Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais, INPE, Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da vida.

A minha mãe Cristina Bentes, pela batalha de me criar sozinha e de ser meu maior exemplo. Obrigada por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor e pela preocupação.

As minhas irmãs, Márcia e Maria Rita Bentes, pela paciência de compartilhar o computador e de ficar com a luz ligada do quarto até mais tarde para eu estudar, em especial a Rita Bentes, por sempre me ajudar nos trabalhos acadêmicos, saindo altas horas da noite para procura cyber para imprimir os trabalhos.

Ao professor João Almiro, pela orientação e paciência.

Ao professor Alberto Melo, pela gentileza e orientação.

Ao professor Leonardo Brasil, pelo fornecimento de dados, apoio de campo e discussões a respeito da geologia da área.

Ao instituto de Geociências.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, pela hospitalidade no decorrer do curso, sendo pra mim, minha segunda universidade.

Aos meus amigos da turma de geologia 2007: Adriel, Camila, Carla, Indy, Susi, Filipe e Yuri pelo apoio nos momentos tensos da graduação e descontraídos. Obrigada pela amizade.

As minhas amigas de vida e de profissão, Hévila Costa e Regiane Santos pelo companheirismo, incentivo por alegrarem meus dias de graduação, por me ajudarem no Trabalho de Conclusão de Curso, não importando o dia e nem hora, me sinto “orientada” por vocês, sei que deram o máximo que poderiam para que este trabalho acontecesse. Obrigada sacanas.

Ao meu amigo Jorge Murilo, por todo incentivo, conselhos, amizade e alto astral que me motivaram chegar até aqui.

Por último, mas não menos importante, meu namorado Alexandre Pantoja, pelo amor, compreensão dos estresses e ausência no decorrer do trabalho, meu muito obrigada por sempre me ajudar na elaboração em todas etapas, principalmente nas madrugadas acordado comigo, considero-te metade geólogo.

## RESUMO

A região de estudo está inserida entre o cráton Amazonas e o cinturão Araguaia (rochas do embasamento) e é constituída por rochas metamórficas e ígneas que até então foram pouco estudadas nesta região. Este trabalho tem como objetivo a integração de dados espaciais multifontes (Landsat-TM, SAR, Aerogeofísica) para estudos geológicos entre a região de Marabá e Eldorado dos Carajás. Tal integração, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, possibilitou o reconhecimento e o remapeamento geológico de parte da Folha Marabá. Para a geração destes produtos integrados (Aerogeofísica e Sensoriamento Remoto) foram realizados, pré- processamento nos dados multifontes, processamento e interpretação, seguida da etapa de campo. Com a fotointerpretação dos produtos integrados, juntamente com os dados de campo e trabalhos anteriores, foi possível discriminar estruturas regionais e sete unidades litológicas: Complexo Cajazeira (Mesoarqueano), Grupo Rio Novo (Nearqueano), Formação Tapirapé (Nearqueano), Formação Couto Magalhães (Neoproterozóico), Grupo Serra Grande (Paleozóico), Formação Barreiras (Cenozóico) e depósitos aluvionares (Cenozóico). Como produto final deste trabalho foi obtido o mapa geológico na escala 1: 150.000 para a região entre Marabá e Eldorado dos Carajás.

Palavra Chave: Geologia, Integração de dados, Aerogeofísica, TM, SAR.

## **ABSTRACT**

The study region is inserted between the Amazon craton and the Araguaia belt (basement rocks) and is formed by metamorphic and igneous rocks that have been little studied in this region. This work aims at the integration of multisource spatial data (Landsat-TM, SAR, Aero-geophysics) for geological studies of the region between Marabá and Eldorado do Carajás. Such integration, in an environment of Geographic Information System, enabled the recognition and geological remapping of part of the Marabá region. For the generation of integrated products (Aero-geophysics and remote sensing) were performed pre-processing on multisource data, processing and interpretation, then the field phase. By photointerpretation of integrated products, along with field data and previous work, it was possible to discriminate regional structures and seven lithological units: Cajazeira Complex (Middle Archean), Rio Novo Group (Late Archean), Tapirapé Formation (Late Archean), Couto Magalhães Formation (Neoproterozoic), Serra Grande group (Paleozoic), Barreiras Formation (Cenozoic) and alluvial deposits (Cenozoic). As a final product of this work was obtained 1:150,000 scale geological map for the area between Marabá and Eldorado do Carajás.

Keyword: Geology, Data Integration, Aero-geophysics, TM, SAR.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-Mapa de localização da área de trabalho .....   | 16 |
| Tabela 1-Características dos produtos de sensores utilizados. ....                             | 17 |
| Tabela 2-Características das imagens Landsat-TM. ....  | 19 |
| Figura 2-Configuração das antenas a bordo do Endeavour para a missão SRTM. ..                  | 20 |
| Figura 3-Esquema do Alos. ....   | 21 |
| Figura 4-Localização do Levantamento utilizado na área de trabalho. ....                       | 22 |
| Figura 5-Ponto coletados na etapa de campo. ....   | 25 |
| Figura 6-Clima da área de estudo segundo Köppen. ....  | 26 |
| Figura 7-Vegetação da área de estudo. ....   | 27 |
| Figura 8-Bacia do Rio Itacaiúnas. ....   | 28 |
| Figura 9-Relevo de morros com topo convexo da área de estudo. ....                             | 29 |
| Figura 10-Plataforma Sulamericana e seus principais domínios geotectônicos. ....               | 31 |
| Figura 11-Coluna Litoestratigráfica proposta para área de estudo. ....                         | 36 |
| Figura 12-Bloco de rocha de composição granodiorítica, pertencente ao Complexo Cajazeira. .... | 37 |
| Figura 13-Afloramento de metassiltito da Formação Couto Magalhães. ....                        | 39 |
| Figura 14-Arenito do Grupo Serra Grande. ....  | 40 |
| Figura 15-Saprólito da Formação Barreiras. ....  | 41 |
| Figura 16-Mapa Geológico da área de estudo. ....   | 42 |
| Figura 17-Fluxograma do processamento das imagens Landsat TM. ....                             | 44 |
| Figura 18-Banda 4 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%. ....                                 | 45 |
| Figura 19-Banda 5 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%. ....                                 | 46 |
| Figura 20-Banda 7 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%. ....                                 | 47 |
| Figura 21-Composição colorida R4G5B7. ....   | 49 |
| Figura 22-Composição colorida R7G5B3. ....   | 50 |
| Figura 23-Fluxograma do tratamento de imagens aerogeofísicas. ....                             | 51 |
| Figura 24-Imagem da Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo. ....                       | 54 |
| Figura 25-Domínios magnéticos da Amplitude do Sinal Analítico. ....                            | 55 |
| Figura 26-Mapa de Derivada Vertical (DZ). ....   | 57 |
| Figura 27-Mapa radiométrico do canal U. ....   | 59 |
| Figura 28-Mapa radiométrico do canal U com os domínios. ....                                   | 60 |
| Figura 29-Mapa radiométrico do canal Th. ....  | 61 |
| Figura 30-Mapa radiométrico do canal Th com seus domínios. ....                                | 62 |

|  |    |
|--|----|
| Figura31-MDT da área de trabalho com os principais compartimentos geomorfológicos.....       | 64 |
| Figura 32-Imagem de relevo sombreado na área de estudo.....                                  | 65 |
| Figura 33-Mapa de Lineamento de relevo sombreado.....  | 66 |
| Figura 34-Rosácea retirada de lineamentos de relevo.....                                     | 67 |
| Figura 35-Mapa de rede drenagem da área de estudo.....                                       | 68 |
| Figura 36-Lineamento de drenagem.....  | 69 |
| Figura 37-Rosácea retirada de lineamentos de drenagem.....                                   | 70 |
| Tabela 3-Características da imagem Alos Palsar da área de estudo.....                        | 71 |
| Figura 38-Fluxograma do processamento das imagens Alos Palsar.....                           | 71 |
| Figura 39-Imagem Alos Palsar com as polarizações L-HH/VV/HH.....                             | 72 |
| Figura 40-Imagem Alos Palsar com a polarização L-HH e filtro linear de 2%.....               | 73 |
| Figura 41-Imagem Alos Palsar com a polarização L-VV e filtro linear de 2%.....               | 74 |
| Figura 42- Produto integrado L-HH/TM.....  | 76 |
| Figura 43- Produto integrado L-VV/TM.....  | 77 |
| Figura 44- Produto integrado L-HH/1DV.....   | 79 |
| Figura 45-Produto integrado L-VV/1DV.....  | 80 |
| Figura 46- Produto integrado L-HH/ASA.....   | 81 |
| Figura 47- Produto integrado L-VV/ASA.....   | 82 |
| Figura 48- Lineamento dos produtos integrados Alos Palsar/Magnetometria.....                 | 83 |
| Figura 49-Rosácea dos lineamentos Alos Palsar/Magnetometria.....                             | 84 |
| Figura 50-Produto integrado L-HH/Th.....   | 86 |
| Figura 51- Produto integrado L- VV/Th.....   | 87 |
| Figura 52- Produto integrado L-HH/U.....   | 88 |
| Figura 53- Produto integrado L-VV/U.....   | 89 |
| Figura 54-Lineamento dos produtos integrados Alos Palsar/Gamaespectrometria...90             |    |
| Figura55- Rosácea com os lineamentos produtos integrados Alos Palsar/Gamaespectrometria..... | 91 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 12 |
| 2 OBJETIVOS .....  | 14 |
| 2.1 GERAL.....   | 14 |
| 2.2 ESPECÍFICOS .....  | 14 |
| 3 JUSTIFICATIVA .....  | 15 |
| 4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO .....                   | 16 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 17 |
| 5.1 CONJUNTO DE DADOS.....   | 17 |
| 5.1.2 Softwares Utilizados .....                                   | 18 |
| 5.1.3 Sensoriamento Remoto.....                                    | 18 |
| 5.1.3.1 Imagem Landsat-5.....                                      | 18 |
| 5.1.3.2 Imagem SRTM.....   | 19 |
| 5.1.3.3 Imagem Alos Palsar.....                                    | 20 |
| 5.1.4 Aerogeofísica .....  | 21 |
| 5.1.4.1 Aeromagnetometria.....                                     | 22 |
| 5.1.4.2 Aerogamaespectrometria.....                                | 23 |
| 5.2 ETAPA DE CAMPO .....   | 24 |
| 6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS DA AREA DE ESTUDO ..... | 26 |
| 6.1 CLIMA .....  | 26 |
| 6.2 VEGETAÇÃO .....  | 27 |
| 6.3 HIGROGRAFIA .....  | 28 |
| 6.4 GEOMORFOLOGIA .....  | 29 |
| 7 GEOLOGIA REGIONAL.....   | 30 |
| 7.1 PROVÍNCIA CARAJÁS .....  | 32 |
| 7.2 PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS .....                                  | 32 |
| 7.3 PROVÍNCIA TOCANTINS .....                                      | 33 |
| 7.4 COBERTURA SEDIMENTAR PALEOZÓICA.....                           | 34 |
| 7.4.1 Bacia do Parnaíba.....                                       | 34 |
| 7.4.2 Bacia do Marajó .....  | 34 |
| 7.5 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....                                  | 35 |
| 7.5.1 Complexo Cajazeira (Mesoarqueano).....                       | 37 |
| 7.5.2 Grupo Rio Novo (Nearqueano).....                             | 37 |
| 7.5.3 Formação Tapirapé (Nearqueano) .....                         | 38 |
| 7.5.4 Formação Couto Magalhães (Neoproterozóico).....              | 38 |
| 7.5.5 Grupo Serra Grande (Siluriano) .....                         | 39 |
| 7.5.6 Formação Barreiras (Mioceno).....                            | 40 |
| 7.5.7 Depósitos Aluvionares (Quaternário) .....                    | 41 |
| 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                    | 43 |
| 8.1 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT/TM .....                     | 43 |
| 8.1.1 Bandas Individuais .....                                     | 44 |
| 8.1.2 Composições Coloridas.....                                   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 8.1.3 Considerações sobre o processamento das imagens LANDSAT-TM.....  | 48 |
| 8.2 AEROGEOFÍSICA.....   | 51 |
| 8.2.1 Resultados dos dados Aerogeofísicos.....                         | 53 |
| 8.2.1.1 Aeromagnetometria.....   | 53 |
| 8.2.1.2 Aerogamaespectrometria.....                                    | 58 |
| 8.2.1.3 Considerações sobre a Aerogeofísica.....                       | 63 |
| 8.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLOGICA .....                                | 63 |
| 8.3.1 Modelo digital de Terreno – MDT .....                            | 63 |
| 8.3.2 Relevo sombreado .....   | 64 |
| 8.3.3 Rede de drenagem.....  | 67 |
| 8.4 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ALOS PALSAR .....                        | 70 |
| 8.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS .....   | 75 |
| 8.5.1 Produtos Alos Palsar/TM.....                                     | 75 |
| 8.5.2 Produto Integrado Alos Palsar/Aerogeofísica .....                | 78 |
| 8.5.2.1 Produto integrado Alos Palsar/ Magnetometria.....              | 78 |
| 8.5.2.2 Produto integrado Alos Palsar/Gamaespectrometria.....          | 84 |
| 8.5.2.3 Considerações da integração da imagens SR e Aerogeofísica..... | 91 |
| 11 CONCLUSÃO.....  | 92 |
| REFERÊNCIAS.....   | 94 |
| APÊNDICE.....  | 99 |

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de métodos indiretos no mapeamento geológico tem se tornado uma prática comum no Brasil, principalmente em regiões com dificuldades de acesso e densa vegetação, como no caso à Amazônia. Nessas situações, mapas derivados do processamento e interpretação de dados aerogeofísicos, podem contribuir para a delimitação de unidades litológicas e estruturas, incluindo informações sobre sua profundidade e geometria.

A superfície da Amazônia Brasileira é de 4.874.000 km<sup>2</sup>, quase 58% do território nacional, uma área que dentre as muitas riquezas naturais que possui, apresenta grandes reservas minerais, muitas ainda pouco ou quase nada estudadas. No entanto, as dificuldades de acesso em ambientes deste tipo, devido a cobertura vegetal e profundo intemperismo em algumas regiões, tornou-se necessária à utilização de métodos mais avançados de extração indireta de informações, no que diz respeito aos sistemas sensores e processamento de imagens.

A técnica de integração de dados de diferentes naturezas (imagens ópticas, imagens de radar, dados geofísicos, geoquímicos) começou a ser difundida no final da década de 80 e tem sido utilizada com sucesso até os dias de hoje. A possibilidade de obtenção de melhores e mais detalhadas informações geológicas foi confirmada na região amazônica, principalmente devido a disponibilidade de levantamentos geofísicos em mais de 50% do território.

A utilização de dados de sensoriamento remoto na região teve seu advento na década de 70 com projeto RADAM (Radar na Amazônia), priorizando a coleta de dados sobre recursos minerais, solos, vegetação, uso da terra e cartografia da Amazônia e áreas adjacentes da região Nordeste. Em junho de 1971 iniciou-se o aerolevanteamento. Devido aos bons resultados do projeto, em julho de 1975 o levantamento de radar foi expandido para o restante do território nacional, visando o mapeamento integrado dos recursos naturais e passando a ser denominado Projeto RADAMBRASIL.

Devido aos poucos avanços no conhecimento geológico da região, o presente trabalho tem por finalidade integrar dados geofísicos e de sensoriamento remoto para geração de uma mapa geológico na escala 1: 150.000. Buscou-se desenvolver

e detalhar aspectos da cartografia geológica, retratando o contexto geológico da região escolhida para estudo, nos municípios de Marabá e Eldorado dos Carajás.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral a identificação e caracterização de feições geológicas regionais com base na integração de dados multifontes (imagens ópticas, de radar e aerogeofísica).

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar os procedimentos de pré-processamento aplicados nos dados aerogeofísicos;
- Manipulação e integração digital de dados multifontes (TM<sup>1</sup>, SAR<sup>2</sup>, Aerogeofísica) para utilização em interpretações geológicas;
- Aplicação de técnicas de processamento digital de imagens de SR<sup>3</sup> (correção geométrica e realce);
- Analisar e reconhecer lineamentos, correlacionando-os às feições tectono-estruturais regionais e contatos litológicos;
- Identificar os principais domínios magnéticos e gamaespectométricos existentes e avaliar sua correlação com unidades litoestratigráficas e estruturais da região.

Em nota de rodapé:

---

TM<sup>1</sup> (Thematic Mapper), SAR<sup>2</sup> (Synthetic Aperture Radar), SR<sup>3</sup> (Sensoriamento Remoto).

### 3 JUSTIFICATIVA

Dentre os aspectos que justificam a elaboração do presente trabalho destacam-se:

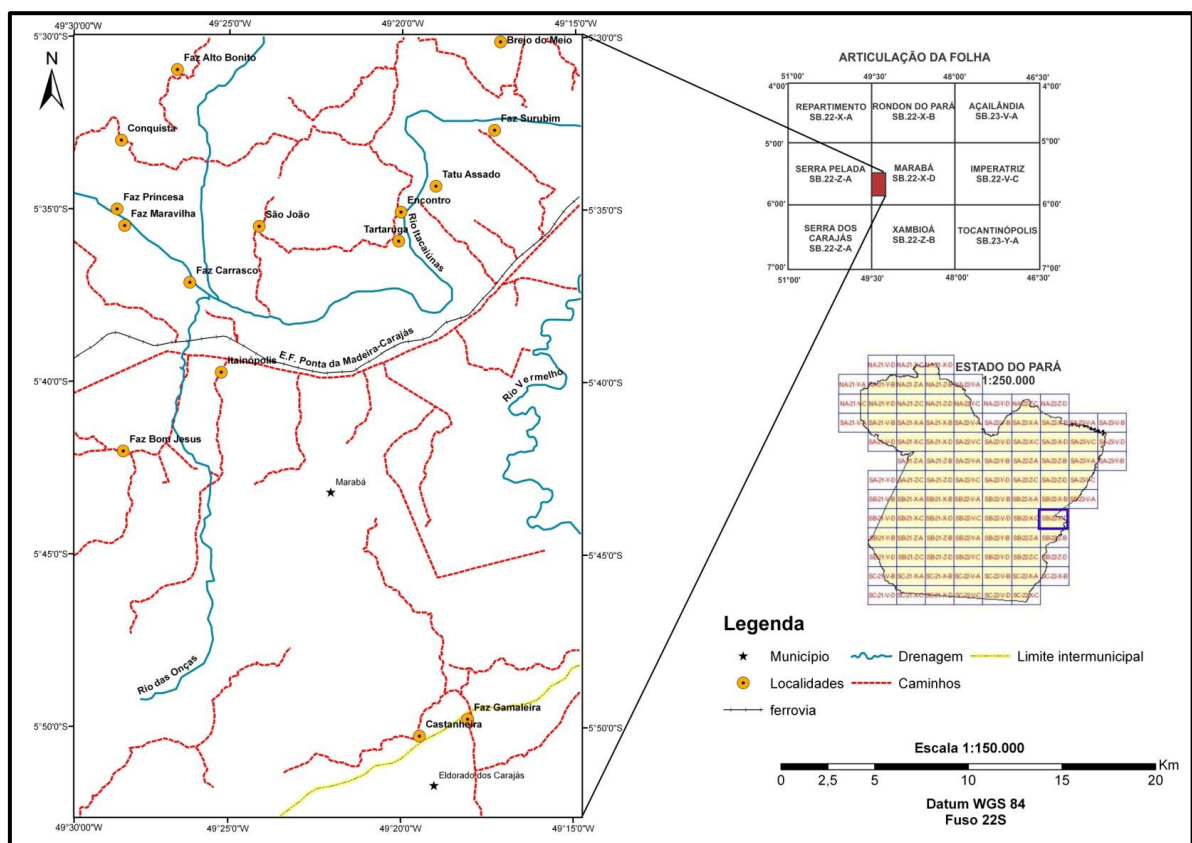
- I) A região específica que abrange a área deste trabalho apresenta poucos estudos geológicos realizados em escala local, bem como poucos trabalhos publicados;
- II) Os mapas geológicos desenvolvidos nesta região foram apresentados na escala 1: 1000.000 e compilados para a escala 1: 250.000 pelo Serviço Geológico do Brasil. Desta forma o presente estudo propõe a geração de produtos e mapas integrados na escala 1: 150.000;
- III) O bom desempenho das tecnologias para estudos indiretos, como por exemplo o Sensoriamento Remoto e a Aerogeofísica, visto que a área de estudo apresenta grande extensão territorial, extensa cobertura vegetal e forte atividade intempérica, fatores que dificultam o reconhecimento direto do arcabouço geológico.

#### 4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO

A área de estudo, está localizada na mesorregião do Sudeste Paraense, inserida na porção SW da Folha Marabá (SB-22-X-D), abrangendo aproximadamente 1.102 km<sup>2</sup>. A área apresenta formato retangular cujos vértices são limitados nas coordenadas 05°30'00"S e 49°30'00" W (vértice superior esquerdo) e 05°52' 45"Se 49°14' 48" W (vértice inferior esquerdo), Figura 1.

Na área de estudo encontram-se os limites territoriais dos municípios de Marabá (ocupando cerca de 90% da área) e Eldorado dos Carajás (aproximadamente 10% da área). A área pode ser alcançada a partir de Belém-PA pelas rodovia PA- 150 e BR 230; por via fluvial através dos rios Tocantins e Itacaiúnas; por transporte aéreo de Belém a Marabá; ou pela ferrovia que transporta o minério de ferro da Província Mineral de Carajás até o porto de São Luiz - MA.

Figura 1-Mapa de localização da área de trabalho, com composição colorida landsat-TM.



Fonte: Autora

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho compreendeu: i) revisão bibliográfica; ii) aquisição de dados de sensoriamento remoto e geofísicos; iii) análise dos mapas geológicos da Folha Marabá (SB-22-X-D) na escala 1:250.000, adquiridos junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM); iv) pré-processamento e processamento digital dos dados; e v) etapa de campo.

### 5.1 CONJUNTO DE DADOS

O conjunto de dados de sensores remotos e aerogeofísicos utilizados no presente trabalho é composto por: i) imagens TM LANDSAT-5 em diferentes bandas; ii) imagens SAR Alos Palsar; iii) Modelo Digital de Elevação do programa SRTM<sup>1</sup>; e iiiii) imagens aerogeofísicas, gamaespectométricas nos canais de Th e U e magnetométricas da primeira derivada vertical e amplitude do sinal analítico.

Os dados ópticos (TM) são disponibilizados pelo GLFC (*Global Land Cover Facility*), os MDT's<sup>4</sup> são provenientes do programa SRTM (NASA<sup>2</sup>), as imagens de radar Alos Palsar foram disponibilizados pelo IBGE<sup>3</sup> e os levantamentos geofísicos foram disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM<sup>5</sup>), Tabela 1.

Tabela 1- Características dos produtos de sensores utilizados.

| <b>Sistema</b>       | <b>Sensor</b> | <b>Ano de obtenção da imagem</b> | <b>Resolução Espectral</b> | <b>Resolução Espacial(m)</b> | <b>Fonte</b> |
|----------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------|
| <b>Landsat</b>       | TM            | 1988                             | 0,63-2,35µm                | 30                           | GLFC         |
| <b>ALOS</b>          | PALSAR        | 2006                             | -                          | 12,5                         | IBGE         |
| <b>SRTM</b>          | DEM           | 2000                             | 1                          | 30                           | INPE         |
| <b>Aerogeofísica</b> | Mag/Gama      | 1975/1976                        | -                          | 2000/1000                    | CPRM         |

Em nota de rodapé:

SRTM<sup>1</sup> (Shuttle Radar Topography Mission), NASA<sup>2</sup> (National Aeronautics and Space Administration), IBGE<sup>3</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), MDT's<sup>4</sup> (Modelo Digital de Terreno), CPRM<sup>5</sup> (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

### 5.1.2 Softwares Utilizados

Os *softwares* utilizados foram os seguintes:

- ArcGis 9.3: para integração geográfica e geração de mapas;
- Envi 4.7: pré-processamentos e processamentos dos dados;
- Erdas Imagine 9.1: pré-processamentos e processamentos dos dados;
- Global Mapper 11: para geração de modelo digital de terreno (MDT);
- GEOSOFT Oasis Montaj 5.1: tratamento dos dados aerogeofísicos.

### 5.1.3 Sensoriamento Remoto

#### 5.1.3.1 Imagem Landsat-5

O satélite Landsat-5 foi lançado em 1984 pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), carregando a bordo o sensor imageador TM (Thematic Mapper). O satélite cruza o Equador no sentido norte-sul de cada órbita às 9h45min. Cada órbita leva aproximadamente 99min, com 14.5 órbitas completadas em um dia, resultando numa repetitividade local de dezesseis dias (LILLESAND e KIEFER, 1987).

O TM é um sensor passivo, que funciona com base em um conjunto de dezesseis detectores para cada banda e um espelho oscilatório. Possui sete bandas cobrindo o visível, infravermelho próximo, médio e termal, com uma resolução espacial de 30m para todos os canais, exceto para a banda termal, cuja resolução é 120m (TERUIYA, 2002).

Para área de estudo foi utilizada a imagem Landsat-5 (Tabela 2) com a cena 223/64 (órbita/ponto) com data de aquisição de 22/07/1988 sendo que a mesma foi baixada gratuitamente pela internet através do site através do *Global Land Cover Facility*: [www.glfc.com](http://www.glfc.com).

Tabela 2- Características das imagens Landsat-TM.

| <b>Banda</b> | <b>Tamanho da Imagem</b> | <b>Órbita</b>                       | <b>Resolução Espectral</b> | <b>Resolução Espacial (m)</b> | <b>Tamanho da Cena (km)</b> | <b>Altitude (km)</b> |
|--------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 3            | 56586318 bytes           | Polar Circular<br>eheliossincrônica | 0,63-0,69 $\mu\text{m}$    | 30                            | 185x185                     | 705                  |
| 4            | 56586318 bytes           |                                     | 0,76,-0,90 $\mu\text{m}$   |                               |                             |                      |
| 5            | 56586318 bytes           |                                     | 1,55-1,75 $\mu\text{m}$    |                               |                             |                      |
| 7            | 56586318 bytes           |                                     | 2,08-2,35 $\mu\text{m}$    |                               |                             |                      |

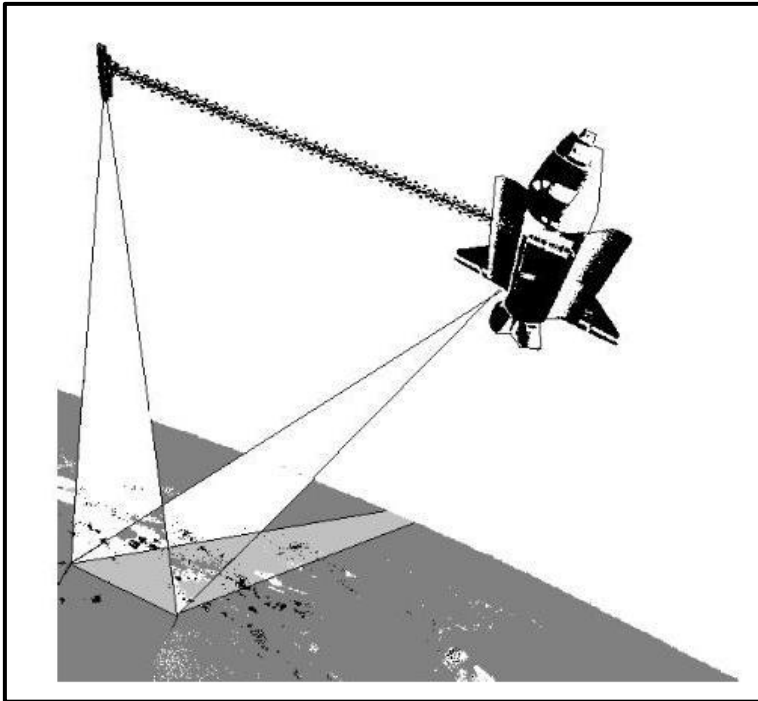
Fonte: Disponível no site da Embrapa CNPM.

### 5.1.3.2 Imagem SRTM

O Projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) representa a primeira experiência de interferometria, técnica da sobreposição de duas ou mais ondas (de entrada), o que cria como resultado uma nova e diferente onda que pode ser usada para explorar as diferenças entre as ondas de entrada. No período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, a bordo do Space Shuttle Endeavour (Figura 2), numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de 57°, um conjunto composto por duas antenas coletou 14 Terabytes de dados que permitiram a avaliação do perfil de altitude para criação de modelo digital tridimensional da Terra entre as latitudes 60°N e 58°S (CREPANI; VALERIANO, 2004).

Para área de estudo O Modelo Digital de Terreno (MDT) usado neste trabalho para avaliação geológica é oriundo do Programa *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM/NASA), distribuídos de forma gratuita pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com os dados reprocessados, com resolução espacial 30 metros (Programa Topodata). Os MDT's originais disponibilizados pela NASA possuem resolução espacial original de 90 metros.

Figura 2-Configuração das antenas a bordo do Endeavour para a missão SRTM.



Fonte:.. Modificado de Crepani e Valeriano, 2004

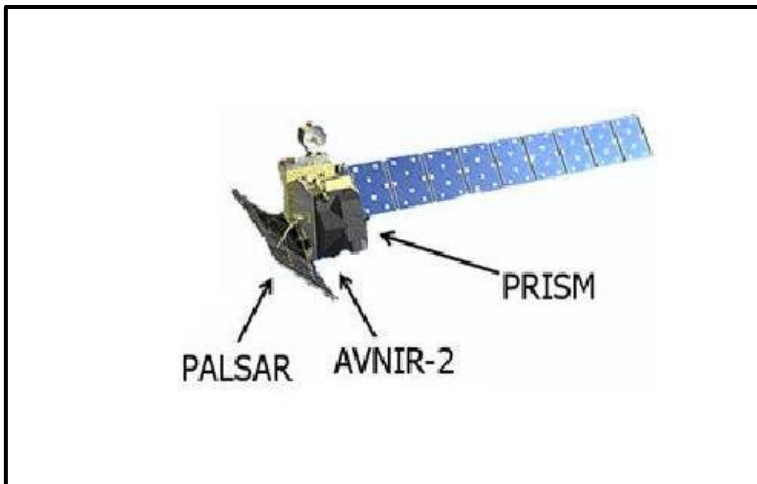
### 5.1.3.3 Imagem Alos Palsar

Lançado em 24 de Janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), o satélite para observação da Terra ALOS (Advanced Land Observing Satellite), foi desenvolvido para contribuir com pesquisas relacionadas ao sensoriamento remoto, uso e cobertura do solo, monitoramento de desastres e análise de recursos naturais, podendo ser empregado como busca no incremento de informações sobre as tecnologias de observação da Terra adquiridas no desenvolvimento e utilização de seus antecessores JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) e ADEOS (Advanced Earth Observation Satellite) (SHIMADA, 2009). A plataforma possui 3.5m de largura por 4.5m de comprimento e 6.5m de altura com um peso bruto de aproximadamente 4 toneladas, o que faz dele um dos maiores satélites de observação da Terra (FILHO 2010).

O Alos descreve uma órbita circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita a um mesmo ponto do planeta de 46 dias, é caracterizado por possuir três sensores (Figura 3), o PRISM (Panchromatic Remote sensing Instrument for Stereo Mapping), com 2,5 metros de resolução espacial com a finalidade de calcular com precisão a elevação da Terra por meio de três sistemas ópticos, o AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer), com resolução

espacial de 10 metros e funcionalidade de observar a cobertura da superfície terrestre e o PALSAR (Phased Arraytype L-band Synthetic Aperture Radar), o qual é um radar imageador de abertura sintética que opera em banda L (23,6 cm) e possibilita a observação da Terra independente do horário e condição climática (FILHO, 2010).

Figura 3-Esquema do Alos.



Fonte: Filho (2010).

#### 5.1.4 Aerogeofísica

Os levantamentos geofísicos aéreos no Brasil eram raros antes da década de 1970. A partir daquela década, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) efetivou alguns dos mais importantes levantamentos, que eram feitos em conjunto com empresas nacionais e internacionais. A partir daí a aerogeofísica virou um dos ramos das Geotecnologias que experimentou um dos maiores desenvolvimentos.

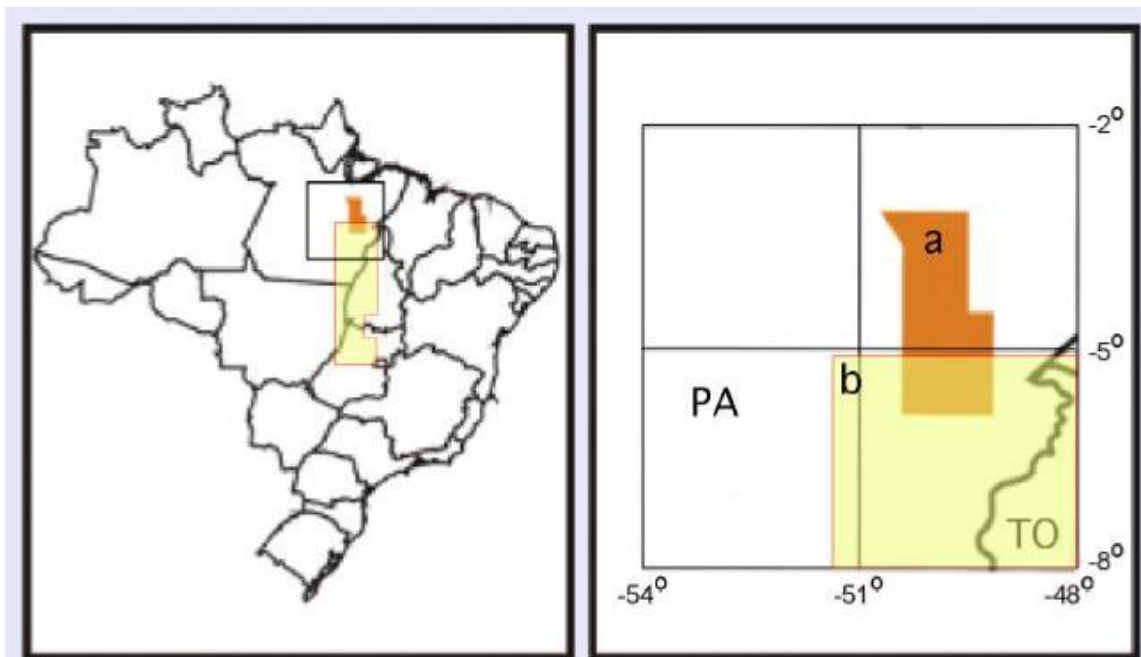
O estudo geológico da superfície de um terreno e sua relação no espaço e no tempo é de importância indiscutível para o entendimento das rochas em subsuperfície e para a localização de depósitos minerais. No entanto, nem sempre as rochas estão disponíveis sob a forma de afloramentos ou permitem inferências seguras sobre o que ocorre em profundidade. As informações geofísicas são ferramentas que auxiliam e complementam o estudo em superfície.

Os dados aerogeofísicos utilizados na área de estudo (Figura 4) fazem parte do programa de levantamentos geofísicos realizados pelo Serviço Geológico do

Brasil: **a.** Programa Aerogeofísico Tucuruí, disponibilizados a partir de 2011, e **b.** Projeto Geofísico Brasil – Canadá (PGBC), realizado no período de 1975 – 1976.

Os dados magnetométricos e gamaespectométricos do Programa PGBC foram obtidos através de linhas de vôo no sentido N-S, espaçadas de 2 km e 1 km respectivamente, com intervalo de amostragem equivalente a 65 metros na superfície, entretanto na área de estudo foi utilizada apenas o projeto PGBG, que recobre a região de estudo.

Figura 4-Localização do Levantamento utilizado na área de trabalho.



Fonte: Modificado de Felipe (2012).

#### 5.1.4.1 Aeromagnetometria

O princípio de aquisição e análise de dados magnéticos baseia-se no fato de que as variações nas propriedades magnéticas das rochas resultam em anomalias ou perturbações no campo geomagnético, que podem ser identificadas e medidas remotamente.

O método magnético fornece valiosas informações de sub-superfície permitindo inferências sobre os corpos não aflorantes (susceptibilidade, profundidade, atitudes e dimensões), limites de bacias, lineamentos estruturais, contatos geológicos e sobre prospecção de petróleo. O campo geomagnético é composto pelo campo principal, que está relacionado à estrutura interna da Terra; pelo campo externo (variações diurnas), que possui origem externa relacionada aos

impactos dos ventos solares com a ionosfera; e por variações do campo principal, causadas por anomalias magnéticas próximas da superfície da crosta terrestre. Tais variações (anomalias magnéticas) constituem os principais objetos de análise, podendo ser interpretadas para determinação das características geométricas e magnéticas dos corpos causadores em profundidade.

Assim, o campo magnético terrestre induz à formação de um campo magnético secundário nas rochas geralmente ricas em minerais magnético (principalmente a magnetita). Desta forma, existem dois tipos de anomalias de interesse geológico.

A primeira é aquela induzida pelo campo geomagnético, originado no núcleo externo da Terra e a propriedade magnética associada a esta anomalia é a susceptibilidade magnética. Este tipo de magnetização (induzida), é diretamente proporcional à intensidade do campo geomagnético. A segunda forma de anomalia, que pode, inclusive, se superpor à induzida, deve-se à magnetização remanescente natural das rochas, que existe mesmo na ausência do campo geomagnético externo. Trata-se de uma magnetização adquirida durante a formação e a evolução das rochas. A direção da magnetização remanescente não coincide necessariamente com o campo geomagnético local, ao contrário da forma induzida.

A existência da magnetização remanescente ou natural pode ser um complicador para a interpretação das anomalias magnéticas (SOARES, 2003).

#### 5.4.4.2 Aerogamaespectrometria

Define-se como radioatividade as transformações nucleares (decaimentos) acompanhadas da emissão de partículas ou energias características da instabilidade do núcleo de determinados elementos. A radioatividade tem sido muito usada como ferramenta na prospecção mineral e no mapeamento geológico. Na década de 70, por exemplo, a CPRM passou a utilizar a radioatividade natural em seus trabalhos de mapeamento geológico.

Segundo Cunha (2002) existem na natureza 51 núclídeos instáveis que durante o processo de desintegração atômica natural dos elementos radioativos emitem partículas radioativas constituídas por carga positiva ( $\alpha$  -alfa), carga negativa ( $\beta$ -beta) e radiações sob a forma de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas foram chamadas de raios gama e representam o excesso de

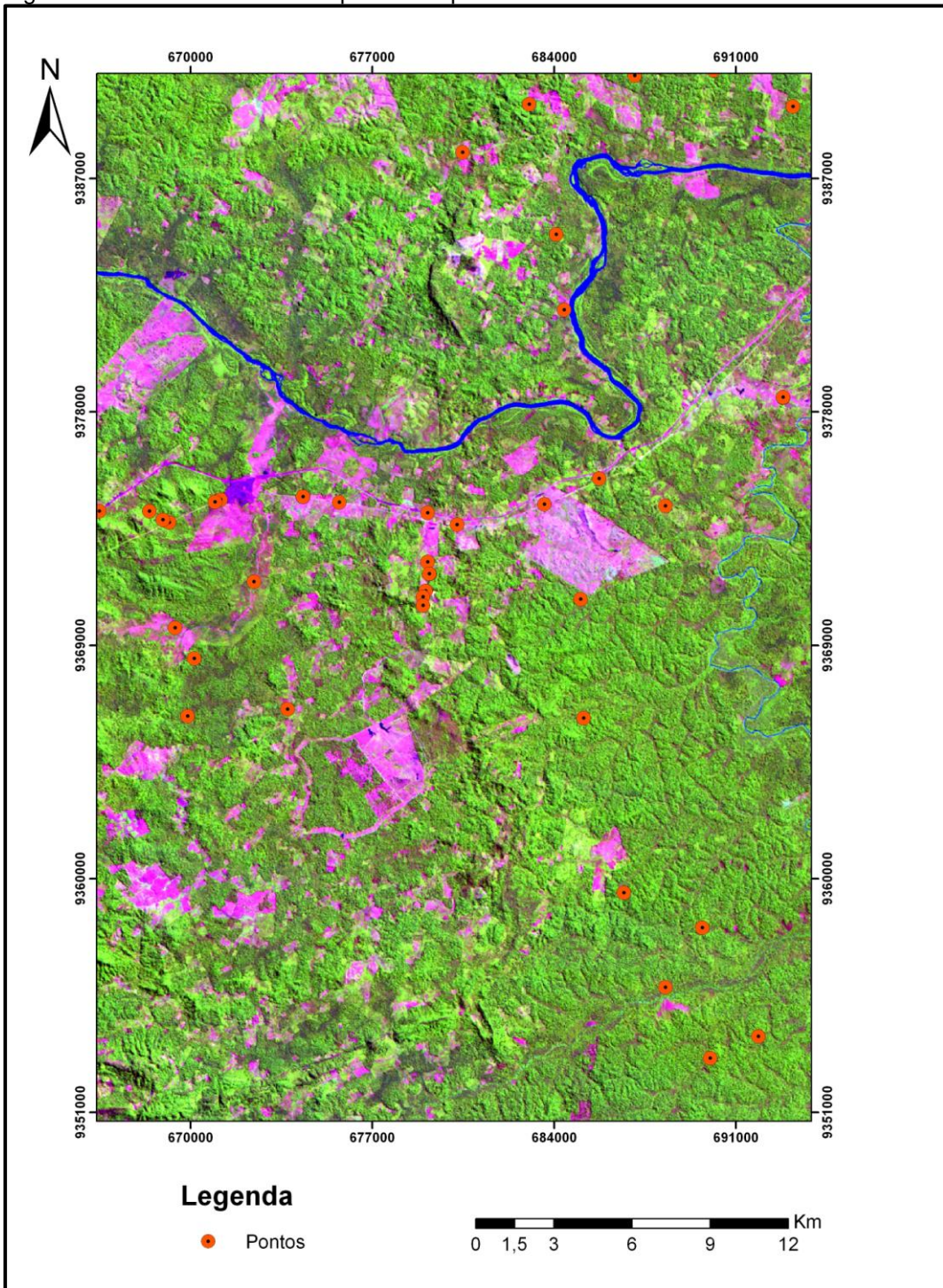
energia que é emitido a partir de átomos excitados. Estes raios possuem curtíssimos comprimentos de onda, inferiores aos dos raios-X.

As três emissões (partículas alfa, beta e raios gama) características da desintegração nuclear possuem diferentes capacidades de penetração (~50cm), sendo os raios gama os mais penetrantes. Devido ao seu maior poder de penetração, estes raios são utilizados nas medições da radiatividade nos levantamentos aerogeofísicos. A espectrometria de raios gama separa da radioatividade total convencional as contribuições energéticas dos isótopos da série do urânio (U), tório (Th) e potássio (K) (CUNHA, 2002).

## 5.2 ETAPA DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado em novembro de 2012. Na verificação de campo, procurou-se esclarecer relacionamentos entre os padrões detectados nos produtos integrados e a geologia, utilizando-se o GPS (Sistema de Posicionamento Global) para o registro das coordenadas de cada afloramento, registrando-o através de fotografias e descrição dos dados na caderneta. Foram 6 pontos coletados e 40 pontos controles e na área de estudo (Figura 5).

Figura 5-Ponto coletados na etapa de campo.



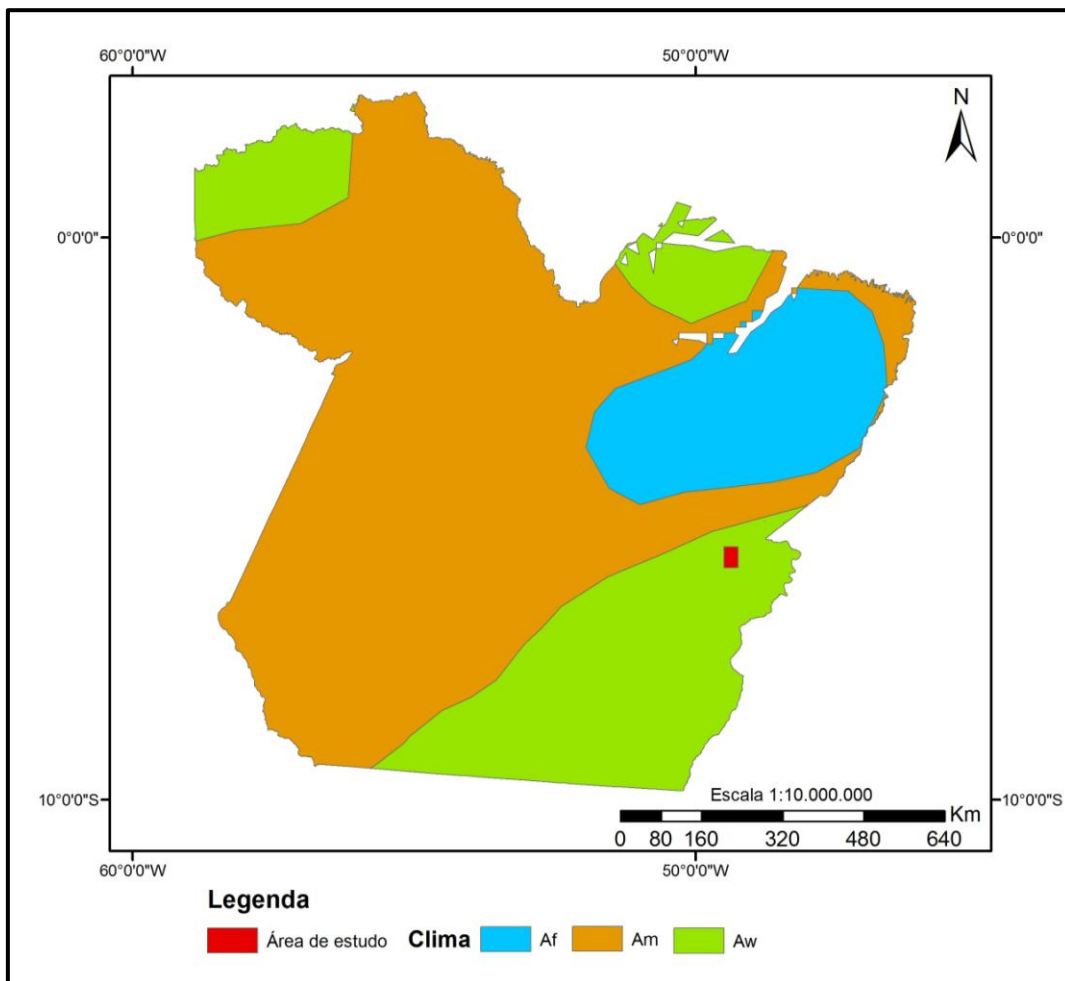
Fonte: Autora

## 6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

### 6.1 CLIMA

No Estado do Pará há a ocorrência de três distintos tipos climáticos, segundo a classificação de Köppen: Af, Am e Aw. O primeiro, cuja representação em termos de abrangência estadual é a menor dentre os três, não apresenta estação seca, com o mês menos chuvoso registrando precipitação igual ou superior a 60 mm. O segundo (Am) é considerado um clima intermediário entre o Af e Aw, com estação seca moderada e ocorrência de no mínimo um mês com precipitação média menor que 60 mm. Entretanto, o subtipo climático predominante na área de estudo (Figura 6) corresponde ao Aw, com temperaturas média mínima anual de 10°C a 26°C e média máxima de 25°C a 35°C, com chuvas de Janeiro a maio, o período de verão varia de junho a dezembro e umidade média anual é de 85% (CRUZ, 2010).

Figura 6-Clima da área de estudo segundo Köppen.



Fonte: Autora modificado de IBAMA (2012)

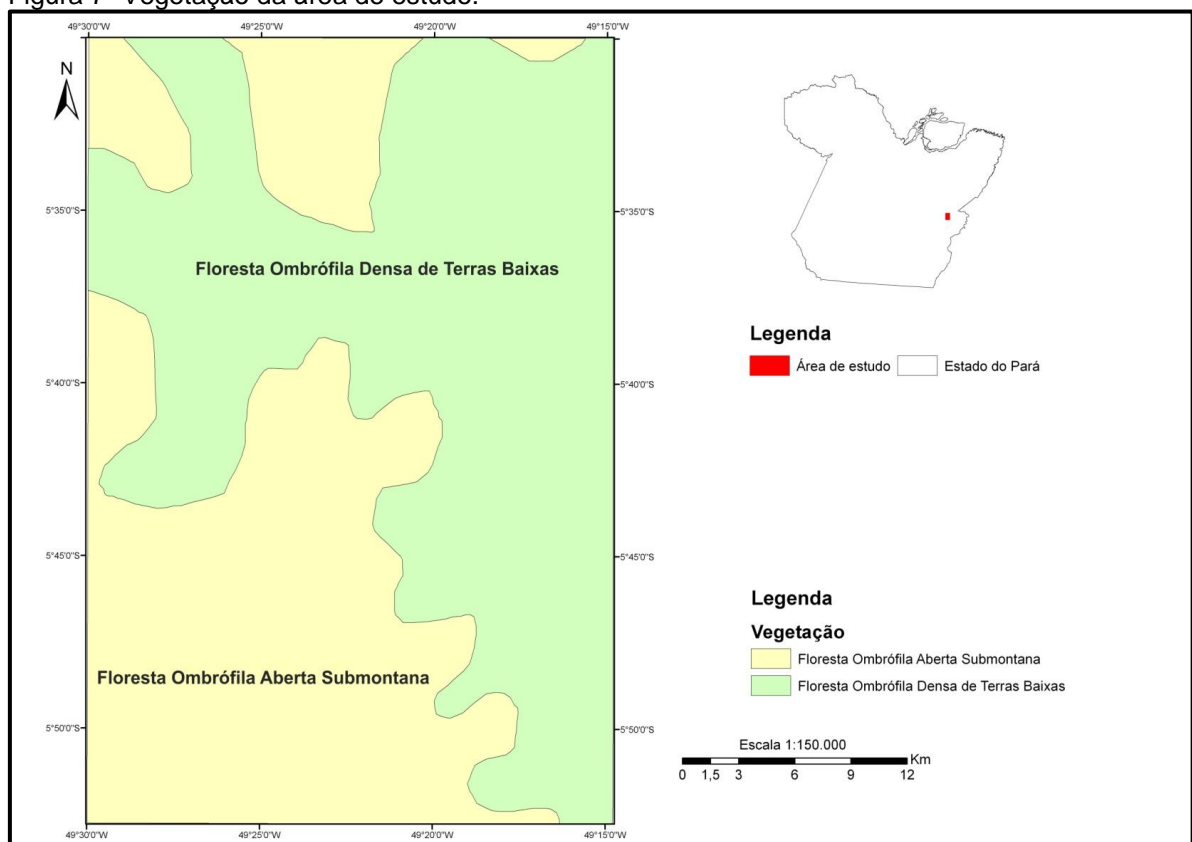
## 6.2 VEGETAÇÃO

Ao longo da área de estudo (Figura 7), ocorre dois diferentes tipologias vegetais: Floresta Ombrófila Aberta Submontana e Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

Segundo Cruz (2010) as tipologias vegetais da região possuem as seguintes características:

- A Floresta Ombrófila Aberta Submontana caracteriza-se principalmente por ecótipos que variam sob influência dos ambientes de acordo com a latitude, devendo-se ressaltar o fator de tempo nessa variação ambiental;
- A Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas é uma formação que ocupa normalmente as planícies costeiras, capeadas por tabuleiros plioleustocênicos do Grupo Barreiras. Sua ocorrência vai desde a Amazônia, estendendo-se através de todo o Nordeste, até próximo do rio São João, no Rio de Janeiro.

Figura 7- Vegetação da área de estudo.



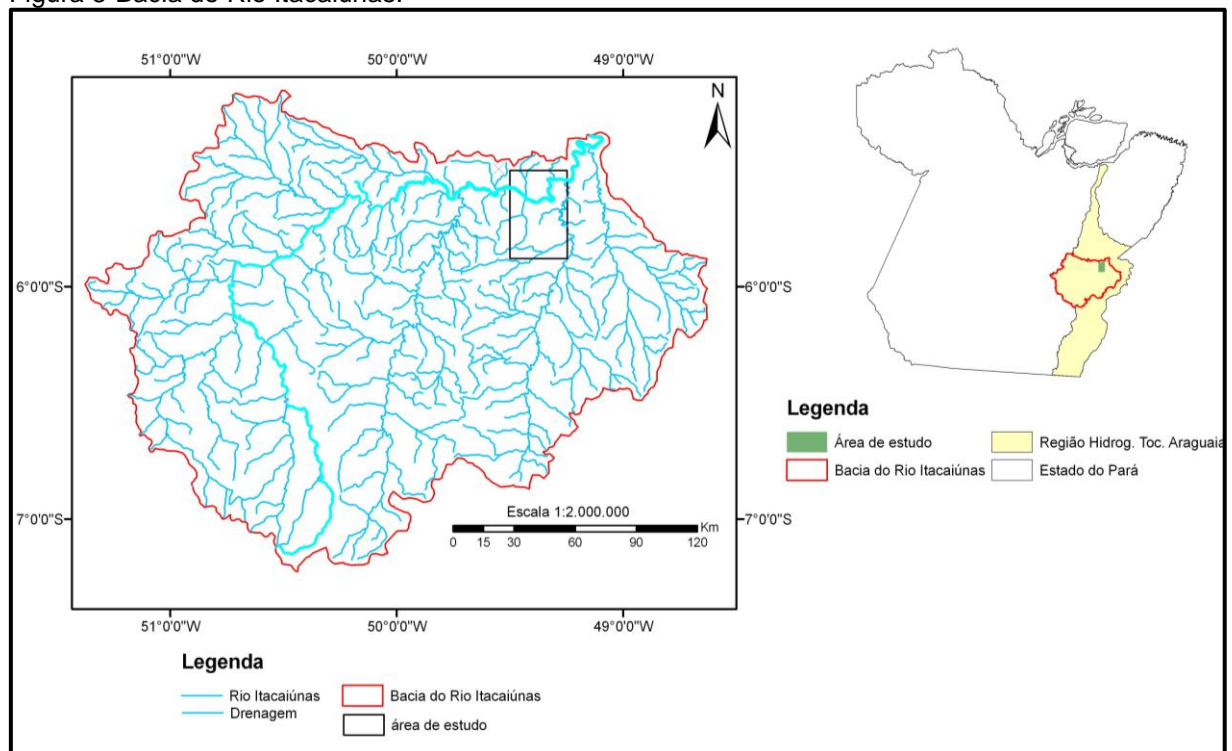
Fonte: Autora modificado de IBAMA (2012)

### 6.3 HIGROGRAFIA

A área de estudo é compreendida pela bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (Figura 8), localizada no Sudeste Paraense e inserida na região hidrográfica estadual Tocantins-Araguaia. Em termos percentuais a unidade fisiográfica representa cerca de 31,11% da região hidrográfica estadual Tocantins-Araguaia (129102,79 Km<sup>2</sup>) e 3,21% da área total do estado do Pará (CRUZ, 2010).

O rio Itacaiúnas, principal na região de estudo, nasce na Serra da Seringa no município de Água Azul do Norte, estado do Pará, e é formado pela junção de dois rios, o da água Preta e o Azul, desemboca na margem esquerda do rio Tocantins, próximo a cidade de Marabá.

Figura 8-Bacia do Rio Itacaiúnas.



Fonte: Autora modificado de ANA<sup>1</sup> (2012) e IBAMA<sup>2</sup> (2012)

Em nota de rodapé:

ANA ( Agência Nacional de Águas), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

## 6.4 GEOMORFOLOGIA

As feições geomorfológicas presentes na área de estudo são: **Relevo de Morros, Relevo de Colinas e Planície Aluvionar.**

Segundo Almeida et al. (2001), teve por base a interação de dados bibliográficos com os obtidos em sensores remotos e as observações de campo, descreve as principais unidades componentes da geologia regional:

- O Relevo de Platôs está relacionado às áreas de ocorrência das rochas sedimentares Grupo Serra Grande (Siluriano) e Formação Barreiras (Mioceno), corresponde a superfícies topograficamente aplainadas;
- O Relevo de Morros (Figura 9) ocorre em quase toda a área de estudo, os morros são alinhados na direção geral NW-SE, em forma de cristas estreitas e alongadas, em segmentos localizados das Unidades Rio Novo (Serra do Sereno), Tapirapé (Serra do Tapirapé), Conjunto Cajazeira e Grupo Serra Grande;
- A Planície Aluvionar caracterizada por superfícies extremamente horizontalizadas, às quais estão associados os sedimentos inconsolidados de idade quaternária, depositados nas margens dos cursos d'água.

Figura 9-Relevo de morros com topo convexo da área de estudo.



Fonte:Autora

## 7 GEOLOGIA REGIONAL

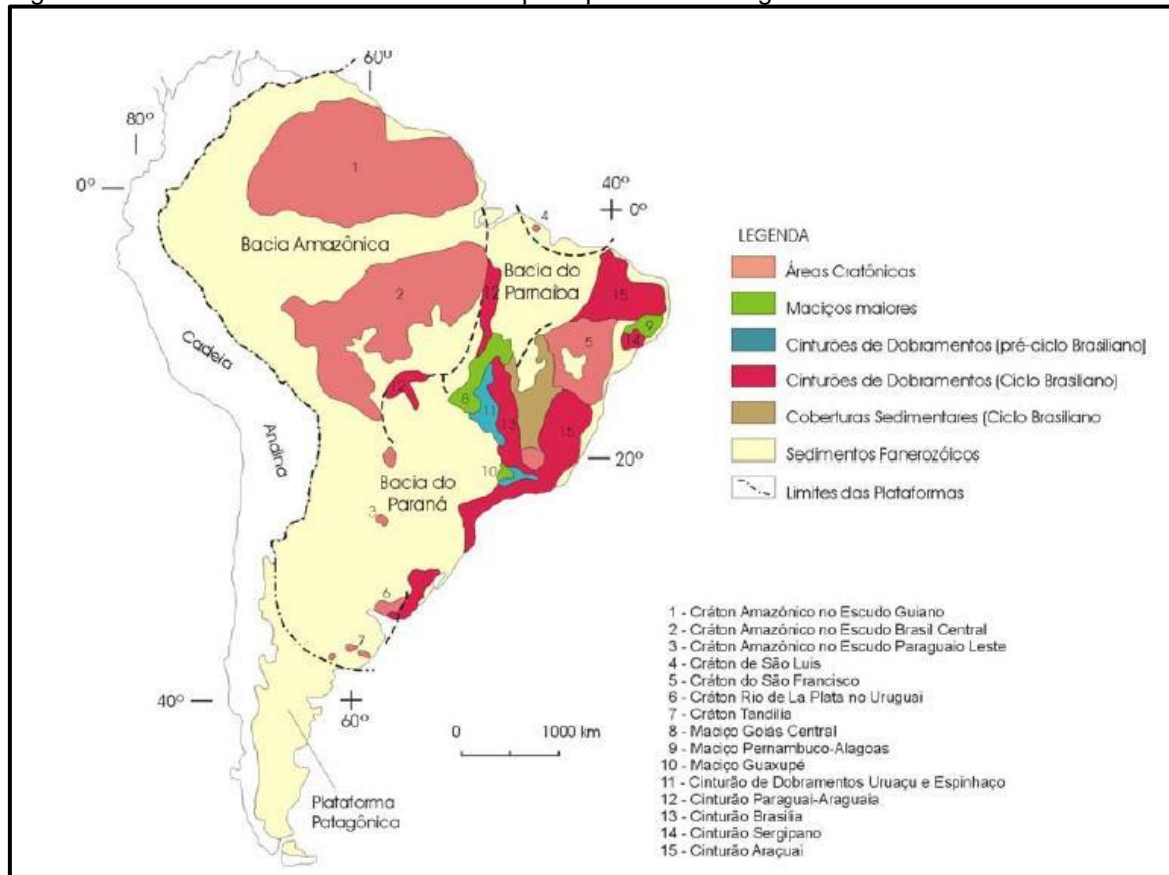
A região de estudo, localizado na porção SW da Folha Marabá (SB-22-X-D), está inserida no contexto geológico do Cráton Amazonas e Cinturão Araguaia, o Cráton Amazonas denominação introduzida por (ALMEIDA et al., 1981) na classificação das grandes unidades geotectônicas que constituem o continente sul-americano, nesta classificação a Plataforma Sulamericana é formada por crátons e maciços circundados por faixas móveis de diferentes idades e graus metamórficos.

O território brasileiro faz parte integralmente da Plataforma, cujo embasamento teve as mais recentes faixas de dobramentos consolidadas no limiar do Fanerozóico. A região de estudo compreende a porção sudeste do Cráton Amazonas no Escudo Brasil Central, localizando-se no limite do cráton com o Cinturão Paraguai-Araguaia (ALMEIDA; HASUI, 1984).

O Cráton Amazonas, nomenclatura conceituada por Santos et al. (2000), substituindo Cráton Amazônico ou Cráton Amazoniano, está localizado na porção norte da América do Sul (Figura 10), cobre uma área de aproximadamente 4.500.000 km<sup>2</sup>, que inclui a parte norte do Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. Seus limites são representados: I. A norte pela margem atlântica; II. Na porção oriental e meridional por faixas orogênicas neoproterozóicas marginais do Escudo Atlântico (cinturões Paraguai-Araguaia-Tocantins); III. Na porção ocidental com a Cadeia Andina recoberta por extensiva cobertura cenozoica (VASQUEZ; ROSA-COSTA; 2008).

Com base principalmente em dados geocronológicos e tectônicos Santos (2003), divide o cráton Amazonas em sete províncias tectônicas ou geocronológicas, são elas: Carajás (3000 – 2500 Ma), Transamazonas (2260 – 1990 Ma), Tapajós – Parima (2030 – 1860 Ma), Amazônia – Central (1900 – 1860 Ma), Rondônia – Juruena (1850 – 1540 Ma), Rio Negro (1820 – 1520 Ma) e Sunsás (1450 – 1000 Ma).

Figura 10-Plataforma Sulamericana e seus principais domínios geotectônicos.



Fonte: Modificado Almeida e Hasui, 1984.

As províncias tectono-estruturais ou geocronológicas e seus domínios que afloram na Folha Marabá (SB-22-X-D), de acordo com o Serviço Geológico do Brasil (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008), são: Transamazonas (Domínio Bacajá), Carajás (Domínio Carajás e Domínio Rio Maria), Tocantins (Cinturão Araguaia), Parnaíba (Bacia do Parnaíba / Marajó-Grajaú) e unidades cenozóicas.

Na área de estudo, as unidades geológicas são: Domínio Carajás ( Grupo Rio Novo), Domínio Bacajá (Complexo Cajazeira e Formação Tapirapé), Cinturão Araguaia (Fm. Couto Magalhães), depósitos fanerozóicos Bacia do Parnaíba (Grupo Serra Grande), Bacia do Marajó, Sub-Bacia de Mocajuba (Formação Barreiras) e depósitos aluvionares.

## 7.1 PROVÍNCIA CARAJÁS

A Província Carajás está situada na parte leste-sudeste do cráton Amazonas. Representa a porção crustal mais antiga, em que os estudos geocronológicos de U-Pb de Gibbs et al. (1986) e de Machado et al. (1991) demonstraram que a idade da Província Carajás é arqueana e não paleoproterozóica como era considerado anteriormente, atualmente representa a principal província mineral do País (Fe, Cu, Au e Mn) e tem como características principais sua idade predominantemente arqueana, estruturação disposta segundo WNW–ESE e aparente ausência de rochas geradas durante o ciclo Transamazônico (BIZZI et al., 2003). A Província Carajás foi dividida em dois domínios, proposta por Santos (2003), com base em anomalias magnetométricas, não coincidentes com contatos geológicos que são os seguintes: Domínio Rio Maria e Domínio Carajás.

O Domínio Rio Maria é caracterizado por associações tipo granitóide-greenstone, de crosta juvenil mesoarqueana. Em contraste o Domínio Carajás é uma região de crosta continental predominantemente neoarqueana, caracterizada principalmente por sequências metavulcanosedimentares e granitóides de alto K (VASQUEZ; ROCA-COSTA, 2008).

## 7.2 PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS

A Província Transamazonas proposta por Santos (2003), representa um expressivo orógeno paleoproterozóico, com evolução relacionada ao Ciclo Transamazônico (2,26 – 1,95 Ga), que estende ao longo da porção oriental do Cráton Amazonas, desde o nordeste do Escudo Brasil Central, e recobrando a porção setentrional do Escudo das Guianas, através do norte do Brasil (Amapá e noroeste do Pará), Guiana Francesa, Suriname, Guiana e leste da Venezuela.

Segundo a proposta de compartimentação tectônica do Cráton Amazônico de Tassinari e Macambira (2004), este órogeno corresponde à Província Maroni-Itacaiúnas, e em escala global é correlacionado aos terrenos birrimianos do Cráton Oeste Africano, formados durante o Evento Eburneano (FEYBESSE; MILES, 1994; LEDRU et al., 1994; ONSTOTT; HARGRAVES, 1981; ONSTOTT et al., 1984). Em linhas gerais, a Província Transamazonas consiste de grandes domínios juvenis paleoproterozóicos e segmentos arqueanos retrabalhados durante o Evento Transamazônico, observados principalmente no Bloco Amapá (ROSA-COSTA

2006), no Domínio Bacajá, e no Bloco Imataca (MONTGOMERY; HURLEY, 1978), este último ocorrendo na Venezuela. Para a região de pesquisa afloram somente rochas do Domínio Bacajá.

### 7.3 PROVÍNCIA TOCANTINS

A Província Estrutural Tocantins (ALMEIDA et al., 1977), representa um sistema de orógenos essencialmente neoproterozóicos, denominados faixas Brasília, Paraguai e Araguaia, e Arco Magmático de Goiás, cuja evolução se deu durante o Ciclo Orogênico Brasileiro/Pan- Africano, a partir da convergência e colisão de blocos continentais: o Cráton Amazonas (a oeste), o Cráton São Francisco (a leste) e o Cráton Paranapanema (a sudoeste, e encoberto por rochas fanerozóicas da Bacia do Paraná), durante a amalgamação do Gondwana Oriental (BIZZI et al., 2003), além dos orógenos neoproterozóicos, a Província Tocantins é constituída por diversos terrenos com idades que variam do Mesoarqueano ao Mesoproterozóico, tendo sido todos eles retrabalhados durante o Ciclo Orogênico Brasileiro, está situada na porção central do país, nos estados do Pará, Tocantins e Goiás.

O cinturão Araguaia segundo Almeida et al. (1981), está localizado na porção setentrional desta província, apresenta aproximadamente 1200 km e, prolongando-se na direção N-S, margeando a borda leste do Cráton Amazônico, desde o extremo norte do estado do Tocantins até o noroeste de estado Goiás, onde é recoberto pelos sedimentos neógenos da Bacia do Bananal, os quais recobrem a região de articulação deste cinturão com o Cinturão Paraguai, que contorna a borda sul do Cráton Amazonas, com direção principal E-W. A leste, o Cinturão Araguaia é recoberto por rochas sedimentares fanerozóicas da Bacia do Parnaíba, e a sudeste faz contato com o Maciço de Goiás (ALMEIDA et al., 1976), cujo limite é marcado por um sistema de transcorrências de direção NE-SW que definem o Lineamento Transbrasileiro.

No estado do Pará, as unidades neoproterozóicas que constituem o Cinturão Araguaia são os grupos Baixo Araguaia e Tucuruí, que representam uma Sequência de Margem Passiva e os corpos máfico-ultramáficos dos complexos Quatipuru e Serra do Tapa, incluídos na unidade litotectônica Ofiolitos e Rochas Relacionadas, ambas relacionadas a fase pré-orogênica do Ciclo Brasileiro.

## 7.4 COBERTURA SEDIMENTAR PALEOZÓICA

### 7.4.1 Bacia do Parnaíba

Esta denominação é atribuída à bacia sedimentar intracratônica situada na região norte-nordeste do Brasil, cuja estratigrafia é definida pelos Grupos Serra Grande, Canindé, Balsas e Mearim, representados por rochas sedimentares predominantemente siliciclásticas, que perfazem uma espessura máxima de 3.000 metros. Estas unidades constituem três grandes ciclos evolutivos transgressivo-regressivos (GÓES, 1995) e estão representadas, restritamente, na porção leste e nordeste do estado pelo Grupo Serra Grande, formações Pimenteiras e Poti do Grupo Canindé, formações Piauí e Pedra de Fogo do Grupo Balsas e Formação Pastos Bons do Grupo Mearim.

### 7.4.2 Bacia do Marajó

A Bacia do Marajó é formada por um conjunto de Sub-bacias: Mexiana, Limoeiro, Cameté e Mocajuba, originadas durante abertura do oceano Atlântico Equatorial, no Eo-Cretáceo (AZEVEDO, 1991; COSTA et al., 1996; FELIPE, 2012; GALVÃO, 1991; GÓES;ROSSETTI, 2001; LIMA, 1987; SCHOBENHAUS; NEVES, 2003; SILVA et al., 2003; SOARES JR., 2007; SZATMARI et al, 1987; VILLEGAS, 1994). Este Sistema localiza-se na região Norte/Meio-Norte do Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente 180.000 km<sup>2</sup>.

A estrutura apresenta geometria alongada, com falhas normais NW e NNW cortadas por falhas transcorrentes NE e ENE, sendo limitado pela Foz do Rio Amazonas (Norte) Cinturão Araguaia (Sul) e arcos Gurupá (Oeste) e Tocantins (Leste) (COSTA et al., 2002; SOARES JR., 2007; VASQUEZ et al., 2008). A Sub-bacia de Mocajuba é delimitada pelo Cinturão Araguaia (Sul), Cráton Amazonas (Oeste) e Bacia de São Luís-Grajaú (Leste), tendo como embasamento rochas paleozóicas da Bacia do Parnaíba e pré-cambrianas do Cráton Amazonas e Cinturão Araguaia. Seu preenchimento sedimentar, definido em subsuperfície, é representado pelas seguintes formações: Jacarezinho/Breves (Albo-Cenomaniano), Anajás (Cenomaniano/Turoniano), Limoeiro (Cretáceo Superior/Terciário Inferior), Marajó (Paleoceno/Mioceno) e Tucunaré/Pirarucú (Quaternário) (FELIPE, 2012; GALVÃO, 199; LIMA, 1987; SCHALLER et al., 1971; VILLEGAS, 1994).








## 7.5 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A área de estudo está inserida entre três províncias tectônicas: 1) Província Carajás, representada pelo Grupo Rio Novo que está inserida no Domínio Carajás; 2) Província Transamazonas representada pelo Complexo Cajazeira e Formação Tapirapé inseridas no Domínio Bacajá; 3) Província Tocantins representada pela Formação Couto Magalhães, além coberturas sedimentares pouco estudada, pertencente a Bacia do Parnaíba e a sub-bacia de Mocajuba, da Bacia do Marajó (Figura 11).

Esta última cobertura sedimentar (Formação Barreiras) é diferente da divulgada pelo Serviço Geológico do Brasil, sendo proposta por FELIPE (2012), substituindo a Formação Itapecuru (Bacia do Parnaíba).

Na etapa de campo, não foi possível mapear o Grupo Rio Novo e a Formação Tapirapé, localizada na porção extremo sudoeste da área de estudo, em decorrência da falta de acesso, seus limites são propostos pelo mapeamento da Folha Marabá (SB-22-X-D) segundo Vasquez e Rosa-Costa (2008).

Figura 11-Coluna Litoestratigráfica proposta para área de estudo.

| Éon          | Era             | Período   | Unidades              |   | Descrição  |
|--------------|-----------------|-----------|-----------------------|---|--|
| FANEROZÓICO  | Cenozóico       | NEÓGENO   | Depósitos Aluvionares |    | Areias, pelitos e cascalhos de deposição fluvial recente.  |
|              |                 |           | Formação Barreiras    |    | Calcários intercalados com folhelhos, argilitos e arenitos de ambiente marinho transicional a plataformal; argilitos, arenitos e conglomerados de ambiente litorâneo dominado por correntes de maré. |
|              | Paleozóico      | SILURIANO | Grupo Serra Grande    |    | Arenitos finos a médios, conglomerados, folhelhos e siltitos. Ambiente glacial, flúvio-deltáico e marinho raso.  |
| PROTEROZÓICO | Neoproterozóico | TONIANO   | Fm. Couto Magalhães   |   | Metasiltitos subordinados com metamorfismo anquimetamórfico ou em fácies xisto verde.  |
| ARQUEANO     | Neoarqueano     |           | Formação Tapirapé     |  | Ortoanfíbolitos, xistos máficos e ultramáficos, metamorfisados em fácies xisto verde a anfíbolito.   |
|              |                 |           | Grupo Rio Novo        |  | Xistos máficos e ultramáficos, serpentinitos, quartzitos, xistos micáceos e metapelitos em fácies xisto verde baixo a alto.  |
|              | Mesoarqueano    |           | Complexo Cajazeira    |  | Ortognaisse originalmente enderbíticos a charnockíticos frequentemente retrometamorfisados, contendo localmente, ortopiroxênio.  |

Fonte: Autora

### 7.5.1 Complexo Cajazeira (Mesoarqueano)

Em linhas gerais, o Complexo Cajazeira é composto por granulitos reidratados, tonalíticos a graníticos, com textura granulíticas e milonitos de alto grau. Este complexo apresenta idade arqueana (Figura 11) datada por Vasquez et al. (2008) com um gnaiss granodiorítico datado pelo método de evaporação de Pb em zircão, fornecendo idade mínima para cristalização do protólito de  $2942 \pm 4$  Ma.

Nos trabalhos de campo foram localizados blocos de rochas de composição granodiorítica (Figura 12) na estrada paralela a ferrovia que corta a área de estudo na direção E-W. Esses blocos apresentam coloração cinza esverdeado e alta concentração de álcali feldspato, porém bastante alterado, não foi encontrado nenhum afloramento desta unidade.

Figura 12-Bloco de rocha de composição granodiorítica, pertencente ao Complexo Cajazeira. (X: 0666358; Y:9374097)



Fonte:Autora

### 7.5.2 Grupo Rio Novo (Nearqueano)

O Grupo Rio Novo, localizado no Domínio Carajás, na área de estudo encontra-se na porção sudoeste, constitui uma sequência supra crustal metavulcano-sedimentar, exibindo características de um segmento tipo greenstone belts e compondo uma larga variedade de tipos litológicos. Esses tipos mostram

uma acentuada deformação polifásica e metamorfismo de baixo grau, com paragênese compatível com a fácies xisto-verde (ALMEIDA et al., 2001) apresentando idade mínima neoarqueana, sugerida pelas idades do Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga  $2763 \pm 7$  Ma (MACHADO et al., 1991) e do Complexo Granítico Estrela  $2763 \pm 7$  Ma, (BARROS et al., 2001), ambos intrusivos neste grupo.

Outra indicação de idade arqueana (Figura 11) para este grupo é a idade de  $2658 \pm 213$  Ma (Pb-Pb em rocha total), obtida por Reis et al. (2001) em rochas metamáficas no depósito de Serra Verde, a oeste de Curionópolis.

### **7.5.3 Formação Tapirapé (Nearqueano)**

A unidade é representada por um conjunto de meta basitos ortoderivados, que exibem uma marcante invariabilidade textural e composicional, sendo a porção basal do Grupo Vila União constitui uma faixa metamórfica de trend WNW-ESE, segundo Oliveira et al. (1994), os índices geoquímicos utilizados por Almeida et al. (2001), indicaram que esta unidade apresenta idade arqueana ocupa preferencialmente ambiente oceânicos, arcos insulares ou ilhas oceânicas, situando-se na faixa de toleitos de arcos insulares.

### **7.5.4 Formação Couto Magalhães (Neoproterozóico)**

A formação pertence ao Grupo Tocantins que está inserida no Cinturão Araguaia. Esta unidade é constituída essencialmente por um conjunto de rochas de baixo grau metamórfico representada por filitos pelíticos e filitos grafitosos, metarcósios, metassiltitos e lentes de quartzitos. Os filitos pelíticos apresentam granulação fina, coloração cinza esverdeada e são constituídos por sericita, clorita e quartzo (GORAYEB, 1981). Segundo Souza e Moreton (1995) se referem a estruturas sedimentares primárias preservadas em metarcósios da Formação Couto Magalhães, como estratificações plano-paralelas e cruzadas. Segundo Figueiredo et al. (1994), o metamorfismo para essas rochas varia de anquimetamórfico a fácies xisto verde.

Na área estudo a Formação Couto Magalhães, aflora ao longo da estrada paralela a ferrovia que corta a área na direção E-W e próximo a fazenda Itacaiúnas e na localidade de Itainópolis, afloram rochas de baixo grau metamórfico, representado por metassiltitos (Figura 13), com acamamento mergulhando  $45^\circ$  para sudoeste.

Figura 13-Afloramento de metassiltito da Formação Couto Magalhães. (X:0692817; Y:9378554)



Fonte:Autora

#### **7.5.5 Grupo Serra Grande(Siluriano)**

O Grupo Serra grande pertence a Bacia do Parnaíba, que teve sua evolução e deposição de suas unidades geológicas, tanto no Paleozóico quanto no Mesozóico, através da implantação de um regime distensivo controlado pela estruturação antiga de seu embasamento. No Paleozóico, o referido regime extensional teve o eixo de estiramento máximo orientado segundo a direção NW-SE, enquanto no Mesozóico tal eixo orientou-se segundo a direção NE-SW.o Grupo Serra Grande é composto pelas formações Ipu , Tianguá e Jaicós, Góes e Feijó (1994) apresenta também uma unidade indivisa (Serra do Paredão).

Na área de estudo o Grupo Serra Grande (Figura 14) encontra-se na porção central da área de estudo, afloram rochas sedimentares do tipo lajedo, são arenitos de coloração cinza escura de granulação fina, a maioria dos afloramentos encontram-se bastante alterados.

Figura 14-Arenito do Grupo Serra Grande.(X:0674328; Y:9374724)



Fonte: Autora

### 7.5.6 Formação Barreiras (Mioceno)

Esta unidade é composta por sedimentos das falésias que ocorrem ao longo da costa litorânea do Brasil. Moura (1993) denominou de Formação Barreiras os sedimentos subjacentes à Formação Pirabas, considerando-os de idade pliocênica, Bigarella e Andrade (1964). Na etapa de campo esta unidade encontra-se próximo a localidade Brejo do Meio, na porção nordeste da área de estudo, porém não afloram é possível observar apenas o saprólito (Figura 15) desta cobertura. Estes depósitos são carentes de estudos sedimentológicos e estratigráficos de detalhe, o que tem ocasionado controvérsias quanto ao seu posicionamento estratigráfico e nomenclatura (SOUZA ; SANTOS JR, 2010).

Segundo FELIPE (2012) essas rochas sedimentares são pouco consolidadas, constituídas por argila de coloração variada, associada a camadas arenosas e níveis silteicos ou conglomeráticos. Os depósitos sedimentares avaliados indicam deposição em meio aquoso e possuem um aspecto geral semelhante aos depósitos da Formação Barreiras descritos no norte do Brasil.

Figura 15-Saprólito da Formação Barreiras.(X:0698279; Y:9405004)

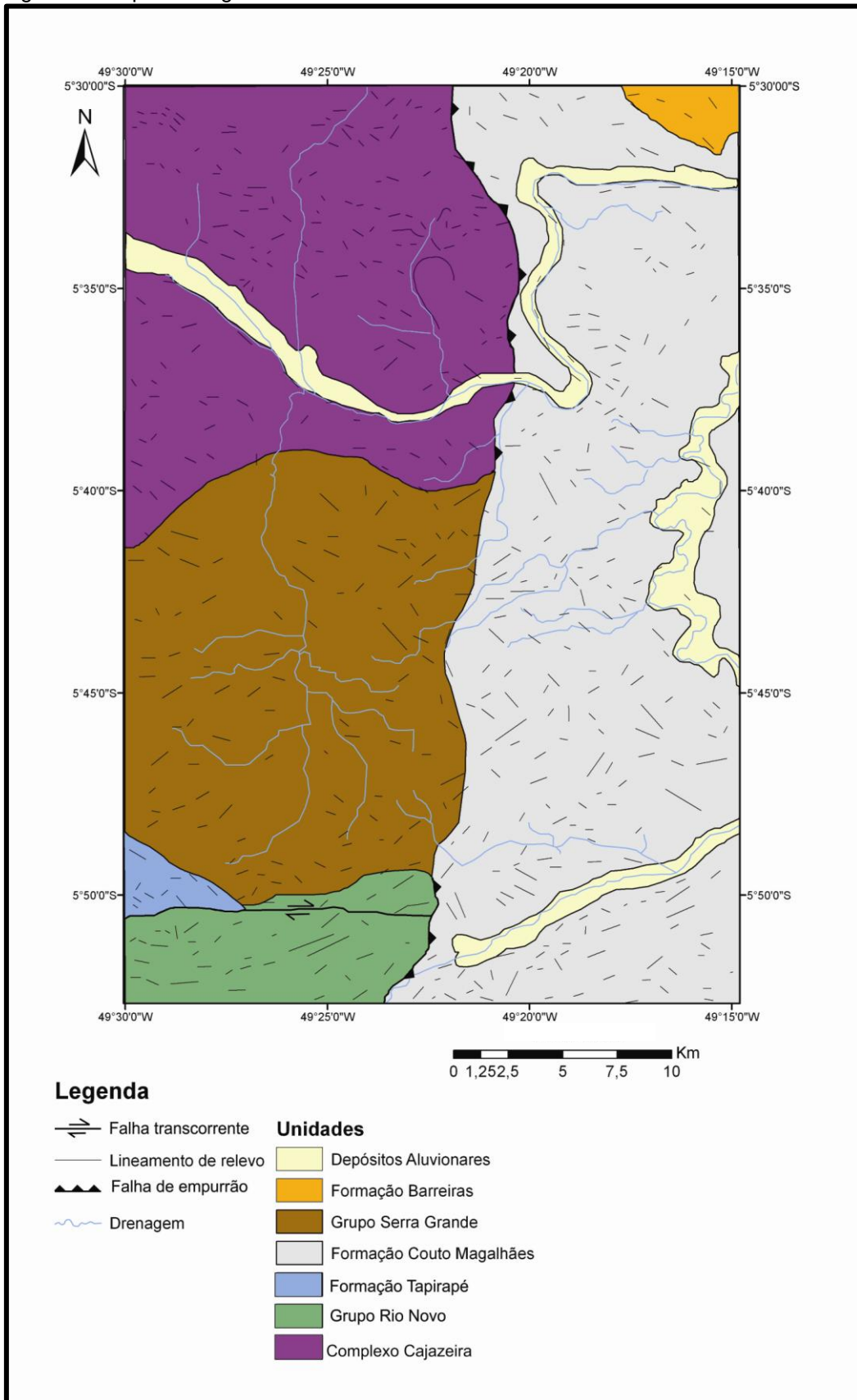


Fonte:Autora

### 7.5.7 Depósitos Aluvionares (Quaternário)

Estas coberturas sedimentares (Figura 16) são constituídas por siltes, argila, areias e cascalhos, originadas de um sistema fluvial entrelaçado, e meadrante, assim como, ambiente lacustre (ALMEIDA et. al., 2001). Esses depósitos são extensos e constituem de terraços aluvionares, alúvios e colúvio, nas margens dos Rios Itacaiúnas, Tocantins e Araguaia e de vários afluentes desses rios, ocorrem terraços e aluviões, compostos principalmente de areia (FELIPE, 2012).

Figura 16-Mapa Geológico da área de estudo.



Fonte: Autora modificado de CPRM (2008)

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 8.1 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT/TM

Para a área de estudo foi utilizada uma cena LANDSAT/TM com órbita/ponto 064/223, as bandas utilizadas foram: 3,4,5 e 7 que foram colocadas em um mesmo arquivo e em seguida foi recortada a área de interesse.

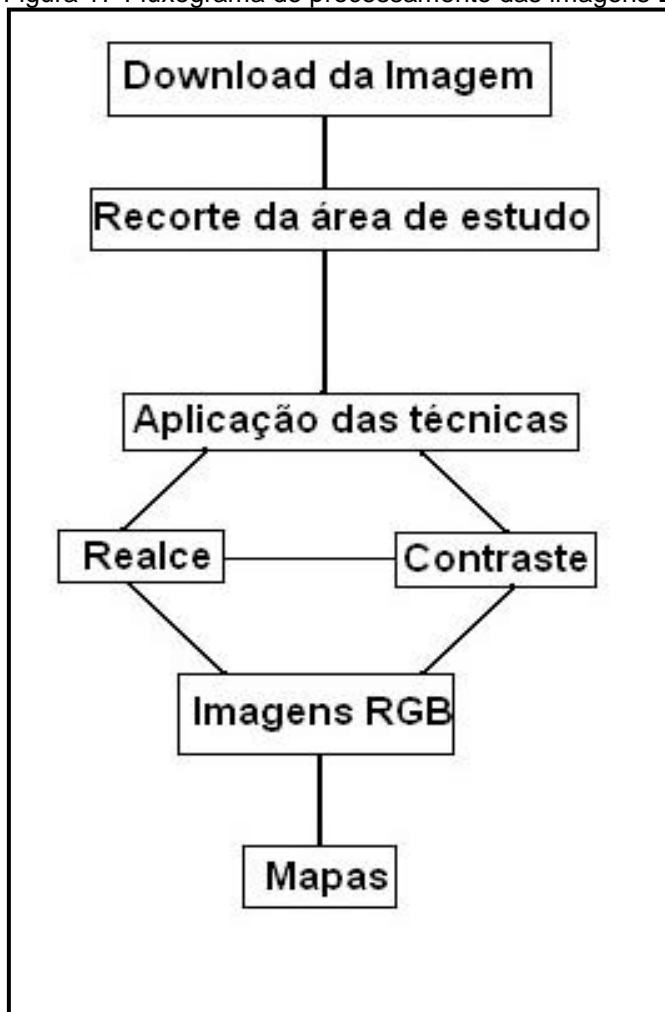
As imagens do recorte da área de trabalho não foram corrigidas geometricamente, pois as mesmas já são ortorretificadas, não necessitando deste procedimento que consiste na aquisição de pontos de controle facilmente localizáveis tanto na imagem do projeto Geocover 2000, como na imagem de recorte da área de trabalho.

As filtragens são muito utilizadas para realçar bordas, feições lineares e padrões de textura. Isso é feito através da supressão ou realce de determinadas frequências espaciais (IBGE, 2001). Consiste de operações espaciais que “filtram” determinadas frequências no sentido de suavizar ou realçar a diversidade. Com a finalidade de ressaltar as informações geológicas e estruturais, foram aplicadas diversas técnicas de realce, sendo a que proporcionou o melhor contraste foi o filtro linear de 2%.

As quatro bandas ópticas do sensor TM-LANDSTA-5 processadas nesta pesquisa, cobrem a porção visível do espectro eletromagnético (TM3), o infravermelho muito próximo (TM4) e o infravermelho médio (TM5 e TM7).

As imagens Landsat TM através de técnicas de filtragem, realce, e composição de bandas, geraram diferentes imagens (Figura 17), ressaltando os diferentes tipos de litologia, trends estruturais e contatos geológicos da área de estudo.

Figura 17-Fluxograma do processamento das imagens Landsat TM.



Fonte: Autora

### 8.1.1 Bandas Individuais

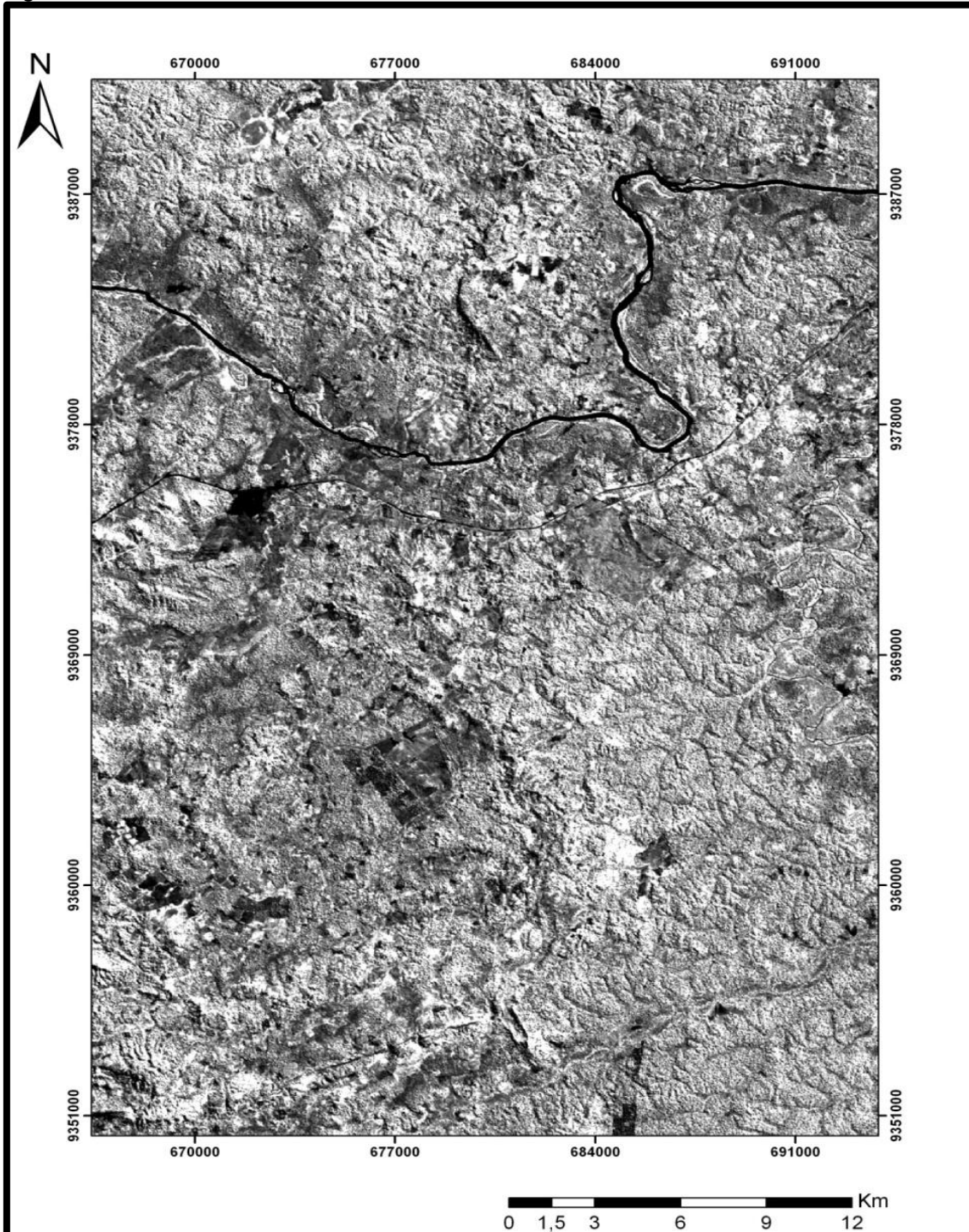
A análise isolada das bandas permitiram uma discriminação visual inicial das principais feições geológicas presentes nessa região. As bandas utilizadas foram a 4, 5 e 7, por serem as mais indicadas em aplicações geológicas (MARTINI, 2002).

Ao observar as mesmas de forma discriminada, são perceptíveis suas particularidades, diferença de textura e tonalidade. Com a análise das imagens é possível observar que ocorre repetições texturais e estruturais nas mesmas, possibilitando uma correlação com a geologia da área.

Em quase todas as imagens é possível observar uma diferença textural entre a Província Tocantins (Cinturão Araguaia) e as demais províncias tectônicas da área. As vias de acesso, apresentam coloração preta na banda 4 e coloração branca nas

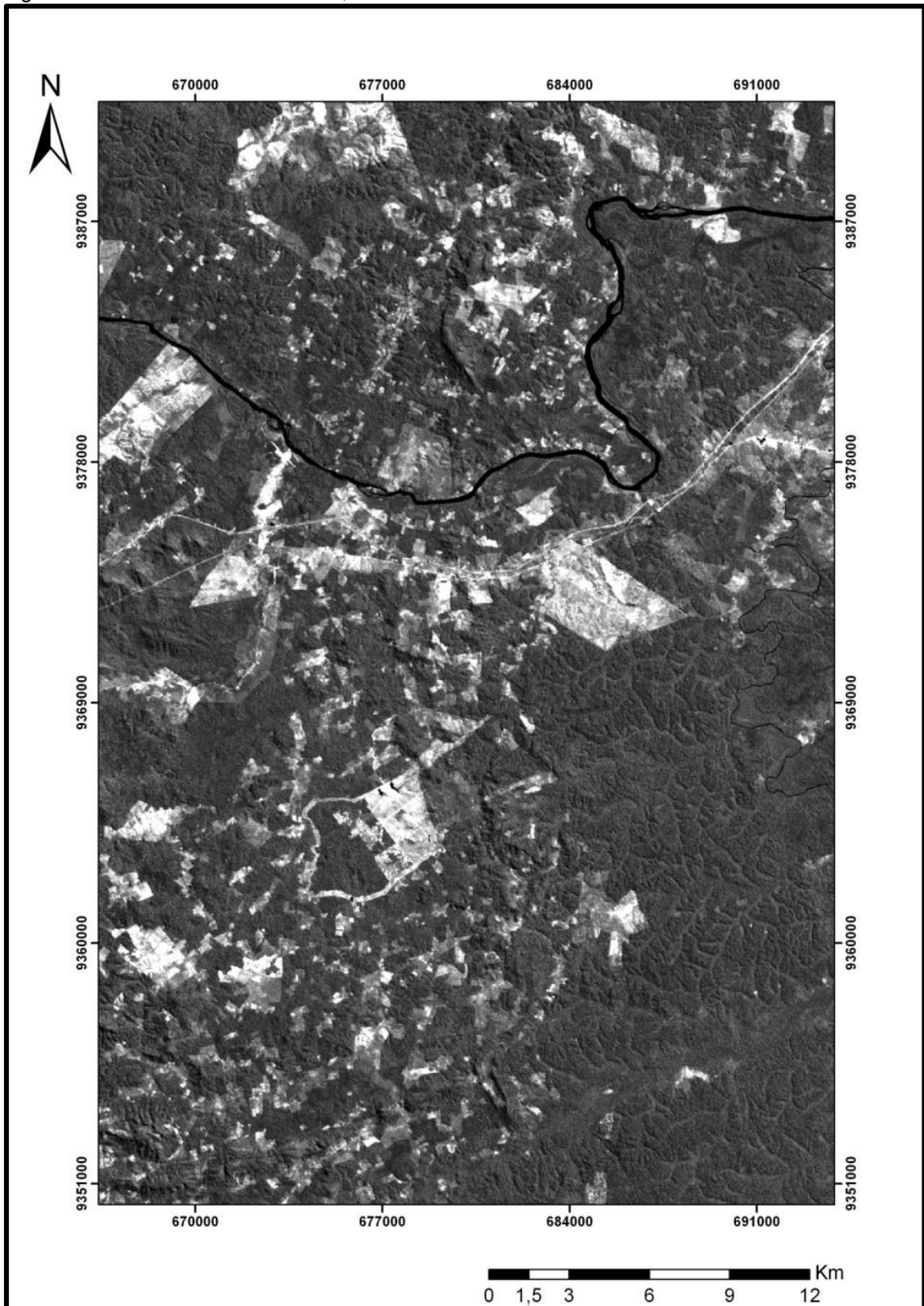
banda 5 e 7 e a drenagem em todas as bandas (Figuras 18, 19 e 20) assume coloração branca, somente o Rio Itacaiúnas assume coloração preta.

Figura 18- Banda 4 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%.



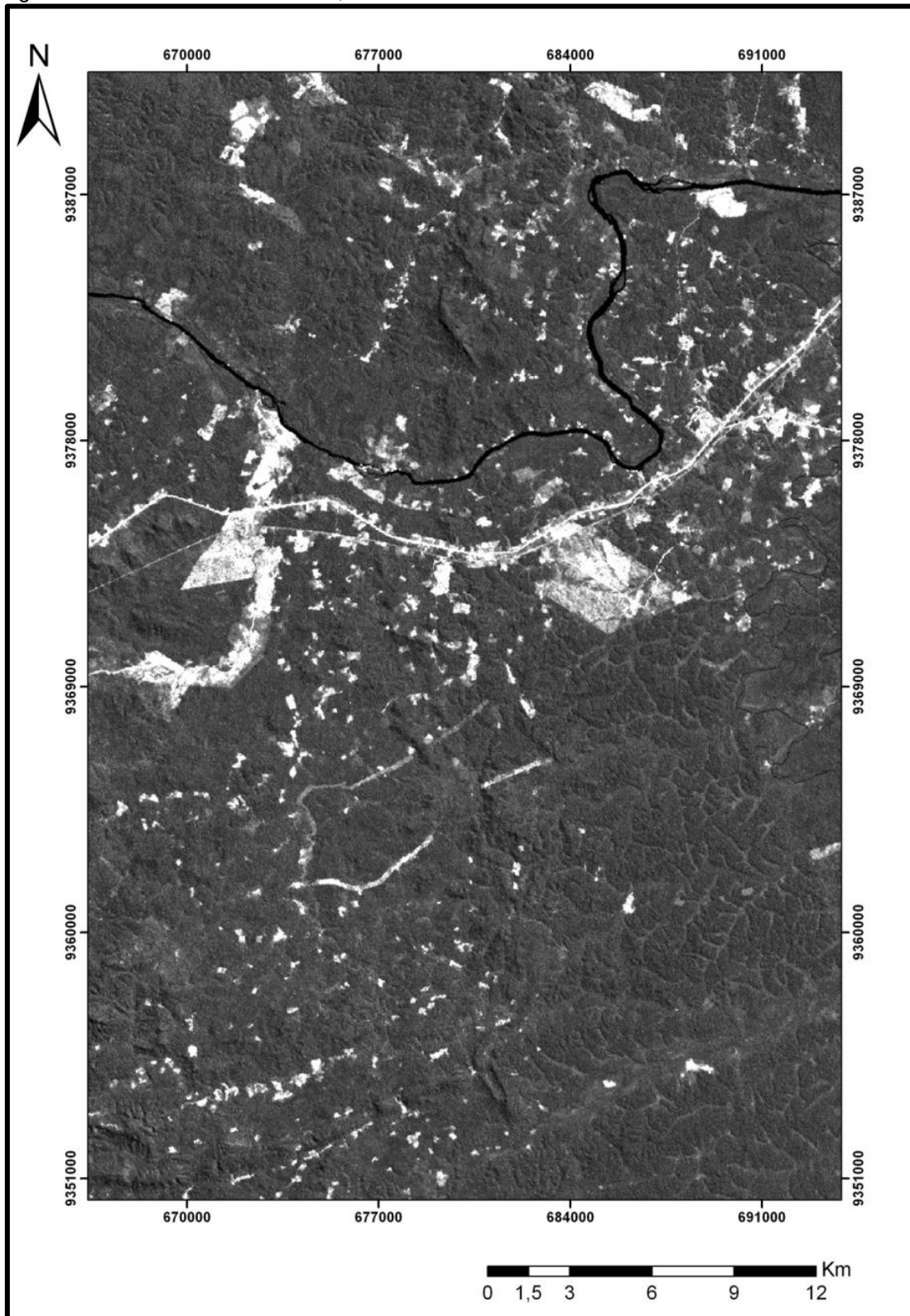
Fonte: Autora

Figura 19- Banda 5 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%.



Fonte: Autora

Figura 20-Banda 7 do Landsat-TM, com filtro linear de 2%.



Fonte: Autora

### **8.1.2 Composições Coloridas**

As composições coloridas efetuadas na área de trabalho foram R4G5B7 e R7G5B3. Com o objetivo de ressaltar os aspectos geológicos da região. Em todas as imagens se nota um contraste entre várias feições e texturas, as quais podem representar diferentes unidades geológicas.

O limite da principal província tectônica (Província Tocantins) da área de trabalho é fortemente destacado, além de estruturas regionais.

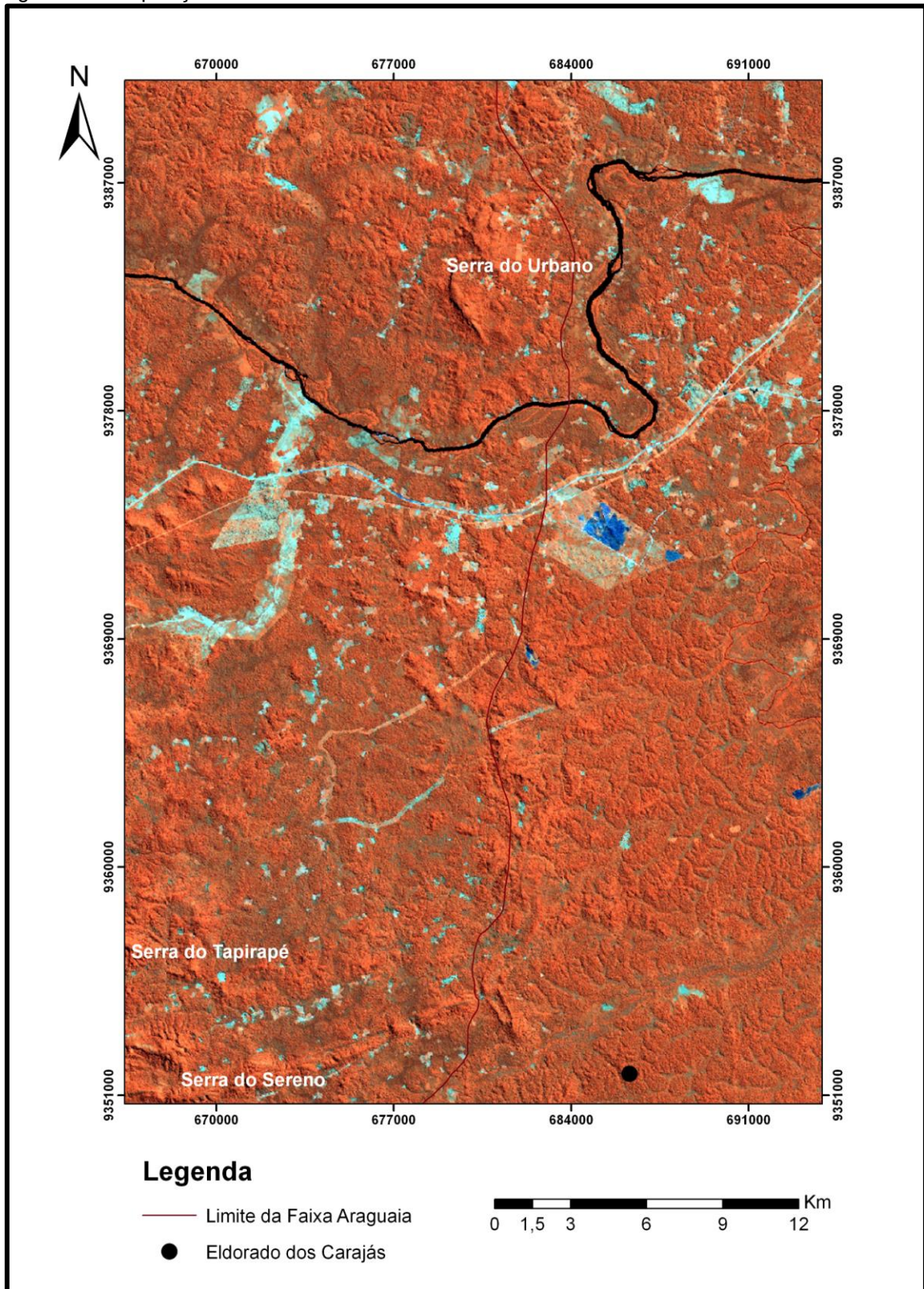
Na composição R7G5B3 (Figura 22) é possível observa na porção nordeste da área, com uma feição elíptica se encontra a serra do Urbano pertencente ao Complexo Cajazeira e na porção sudoeste é perceptível as serras do Tapiraré (Formação Tapirapé) e do Sereno (Grupo Rio Novo). A rede de drenagem assume coloração verde, com exceção do Rio Itacaiúnas e Vermelho que assumem cor azul.

Na porção sudeste é possível observar que as litologias estão dispostas em uma direção NE-SW. A composição R4G5B7 (Figura 21) apresenta a rede de drenagem de coloração verde, com exceção do rio Itacaiúnas que apresenta coloração preta. Em ambas imagens é possível observa um relevo mais aplainado na porção centro oeste, pertencente ao Grupo Serra Grande.

### **8.1.3 Considerações sobre o processamento das imagens LANDSAT-TM**

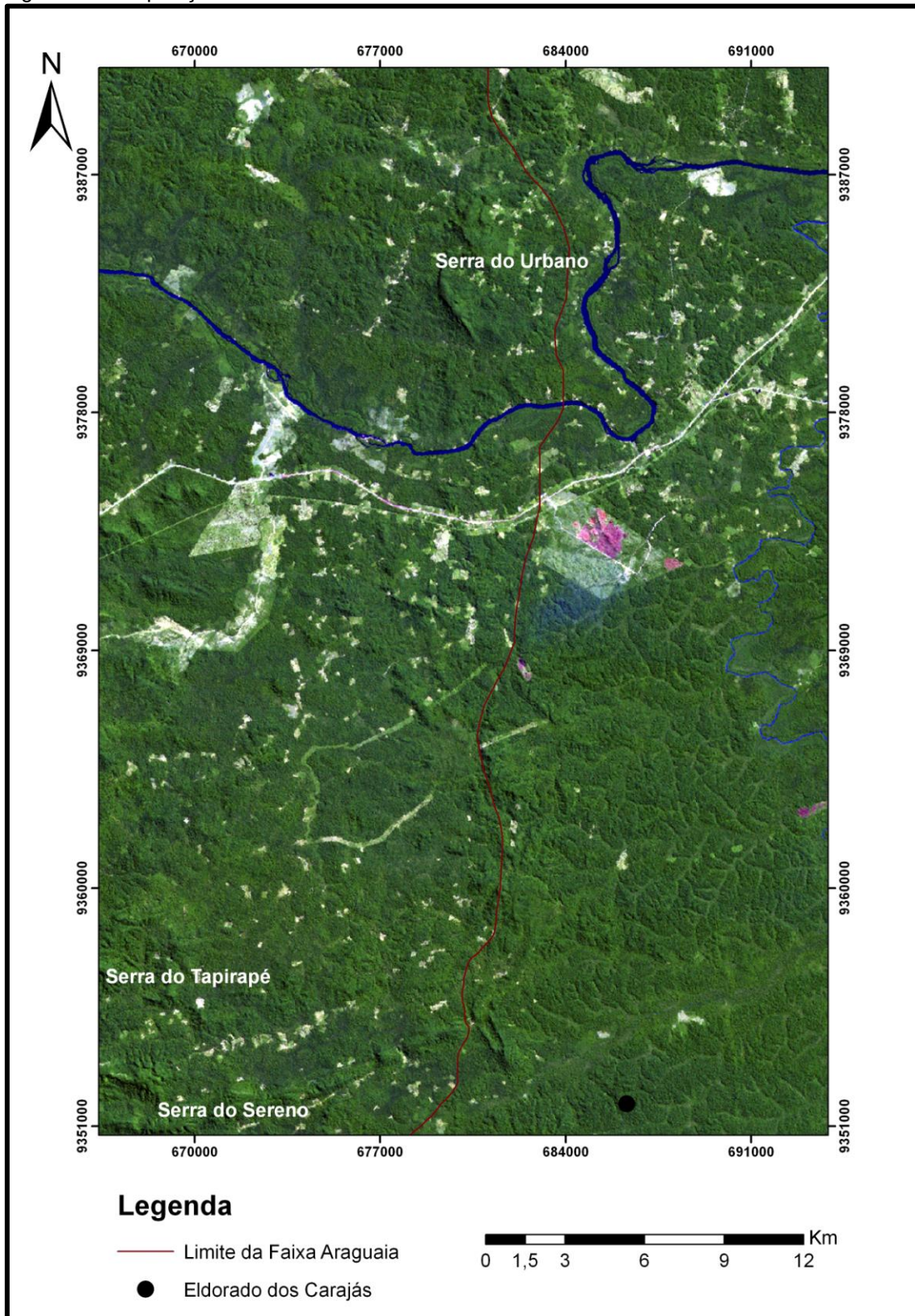
O processamento das imagens LANDSAT-TM para a área de estudo foi satisfatório, pois delimitou o contato da Província Tocantins (Faixa Araguaia) com as demais províncias tectônicas. Quanto as unidades o Grupo Rio Novo apresenta um arranjo espacial de direção NE-SW bem marcante, o Complexo Cajazeira (porção extremo noroeste) é possível observa seu comportamento estrutural na direção NW-SE.

Figura 21-Composição colorida R4G5B7.



Fonte: Autora

Figura 22-Composição colorida 753.



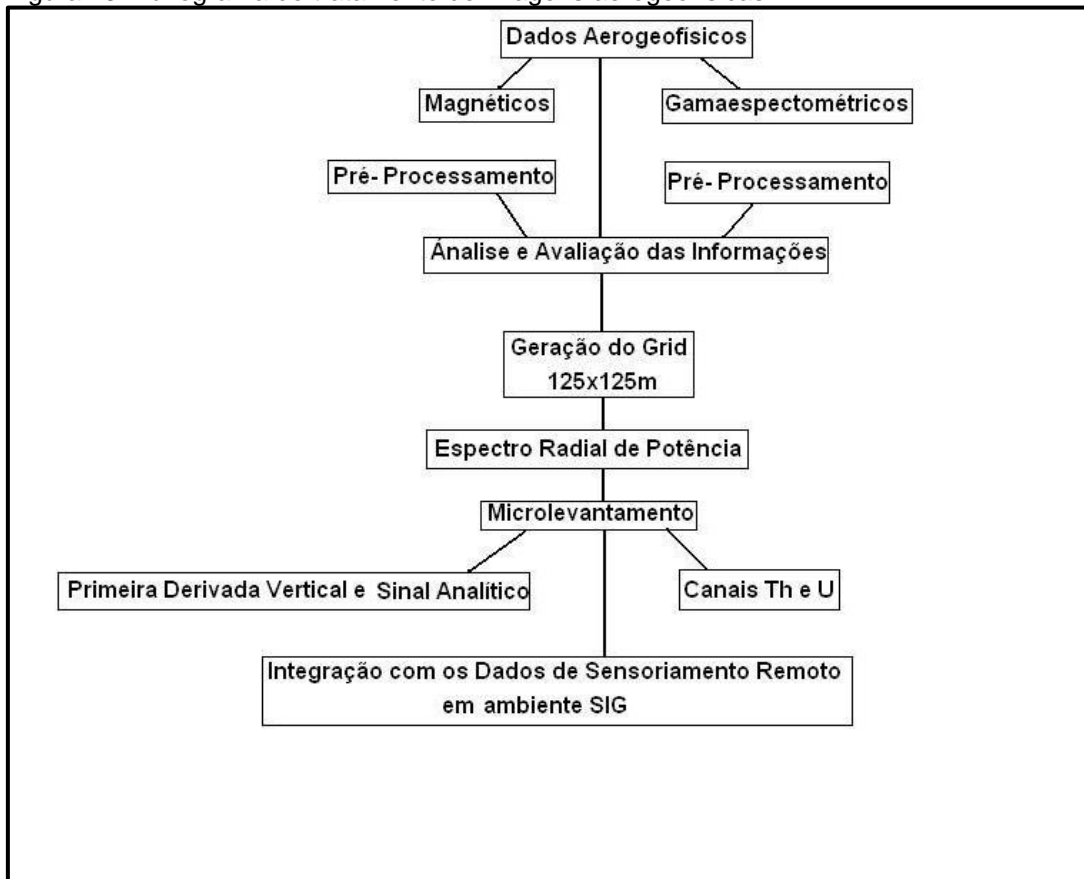
Fonte: Autora

## 8.2 AEROGEOFÍSICA

As imagens aerogeofísicas foram processadas por Felipe (2012), tendo as etapas resumidas no fluxograma da figura 23. Essas imagens foram separadas em domínio e os lineamentos magnetométricos e gamaespectrométricos foram extraídos e posteriormente analisados.

Estes dados tiveram a finalidade de contribuir, principalmente, para a melhor caracterização do arcabouço estrutural da área de trabalho, que quando associados a informações de sensores e geológicas obtidas em campo permitem elaborar um mapa geológico e favorecem o entendimento da geologia da área.

Figura 23-Fluxograma do tratamento de imagens aerogeofísicas.



Fonte: Modificado de Felipe (2012)

A etapa metodológica visa aplicar técnicas envolvidas nos procedimentos de tratamento dos dados aerogeofísicos e sua integração com produtos de Sensores Remotos.

Tanto nas técnicas de apresentação dos dados provenientes das diferentes fontes, quanto na preparação dos mesmos para geração dos produtos integrados, foram utilizados uma série de processos para ressaltar características típicas dos dados e facilitar sua interpretação. De modo geral, a estratégia de tratamento dos dados envolvem etapas distintas: processamento e representação dos dados e imagens aerogeofísicas, e; integração dos dados e geração de produtos, com base nos dados geológicos (FELIPE, 2012).

Os tratamentos dos dados geofísicos visam melhorar e simplificar os dados originais, por meio da eliminação de ruídos de caráter operacional ou proveniente de fontes desprezíveis para os propósitos desta pesquisa (FELIPE, 2012).

Os métodos de processamento deste trabalho foram baseados em Blum (1999) e Carvalho (2006). Durante o processamento, foram realizados diversos testes para os dados aerogeofísicos, visando melhor à qualidade dos dados. Foram aplicadas diversas transformações lineares principalmente nos dados magnéticos, a fim de fornecer subsídios geofísicos que colaborassem na interpretação geológica-estrutural da área em estudo.

Os dados foram examinados e avaliados visualmente, em seguida verificadas inconsistências da distribuição das linhas de voo e sua regularidade no espaçamento. O conjunto de dados foi interpolado em uma malha regular, com espaçamento de 125 m, utilizando como interpolador os métodos de Mínima Curvatura para os dados gamaespectrométricos e Bidirecional para os dados magnetométricos (GEOSOFT, 1995).

Posteriormente, os dados foram submetidos às rotinas de micronivelamento desenvolvida por Blum (1999) com base nas técnicas de Minty (1991) para remover erros residuais de nivelamento das linhas de voo. Em seguida foram aplicados filtros apropriados para cada base de dados (gamaespectrometria e magnetometria) dentre eles a remoção do IGRF (International Geomagnetic Reference Field) do campo total, os dados dos dois programas de aerolevantamentos tiveram que ser processados separadamente (FELIPE, 2012).

## 8.2.1 Resultados dos dados Aerogeofísicos

A utilização de mapas aerogeofísicos teve como finalidade contribuir, principalmente, para a melhor caracterização do arcabouço geológico - estrutural. Os resultados são apresentados a seguir.

### 8.2.1.1 Aeromagnetometria

No caso dos dados magnéticos foi possível a identificação de dois tipos de feições: unidades magnéticas e descontinuidades lineares. As unidades magnéticas compreendem corpos geológicos com magnetismo característico ou uniforme. Elas não coincidem necessariamente com as unidades geológicas. As descontinuidades lineares, geralmente, são evidentes e representam falhas ou fraturas. Vale ressaltar que as respostas magnéticas são mais características de um grupo de rochas do que de litotipos individuais.

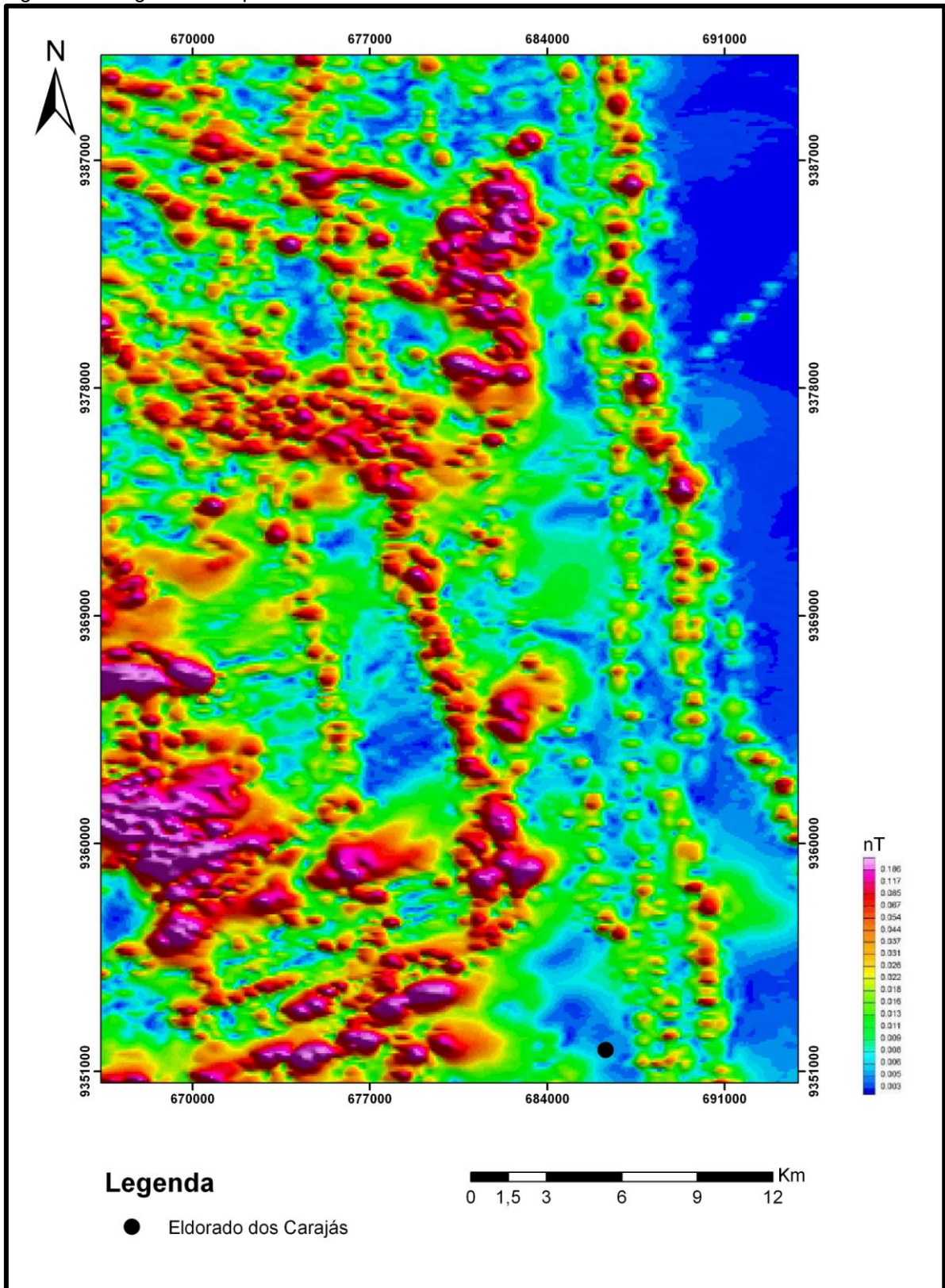
As imagens magnetométricas foram individualizadas em cinco domínios que variam de muito alto a muito baixo. Esses domínios foram definidos através da unidade de medida nanotesla (nT) que é a unidade que mede o campo magnético.

Através do mapa de domínios magnéticos foi possível demarcar padrões que individualizassem unidades com comportamentos distintos. As alternâncias de valores magnéticos baixos (azul) a muito alto (vermelho) com seu arranjo espacial refletem a combinação complexa dos sinais provenientes de fontes magnéticas de dimensões e profundidades diferentes (TORRES, 2011).

O mapa de amplitude do sinal analítico ressalta as estruturas magnéticas (figura 24 e 25), realçando as bordas em corpos largos, como é possível observar a borda da formação Couto Magalhães na porção oriental da área e do Grupo Rio Novo a SW e o centro em corpos estreitos como a Serra do Urbano (Complexo Cajazeira) da área.

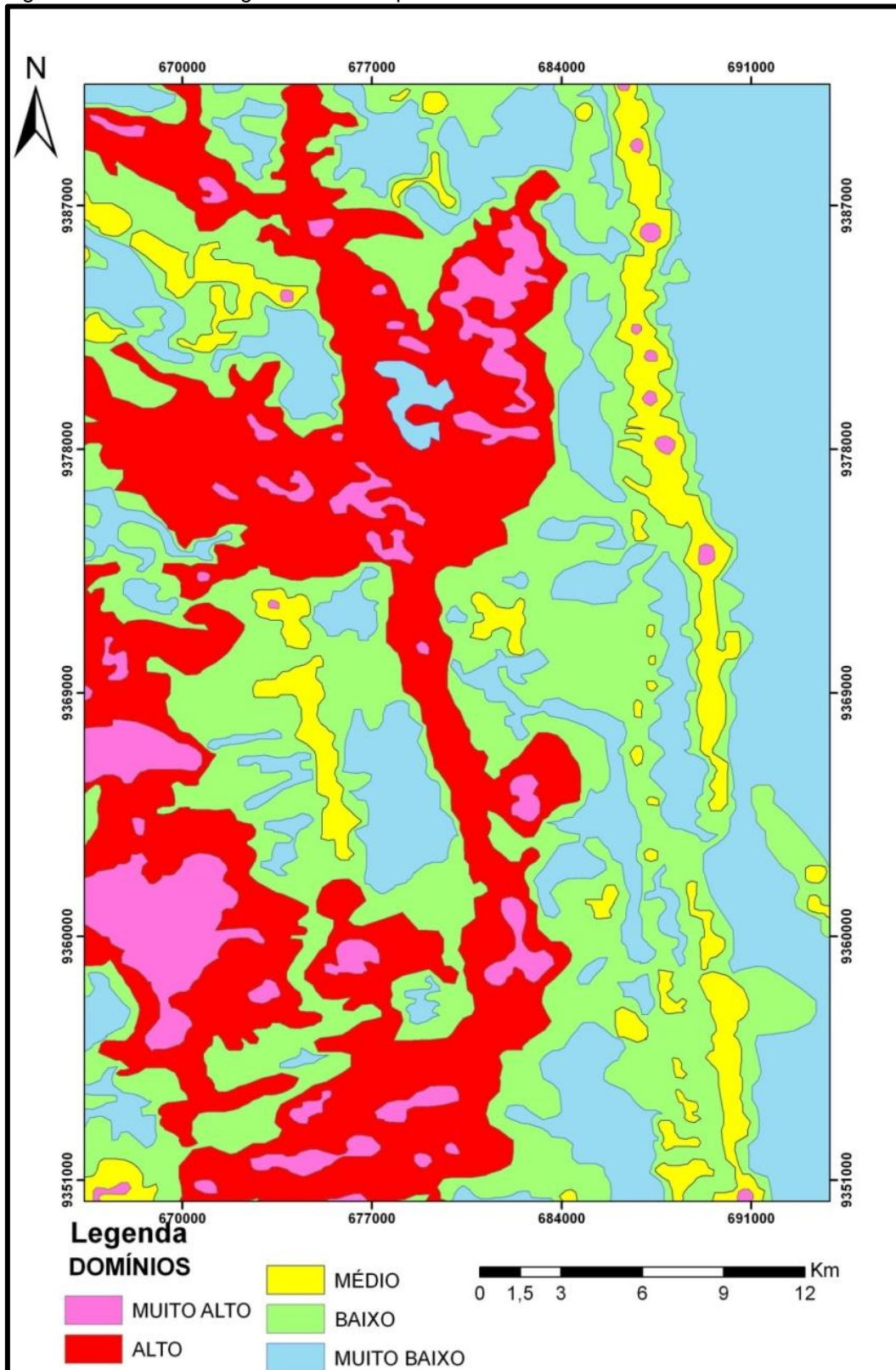
Na porção sudoeste da área predominam valores muito altos (vermelho) de direção NW-SE, que evidenciam o padrão de trends estruturais da Formação Cajazeira.

Figura 24-Imagem da Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo.



Fonte: Autora

Figura 25-Domínios magnéticos da Amplitude do Sinal Analítico.

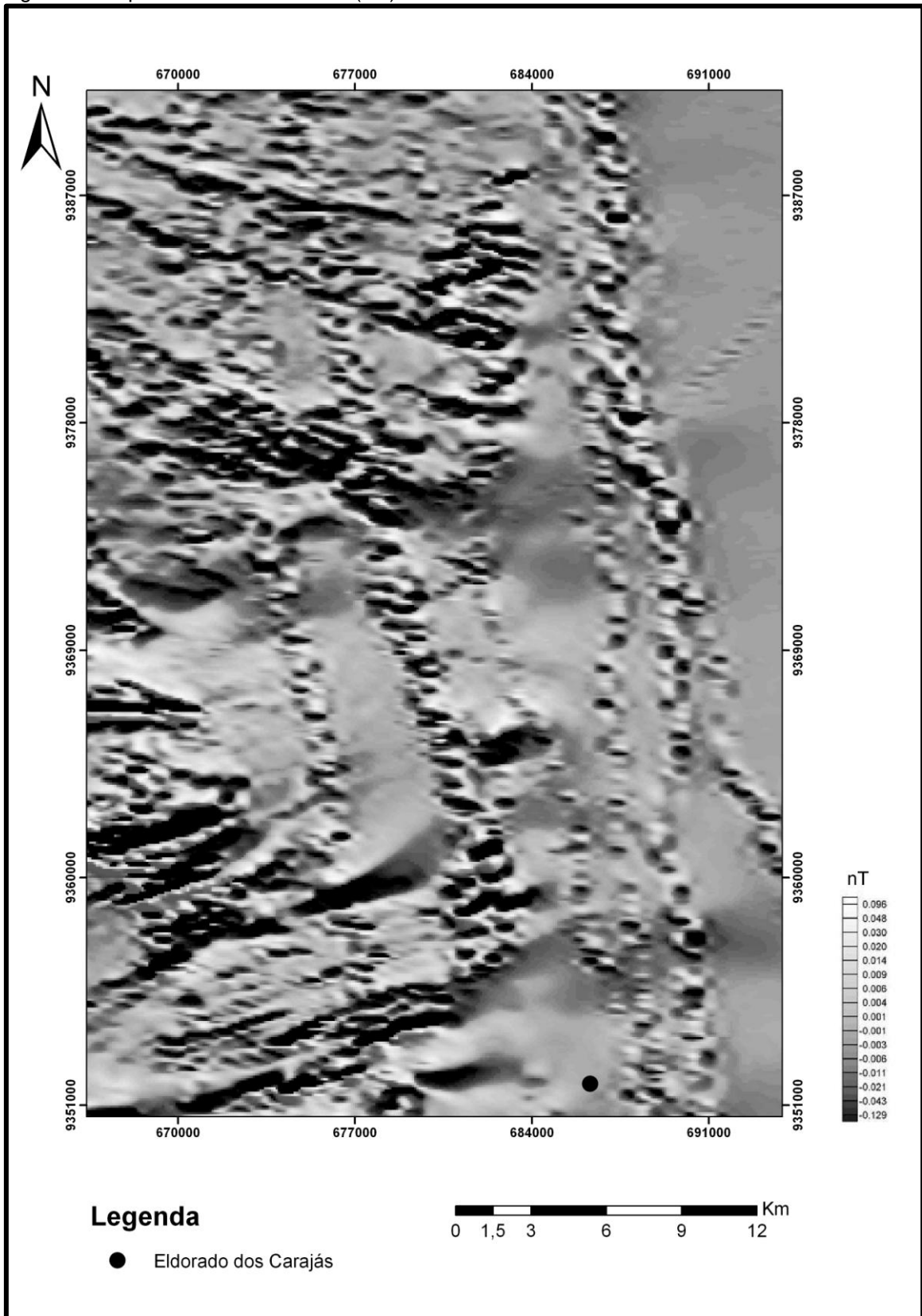


Fonte: Autora

A imagem da derivada vertical (dz) foi utilizada no intuito de realçar componentes de alta frequência de feições rasa, normalmente associados a falhas, fraturas e contatos litológicos (Figura 26).

Nessa imagem as áreas com menores valores do campo magnético, que correspondem as áreas escuras, demarcam o lineamento que evidenciam o padrão de trends estruturais do Complexo Cajazeiras, relacionado a Província Transamazonas, com regime oblíquo com transporte de massa rochosas de NW para SE. Na porção SW da área também apresentam valores baixo do campo magnético com direção NE-SW. As direções N-S e NE-SW são atribuídos ao cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, na porção NE e NW da área de estudo observa-se um trend de direção relacionado ao Cinturão Araguaia que se prolonga na direção N-S, margeando a borda leste do Cráton Amazonas, no campo observa-se que os morros estão alinhados na direção N-S, na porção NE da área de estudo indicando que as mesmas imagens podem fornecer informações a respeito da geomorfologia da área.

Figura 26-Mapa de Derivada Vertical (DZ).



Fonte:Autora

### 8.2.1.2 Aerogamaespectrometria

As imagens gamaespectrométricas foram individualizadas em cinco domínios que variam de muito alto a muito baixo. Esses domínios foram definidos através da unidade de medida Contagem por segundo.

A análise das imagens gamaespectrométricas auxiliam na delimitação das principais unidades lito-estruturais, através do reconhecimento de áreas enriquecidas ou empobrecidas em radio elementos.

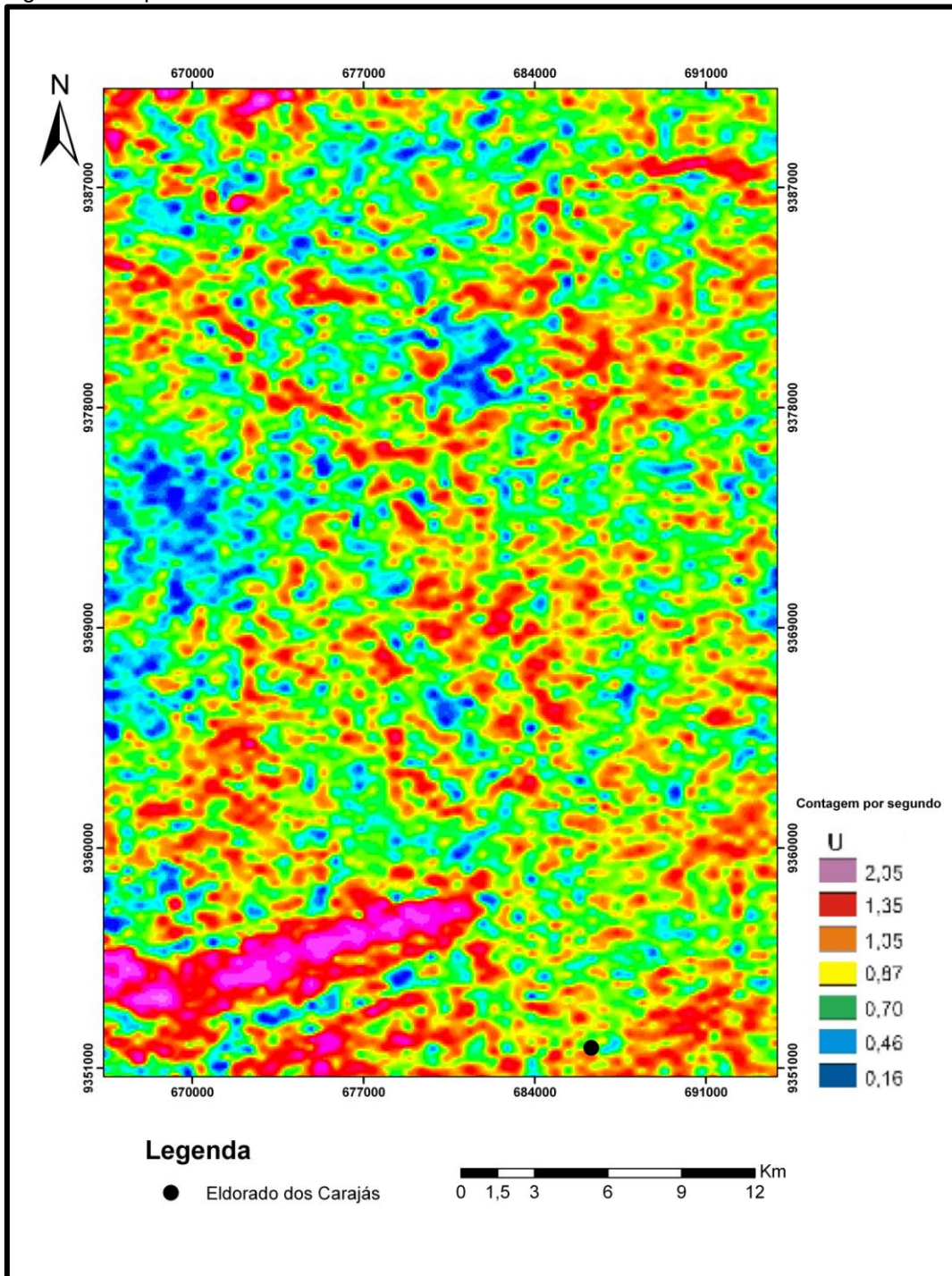
O urânio é um elemento que possui grande mobilidade, podendo permanecer em locais com topografia arrasada e próximo de drenagens. Na imagem de canal de urânio da área de trabalho (Figura 27 e 28), isso é perceptível, pois a grande concentração de urânio ocorre próximo ao Rio Itacaiúnas. Porém, nas imagens, este canal forneceu valores elevados nas porções de maiores altitudes da área . Esta resposta radiométrica pode ser oriunda da maior exposição de afloramentos rochosos, principalmente sobre a área de ocorrência do grupo Rio Novo.

Está normalmente presente em rochas com silicatos e óxidos, tais como monazita e zircão, como elementos traço em outros minerais formadores de rocha ou ao longo de bordas de grãos (CARVALHO, 2006).

Grande parte da área é caracterizada pela baixa contribuição do tório excetuando-se apenas as porções noroeste, as quais se caracterizam por valores muito altos para este elemento (Figuras 29 e 30).

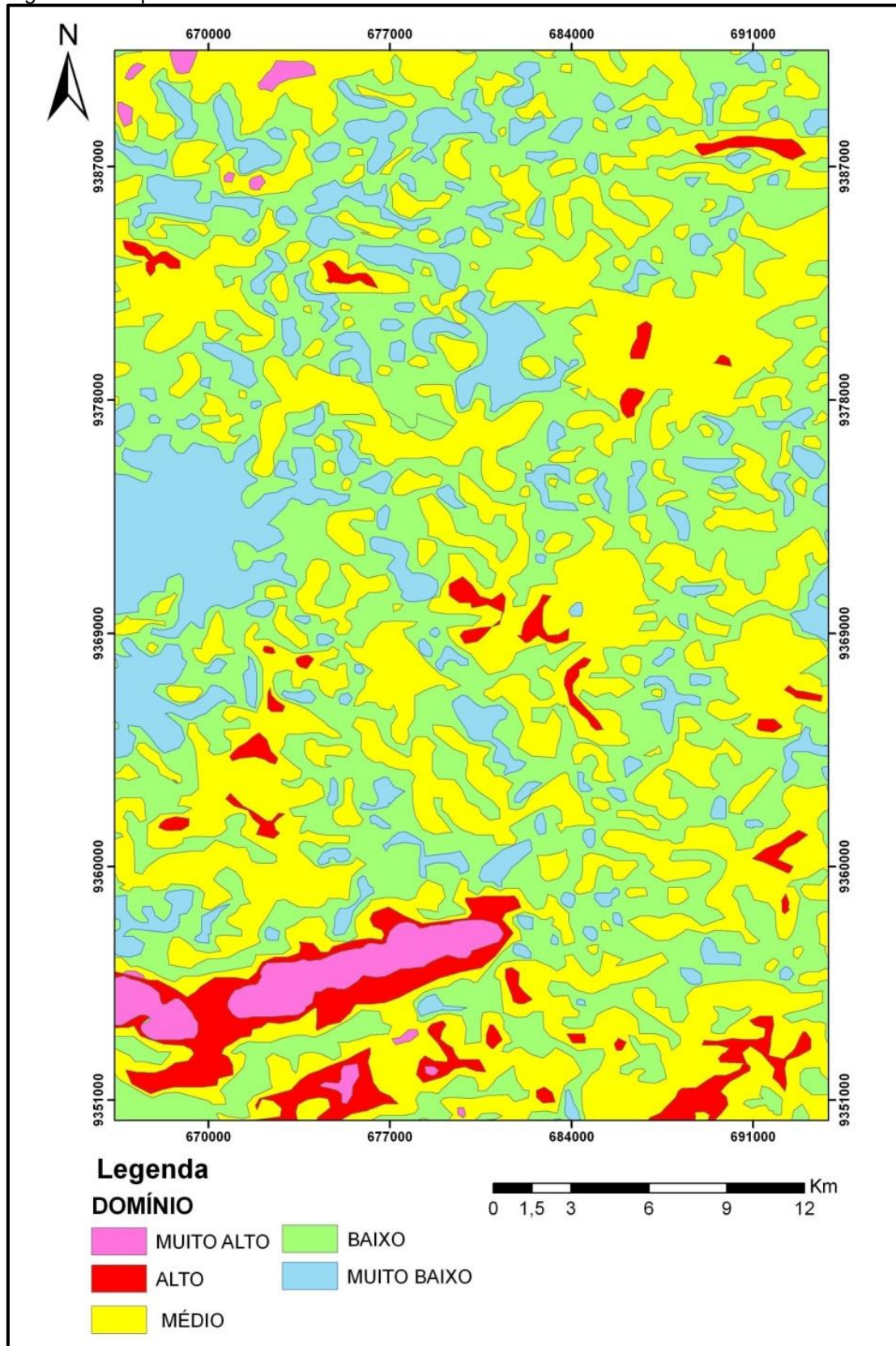
A imagem do canal de tório mostra a pouca mobilidade desse elemento, fornecendo assim boas imagens, uma estruturação arqueada, com direção NW-SE, também foi bem delimitada nessa imagem representada pelo Complexo Cajazeira.

Figura 27-Mapa radiométrico do canal U.



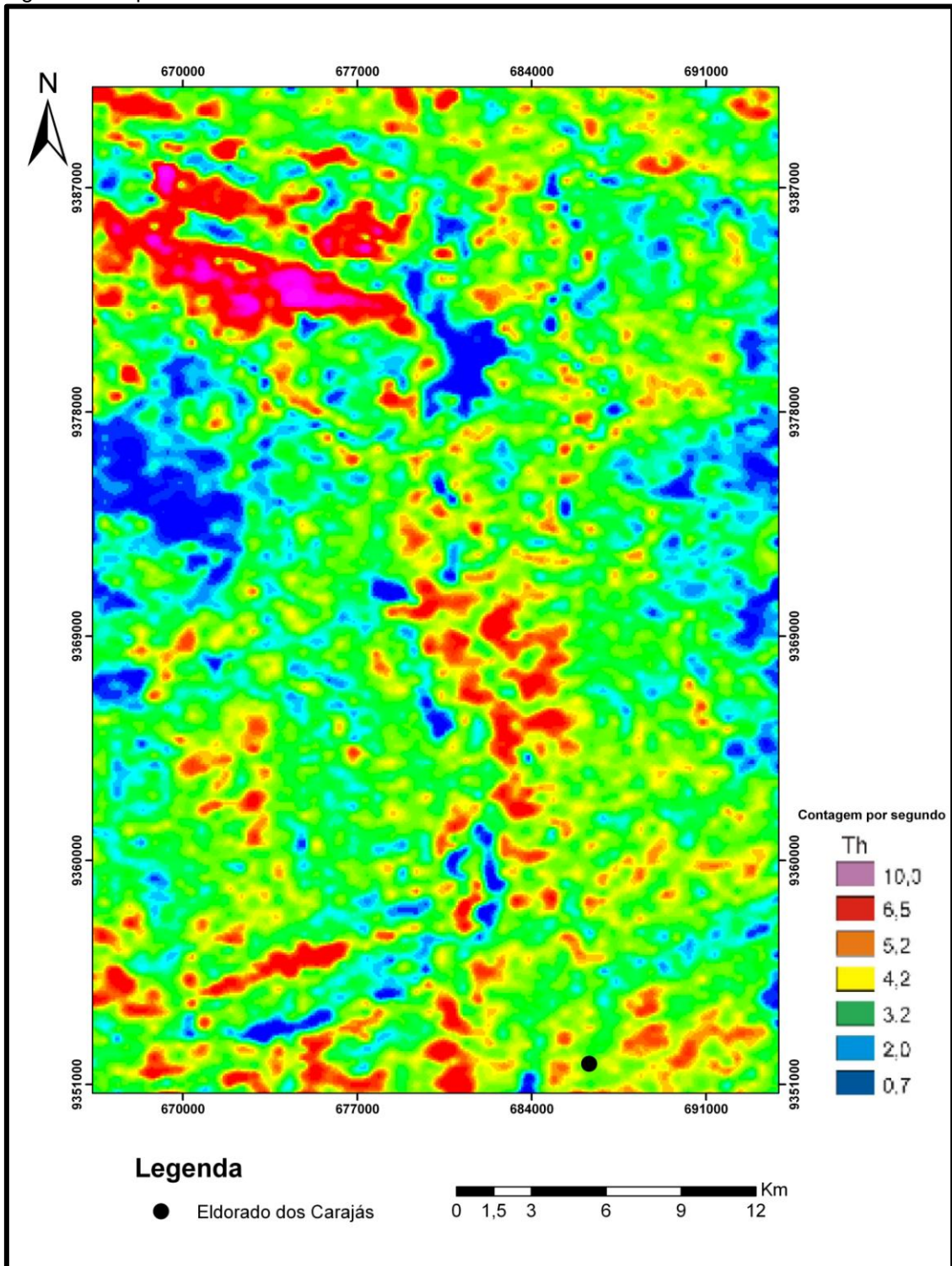
Fonte: Autora

Figura 28 -Mapa radiométrico do canal U com os domínios.



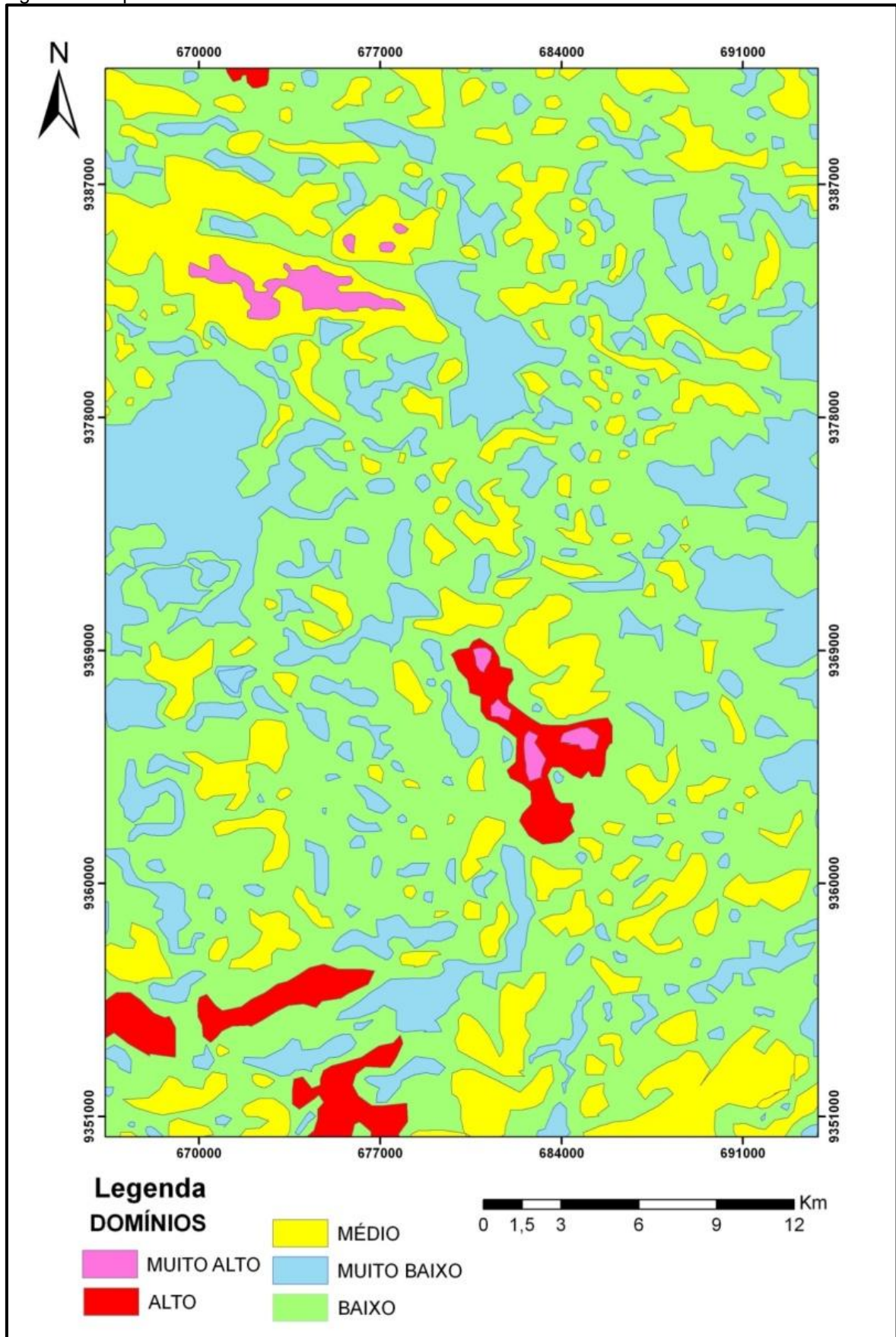
Fonte: Autora

Figura 29-Mapa radiométrico do canal Th.



Fonte: Autora

Figura 30-Mapa radiométrico do canal Th com seus domínios.



Fonte: Autora

### 8.2.1.3 Considerações sobre a Aerogeofísica

Sobre o processamento das imagens de aerogeofísica na área de estudo, as mesmas forneceram informações preliminares sobre o comportamento regional, em superfície e sub-superfície das feições geológicas. A partir das imagens de aeromagnetometria foi possível identificar trends principais orientados NW-SE, na porção extremo noroeste ligado ao Ciclo Transbrasiliano, na porção extremo sudoeste é possível observa trends orientados na direção NE-SW ligado ao cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, os trends estruturais de direção N-S ligado ao cinturão Araguaia, sendo observado no campo os estavam morros alinhados na mesma direção,concluindo que as imagens de aerogeofísica podem ressalta feições geomorfológicas.

A caracterização litológica da área de estudo mostrou-se bastante complexa, pois a região de estudo é composta por rochas sedimentares, ígneas e metamórficas que refletiram respostas magnéticas identificadoras de alguns grupos de rochas, e não um litotipo ou unidade geológica separadamente.

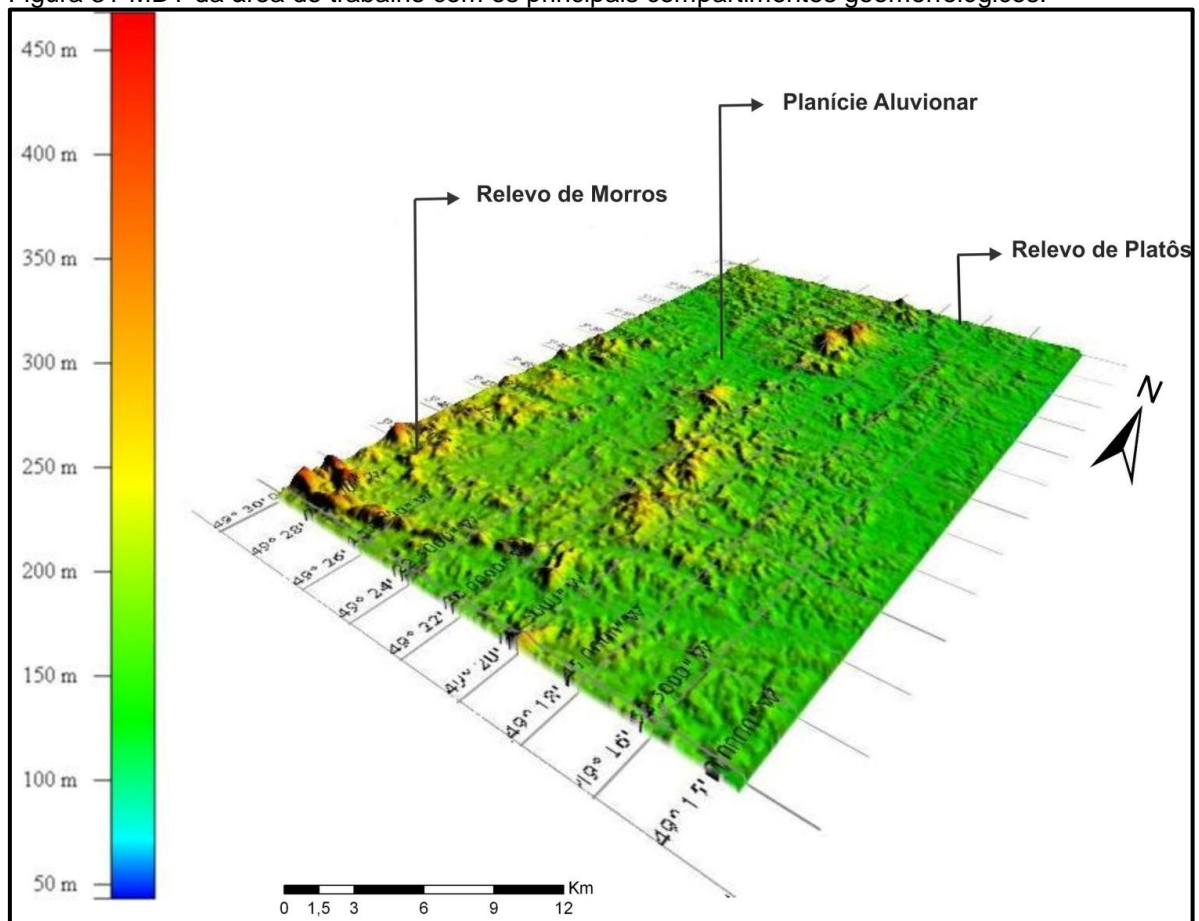
## 8.3 CARACATERIZAÇÃO GEOMORFOLOGICA

### 8.3.1 Modelo digital de Terreno – MDT

O modelo digital de terreno (MDT) foi utilizado para diferenciar os níveis do relevo na área de trabalho, e nele se observa os principais compartimentos geomorfológicos. Segundo Almeida et al. (2001), são os : Relevo de Morros, Relevo de Platôs e Planície Aluvionar.

O modelo digital de terreno (Figura 31) foi efetuado a partir dos dados SRTM. Nele se observa os principais compartimentos geomorfológicos da área de trabalho, para a modelagem empregada neste caso utilizou o software Global Mapper. Nele se observa primeiramente as porções mais elevadas da área, definida pela Serra do Sereno Serra do Tapirapé e Serra do Urbano. Neste modelo é possível observa bastantes morros distribuída por toda área e um relevo mais aplainado representado pelo Relevo de platôs e um superfície mais rebaixada formada pela planície aluvionar.

Figura 31-MDT da área de trabalho com os principais compartimentos geomorfológicos.

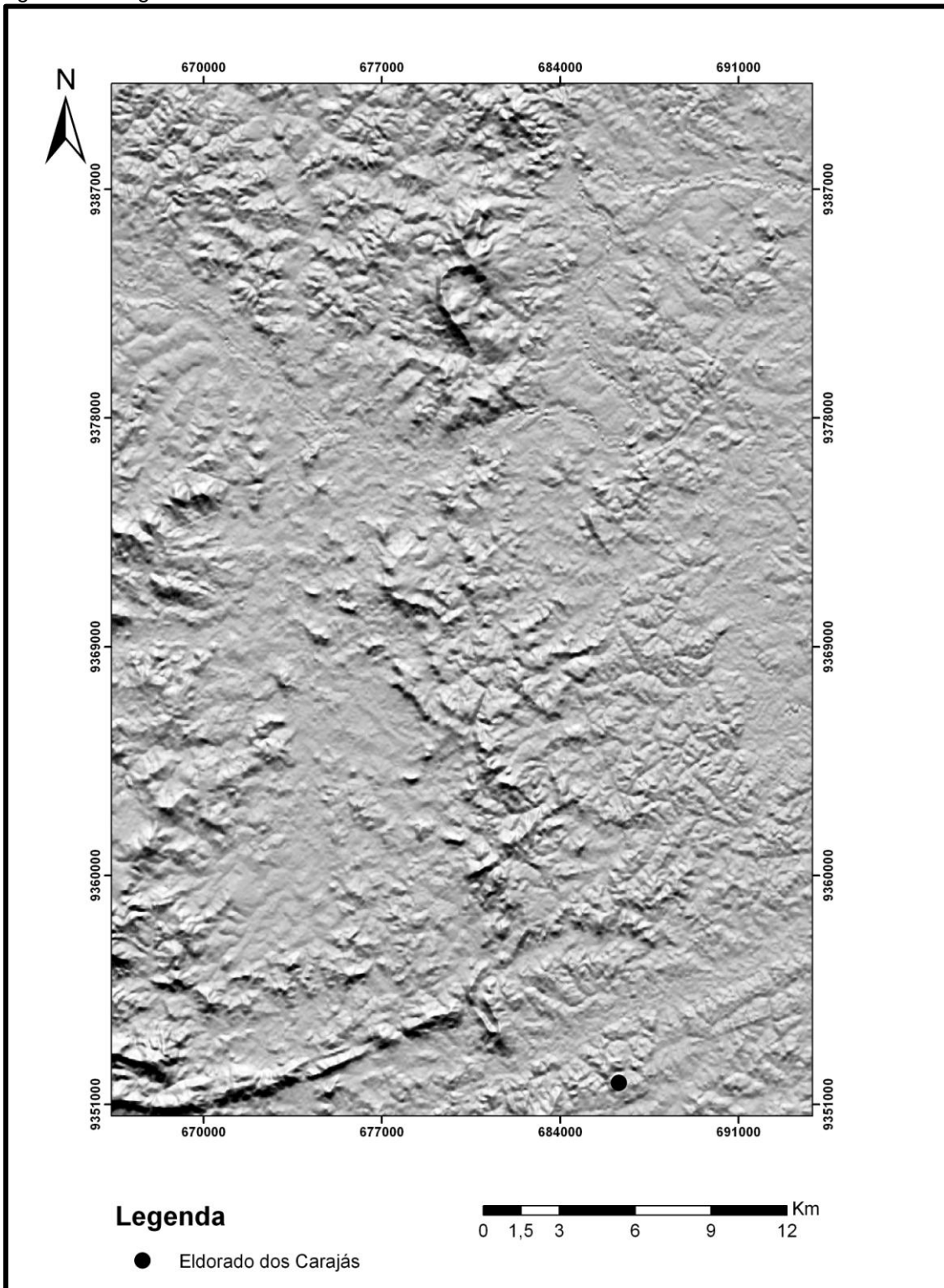


Fonte: Autora

### 8.3.2 Relevo sombreado

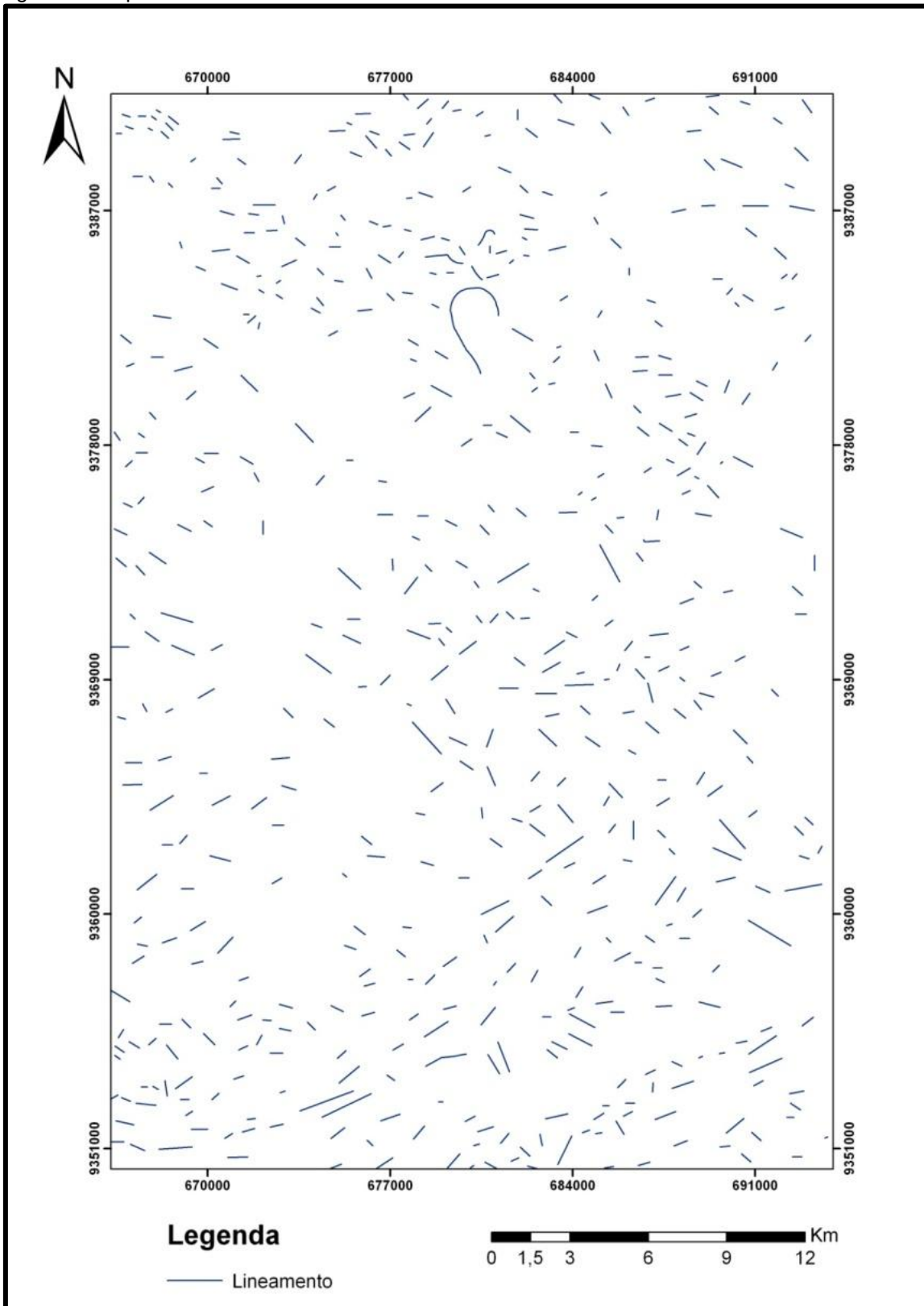
Na imagem de relevo sombreado (Figura 32) é possível retirar as principais direções de alinhamento (Figura 33) do relevo. A imagem utilizada para o estudo apresenta ângulo de iluminação a  $45^\circ$  de elevação,  $0^\circ$  de azimute, que compuseram uma rosácea (Figura 34) com direção preferencial leste-oeste, e direções subordinadas NE-SW. Entretanto, numa visão geral há predomínio de um sistema multidirecional, relacionado as principais direções de movimentação regional.

Figura 32-Imagem de relevo sombreado na área de estudo.



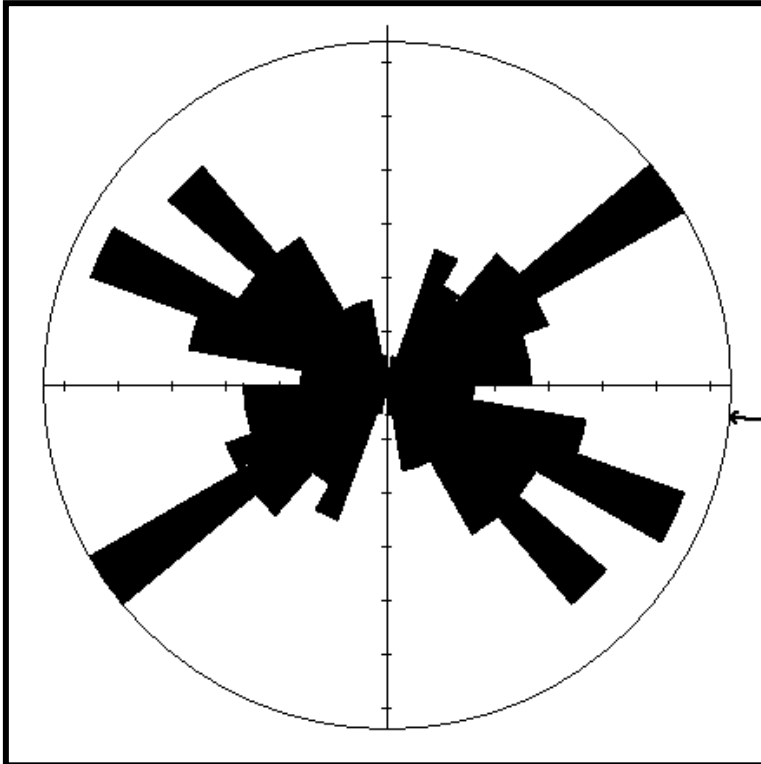
Fonte: Autora

Figura 33-Mapa de Lineamento de relevo sombreado.



Fonte: Autora

Figura 34-Rosácea retirada de lineamentos de relevo.



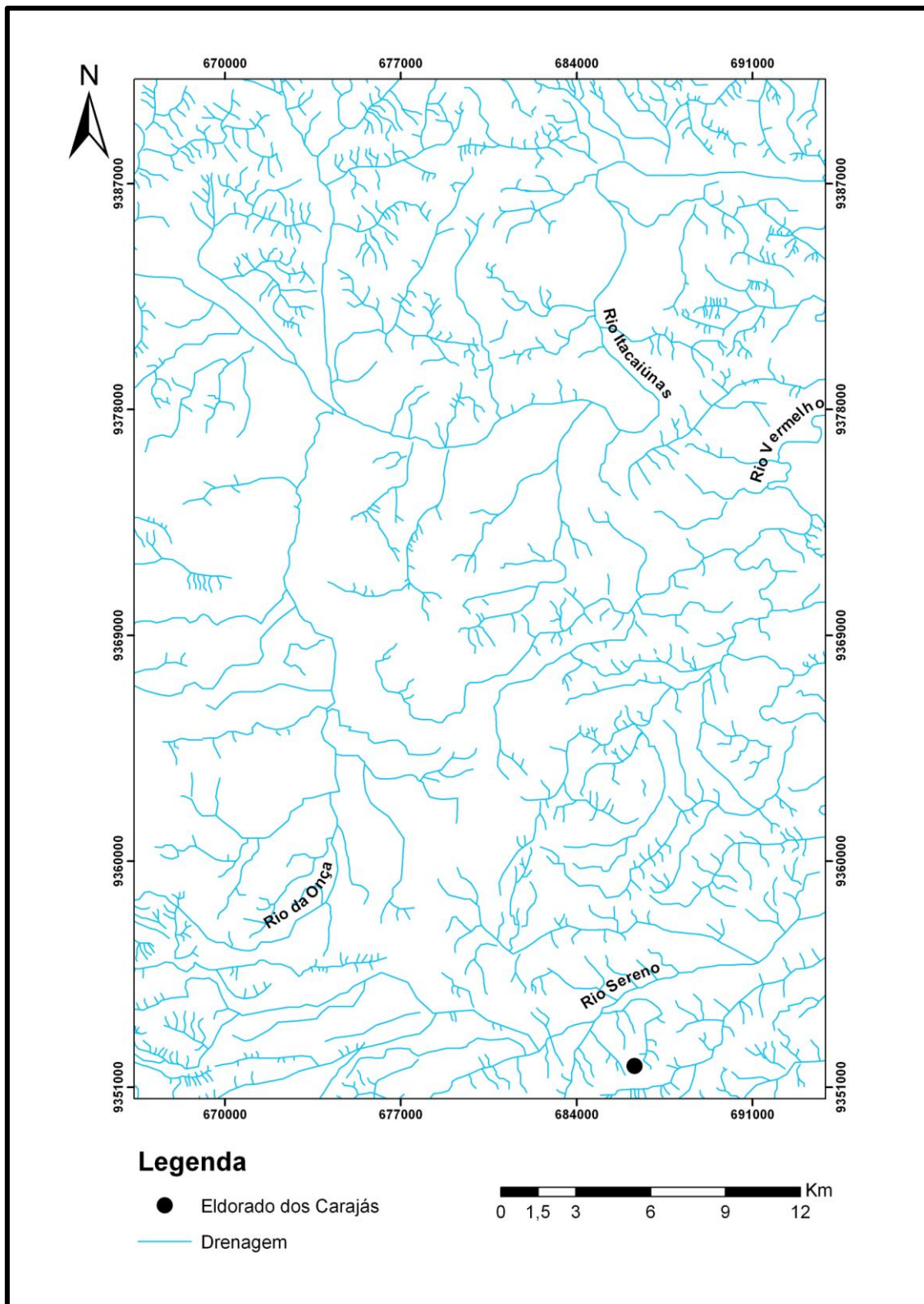
Fonte: Autora

### 8.3.3 Rede de drenagem

O comportamento de um sistema de drenagem está intimamente relacionado com aspectos topográficos, geomorfológicos e elementos morfotectônicos. Buscando uma melhor caracterização do padrão de drenagem elaboraram-se mapas de drenagem.

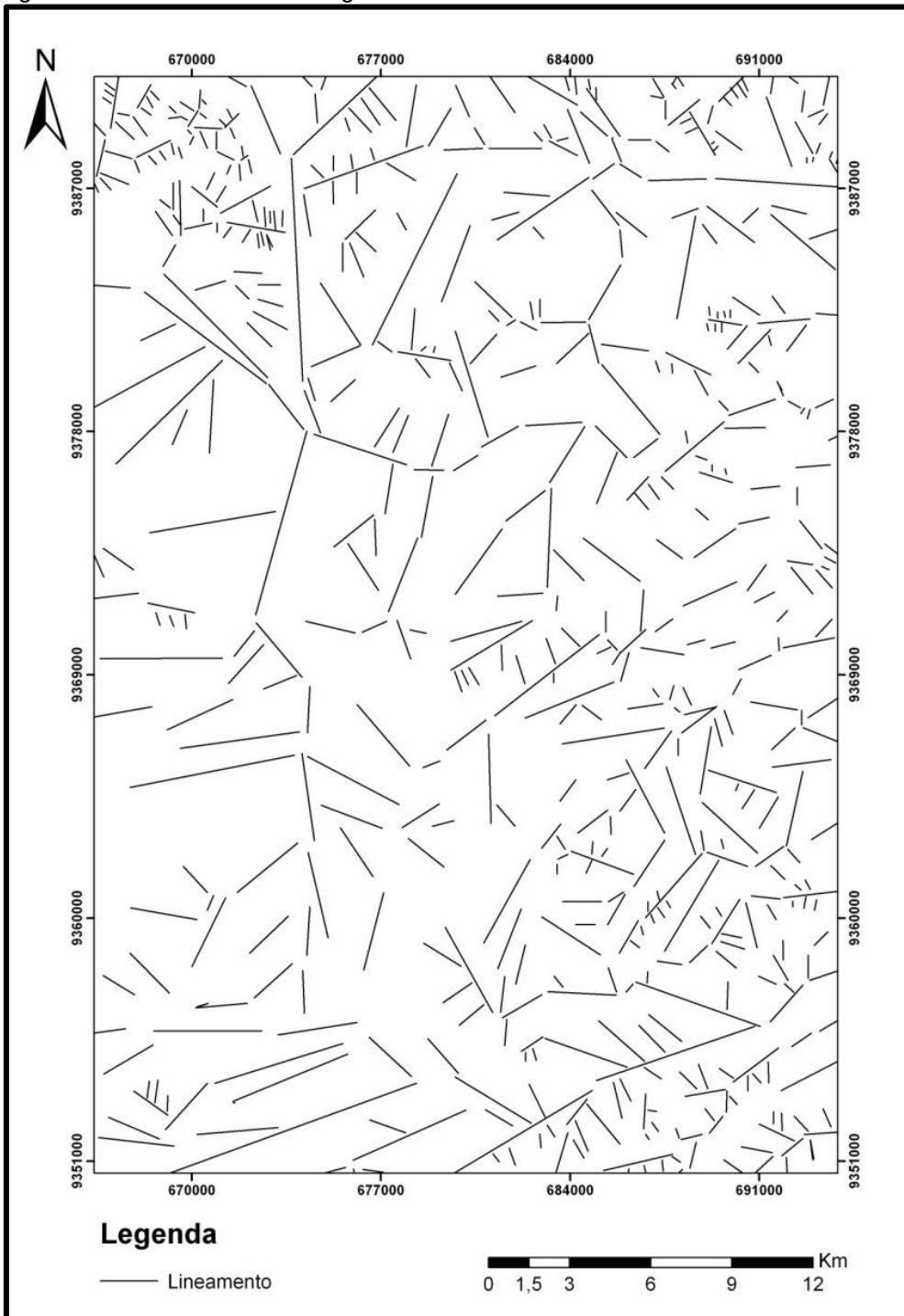
A drenagem principal (Figura 35) está representada pelos rios Itacaiúnas de orientação E-W, porém a direção principal dos lineamentos de drenagem (Figura 36 e 37) estão na direção NW-SE e, refletindo um padrão multidirecional.

Figura 35-Mapa de rede drenagem da área de estudo.



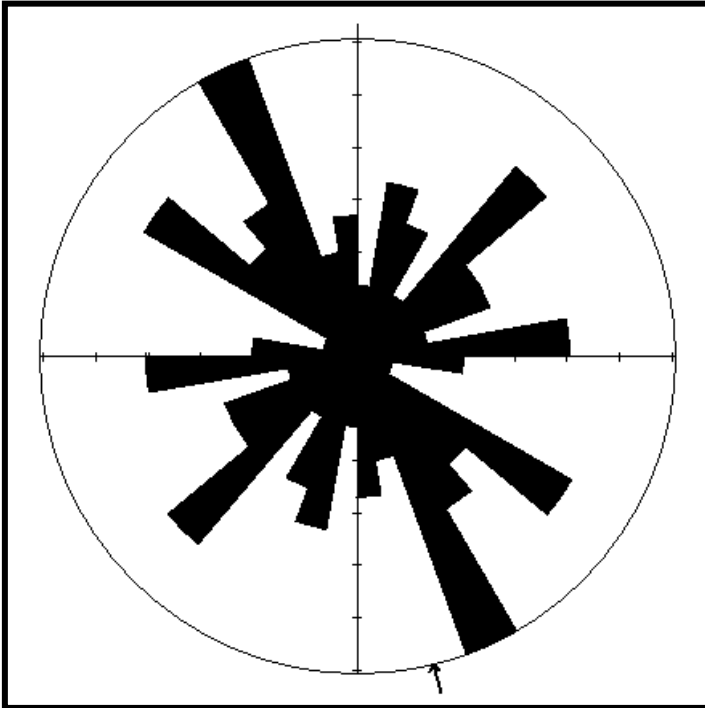
Fonte: Autora

Figura 36-Lineamento de drenagem.



Fonte:Autora

Figura 37-Rosácea retirada de lineamentos de drenagem.



Fonte: Autora

#### 8.4 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ALOS PALSAR

Os radares possuem a capacidade de imagear através de nuvens e fumaças, pois o comprimento de onda de operação dos sensores de radar é muito maior (~100.000 vezes). Devido o clima da região Amazônica este tipo de sistema (radar) é bastante útil, devido a problemática permanente cobertura de nuvens o que dificulta a fotografia aérea e a captação por sensores orbitais.

A imagem Alos Palsar da área de estudo é a cena ALPRP125157070, que apresenta uma banda L com polarizações HH e VV (Tabela 3). As imagens foram recortadas para área de trabalho elas não foram corrigidas geometricamente, pois as mesmas já são ortorretificadas, não necessitando deste procedimento (Figura 38).

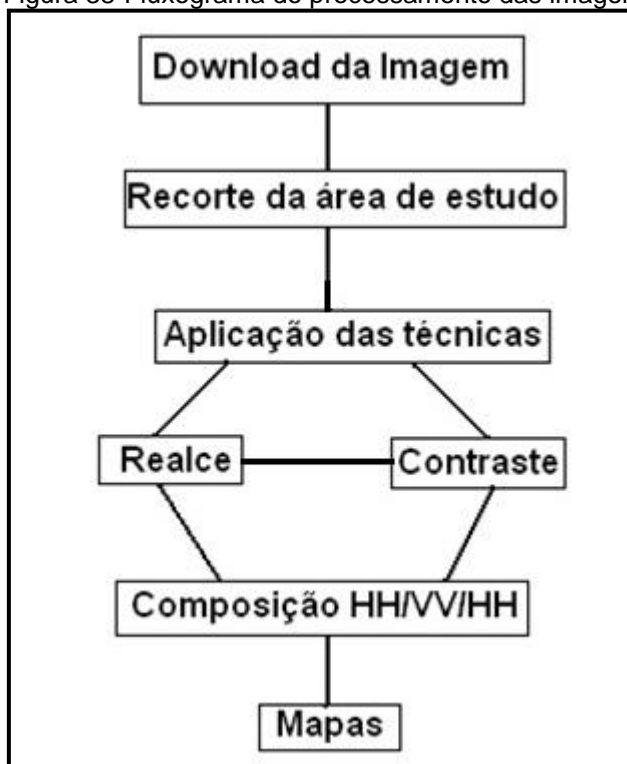
Com a finalidade de ressaltar as informações geológicas e estruturais, foram aplicadas diversas técnicas de realce, sendo a que proporcionou o melhor contraste foi o filtro linear 2%. Com a finalidade de ressaltar as informações geológicas e estruturais, foram aplicadas diversas técnicas de realce, sendo a que proporcionou o melhor contraste foi o filtro linear 2%.

Tabela 3- Características da imagem Alos Palsar da área de estudo.

| <b>Cena</b>    | <b>Banda</b> | <b>Polarização</b> | <b>Resolução Espacial</b> | <b>Tamanho da Imagem</b> |
|----------------|--------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| ALPRP125157070 | L            | HH/HV              | 12,5m                     | 35km x 65km              |

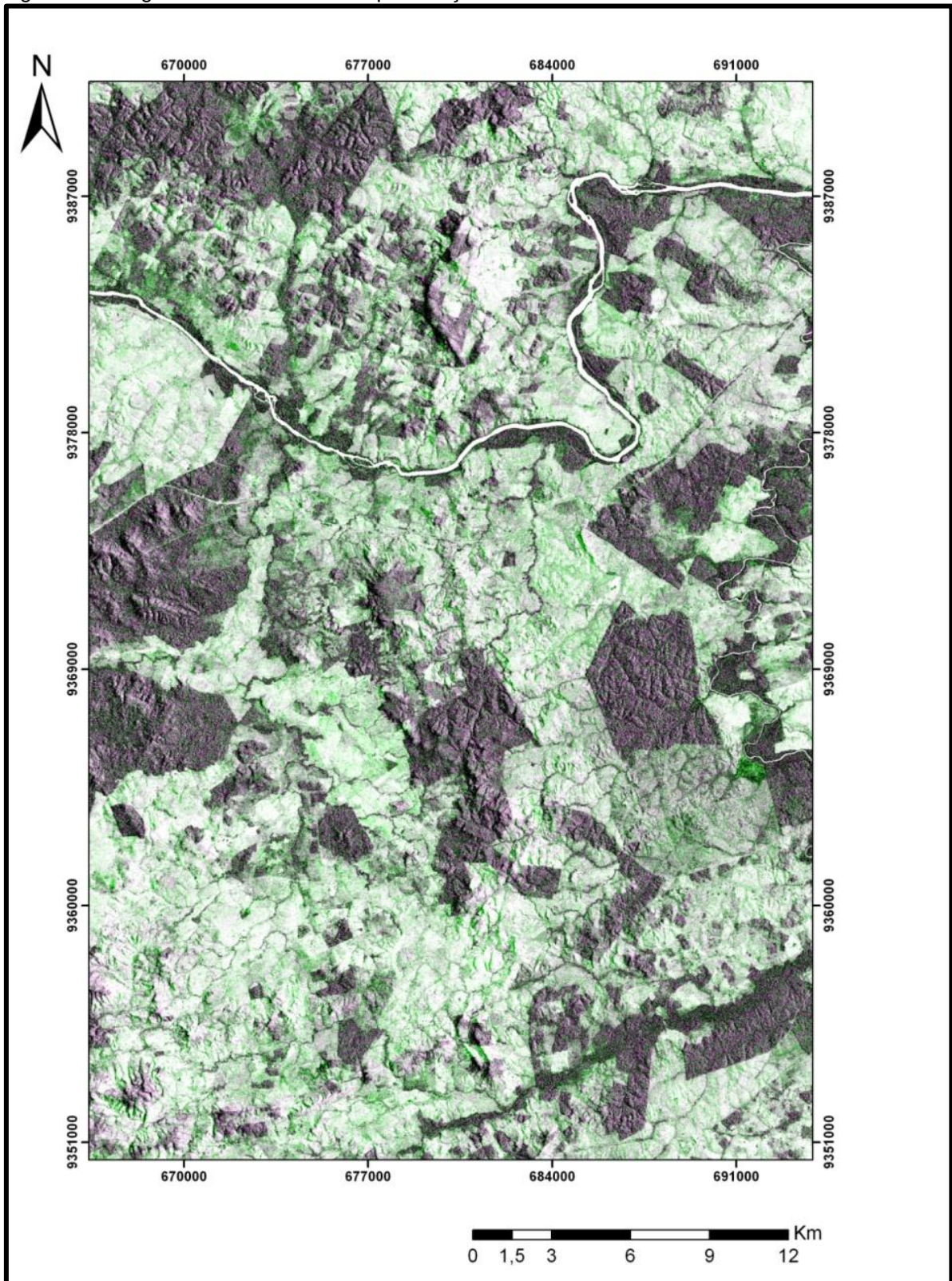
A imagem Alos Palsar com a composição HH/VV/HH (Figura 39) ressaltou bastante as formas de relevo da região de estudo, assim como a rede de drenagem devido a sua resolução espacial de 12,5 m. As polarizações individuais L-HH (Figura 40) e L-VV (Figura 41) foram utilizadas para a integração dos dados (capítulo 8.5) por resalta diferentes feições texturais da imagem.

Figura 38- Fluxograma do processamento das imagens Alos Palsar.



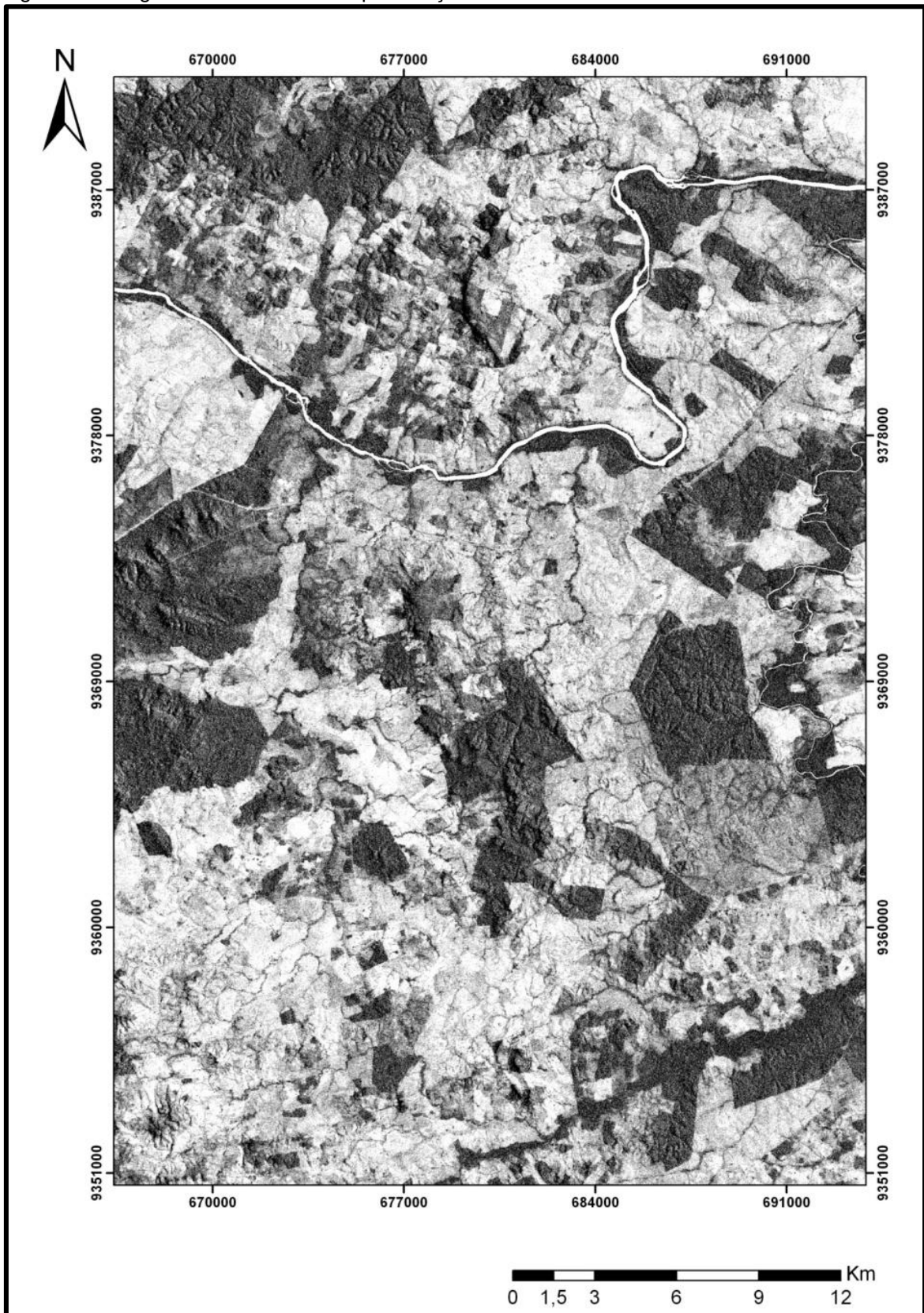
Fonte: Autora

Figura 39 -Imagem Alos Palsar com as polarizações L- HH/VV/HH.



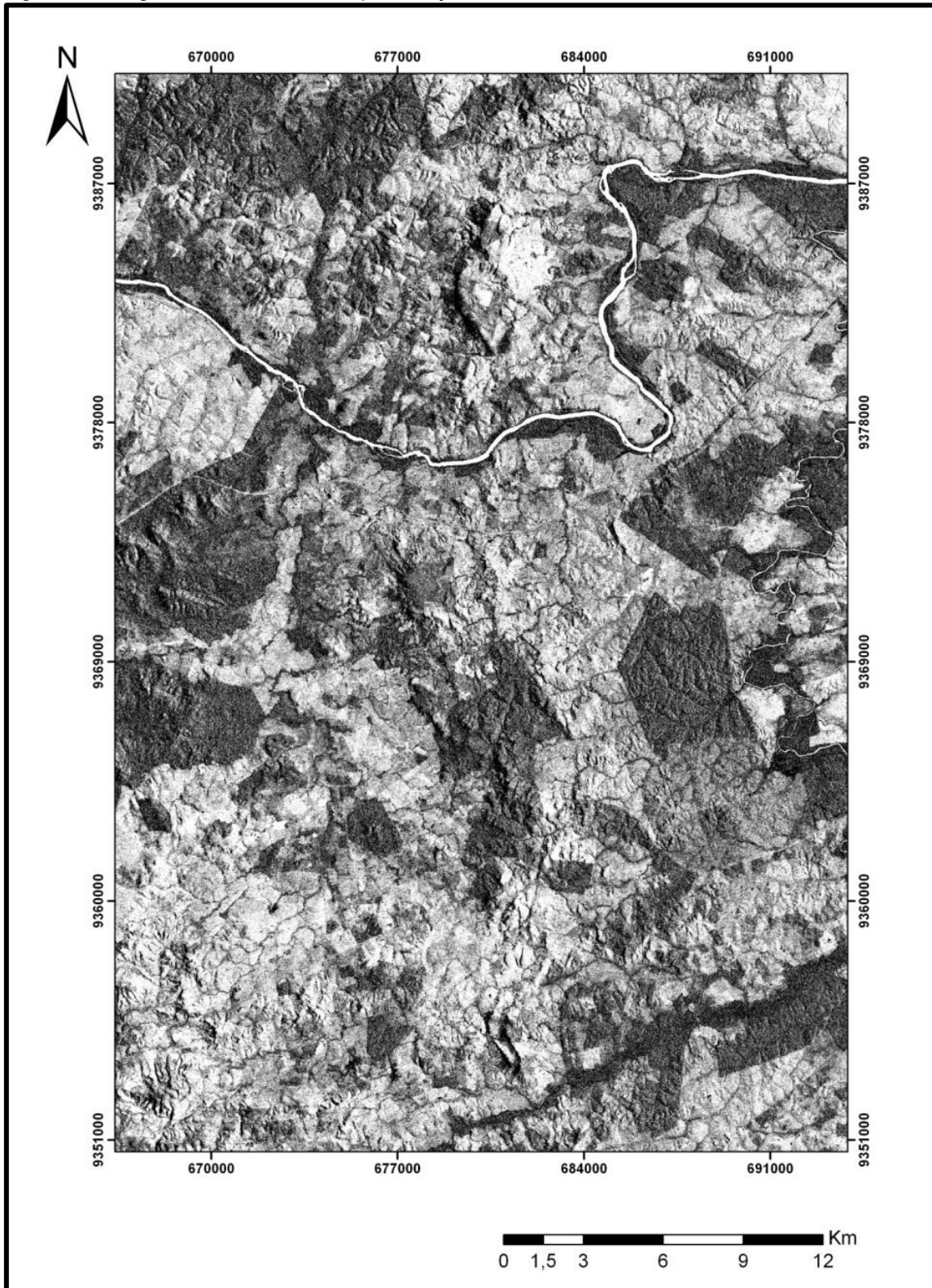
Fonte: Autora

Figura 40- Imagem Alos Palsar com a polarização L- HH e filtro linear de 2%.



Fonte: Autora

Figura 41-Imagem AlosPalsar com a polarização L- VV e filtro linear de 2%.



Fonte:Autora

## 8.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Este capítulo apresenta as análises e interpretações da integração dos dados, AlosPalsar (L-HH) /LandsaT-TM (R4G5B7) e Alos Palsar (L-HH E L-VV) /Aerogeofísica (Mag, Gama). O objetivo da integração digital de dados de sensores remotos é maximizar a extração de informações, utilizando para isso a sinergia obtida com a fusão de imagens correspondentes a diferentes faixas do espectro eletromagnético. Tal procedimento permite uma melhor identificação e mapeamento das principais feições associadas à arquitetura tectono-estrutural, bem como relacioná-los às principais unidades litoestratigráficas da área estudada.

### 8.5.1 Produtos Alos Palsar/TM

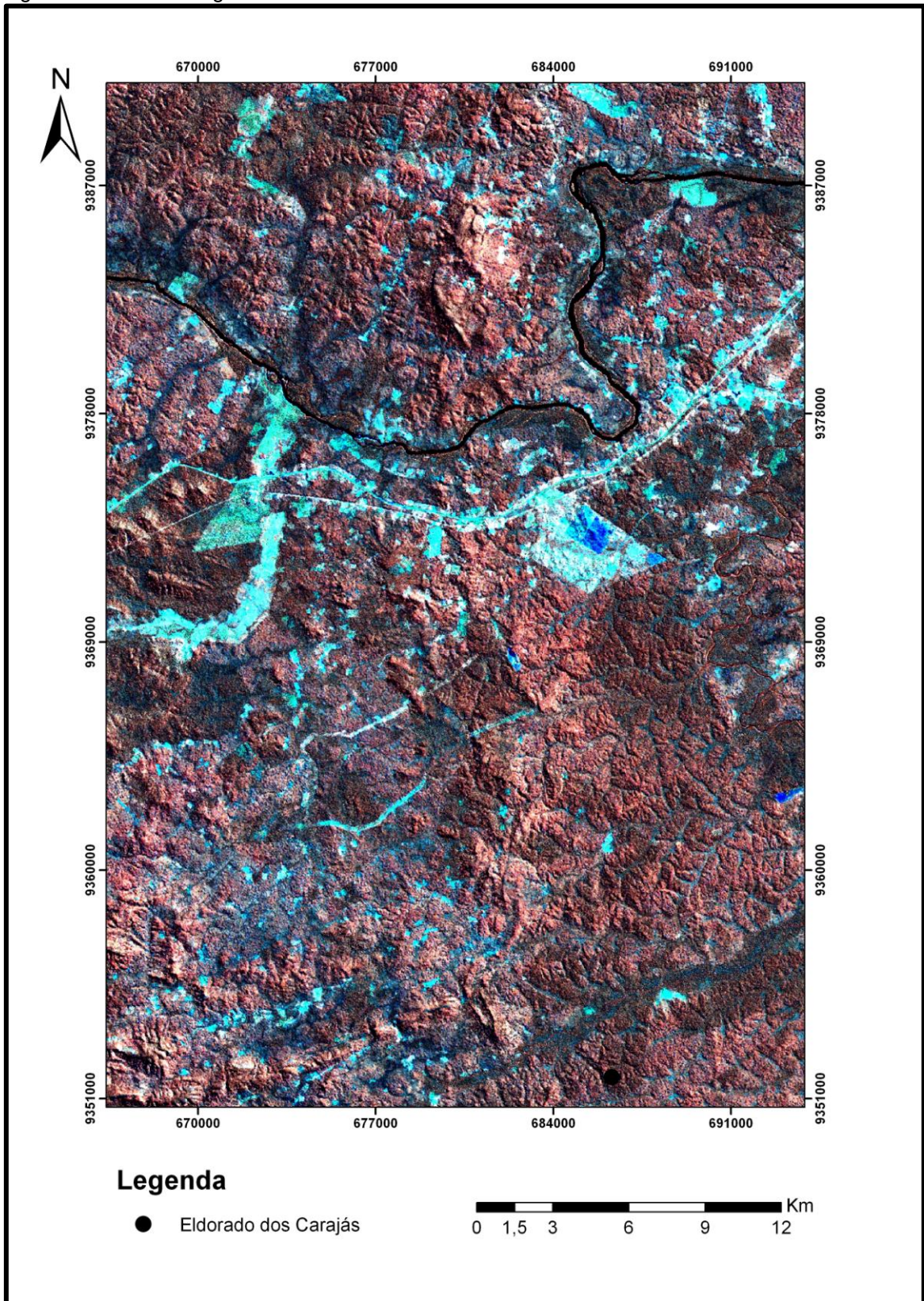
Na integração ALOS PALSAR/TM foram utilizadas a banda L com polarizações HH e VV do ALOS PALSAR e a composição colorida R4G5B7, por ser a composição mais indicada para estudos geológicos.

Os produtos integrados ALOS PALSAR/TM gerou uma imagem com uma resolução espacial de melhor qualidade, destacando as feições estruturais e a rede de drenagem da área de estudo.

No produto integrado L-HH/TM (Figura 42) apresentou um realce da rede de drenagem, apresentando coloração azulada, exceto pelos rios Itacaiúnas e Vermelho que apresentam coloração preta, são perceptíveis as quebras negativas, na coloração laranja, das serras do Urbano e do Sereno. As vias urbanas apresentam coloração azulada. Na porção noroeste as rochas estão dispostas no sentido NW-SE (Complexo Cajazeira) e no extremo sudoeste a estruturação das rochas estão no sentido NE-SW (Grupo Rio Novo) na porção central da área está disposta um estruturação no sentido N-S relacionada ao Cinturão Araguaia.

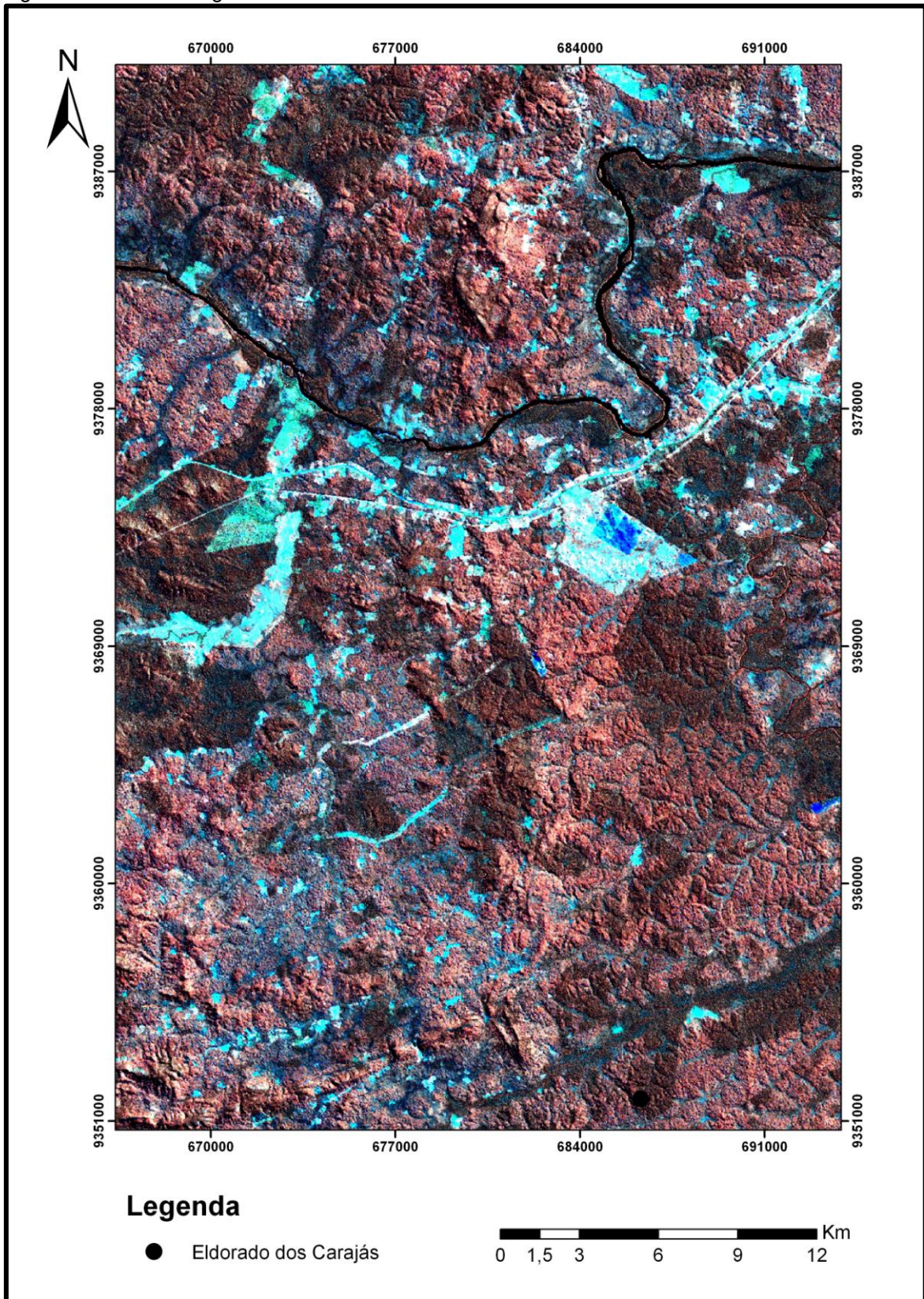
Na interpretação L-VV/TM (Figura 43) foi identificado claramente à rede de drenagem, apresenta coloração azulada, o Rio Itacaiúnas e Vermelho apresentam uma coloração azulada escura, as vias de acesso e as quebras negativas das Serras do Urbano e do Sereno também apresentam coloração azulada. É possível observa o mesmo padrão estrutural do produto anterior (Aerogeofísica) com direção NW-SE na porção extremo noroeste e NE-SW na porção extremo sudoeste.

Figura 42-Produto integrado L-HH/TM.



Fonte: Autora

Figura 43-Produto integrado L-VV/TM.



Fonte: Autora

## 8.5.2 Produto Integrado Alos Palsar/Aerogeofísica

### 8.5.2.1 Produto integrado Alos Palsar/Magnetometria

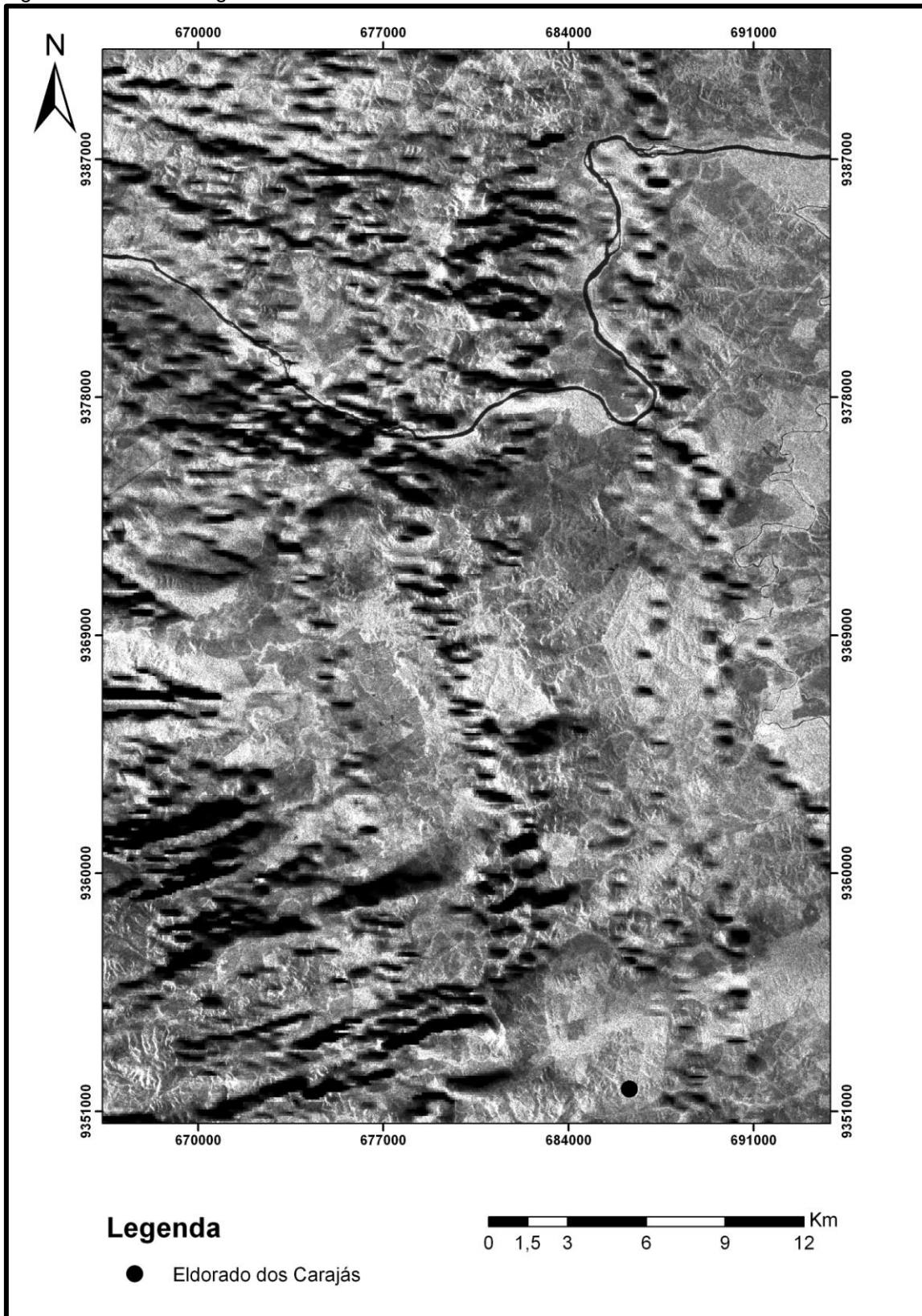
Na integração Alos Palsar/Magnetometria foram utilizadas a banda L com polarizações HH e VV do Alos Palsar, a Primeira Derivada Vertical e a Amplitude do Sinal Analítico da Magnetometria.

A integração L-HH/1DV (Figura 44) e L-VV/1DV (Figura 45) ressaltaram o arcabouço estrutural da área de estudo. Nesses dois produtos os menores valores de campo magnético na porção NW e SW da área é representado pelos trends estruturais do Complexo Cajazeira de direção NW-SE e do Grupo Rio Novo NE-SW representando diferentes regimes estruturais. Na porção oriental da área de estudo os baixos valores magnéticos apresentam direção N-S ligados ao Cinturão Araguaia. Na porção leste da área o Grupo Serra Grande apresenta uma estruturação na direção E-W.

Os produtos integrados L-HH/ASA (Figura 46) e L-VV/ASA (Figura 47) apresentaram respostas magnéticas similares. Os valores elevados representam a borda dos corpos largos e o centro de corpos pequenos, na porção SW da área de estudo está ressaltando a borda da serra do Sereno pertencente ao Grupo Rio Novo e na porção nordeste da área os valores magnéticos elevado é o centro da serra do Urbano pertencente à Formação Couto Magalhães e a repetição dos trends estruturais.

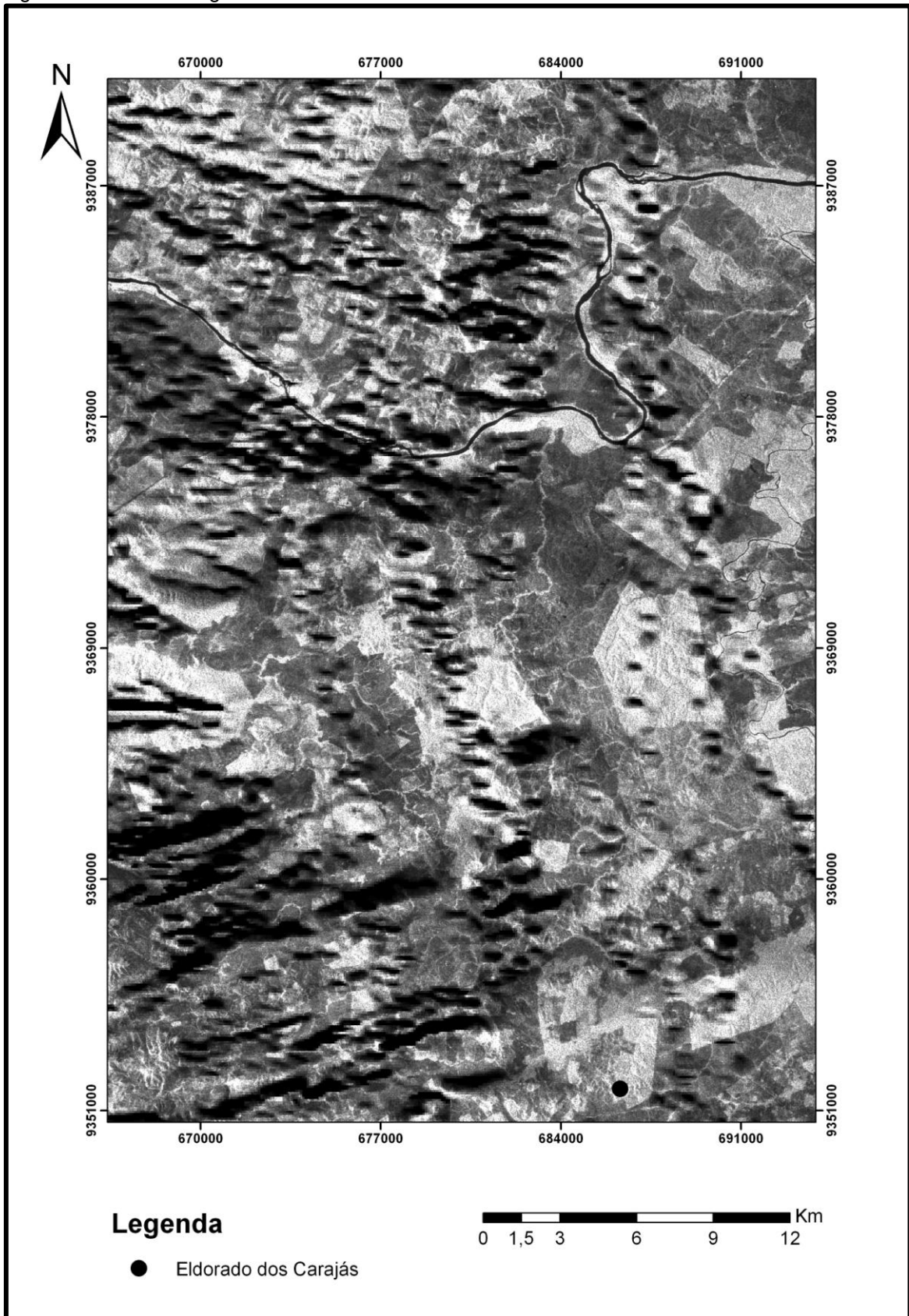
Os lineamentos integrados e a rosáceas (Figura 48 e 49) dos produtos integrados Alos Palsar/ Magnetometria mostram uma direção preferencial NW-SE ligados aos trends estruturais do Complexo Cajazeira, subordinadamente direções N-S (Cinturão Araguaia) e NE-SW (Grupo Rio Novo) e Formação Tapirapé e trends E-W (Grupo Serra Grande).

Figura 44-Produto integrado L-HH/1DV.



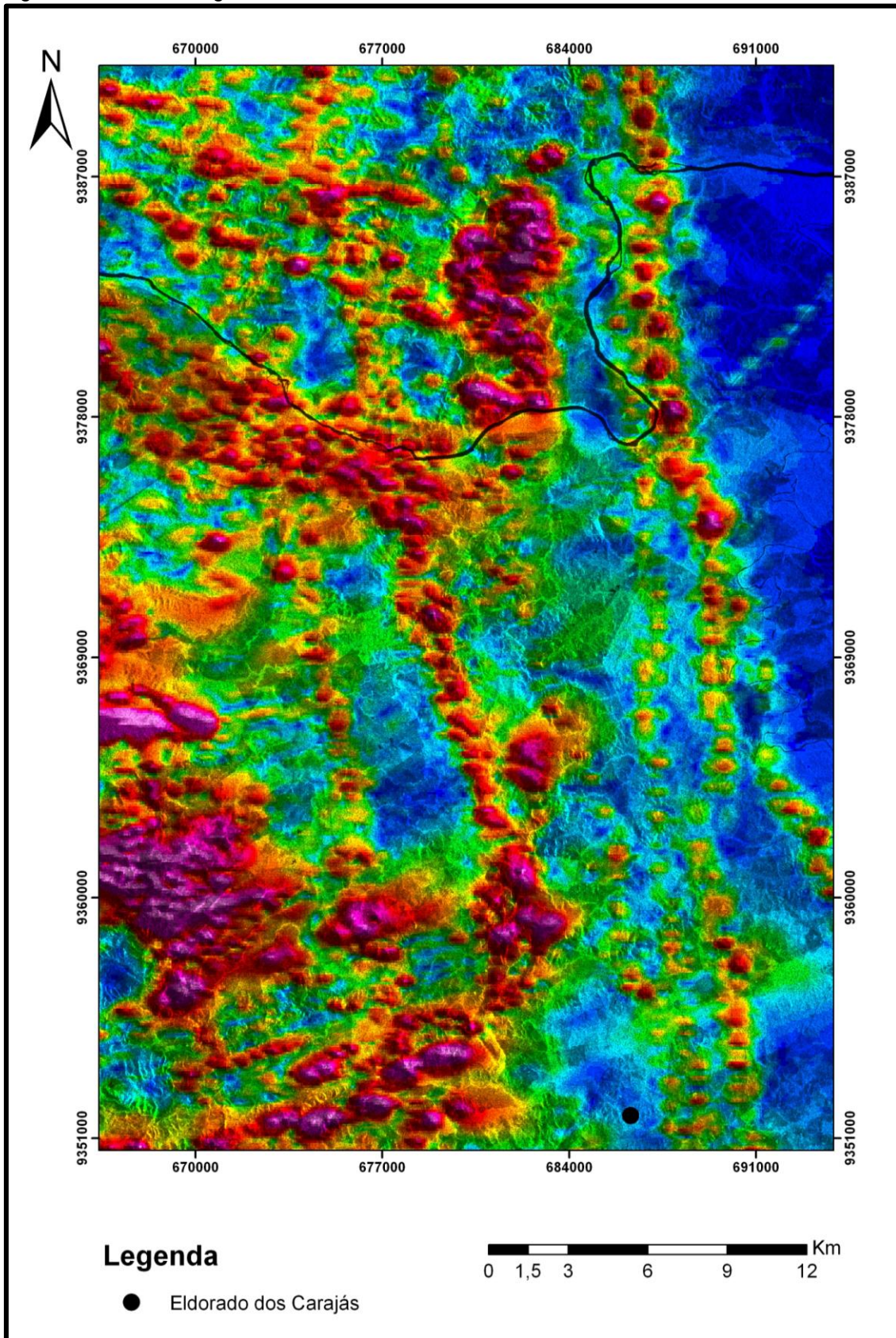
Fonte: Autora

Figura 45-Produto integrado L-VV/1DV.



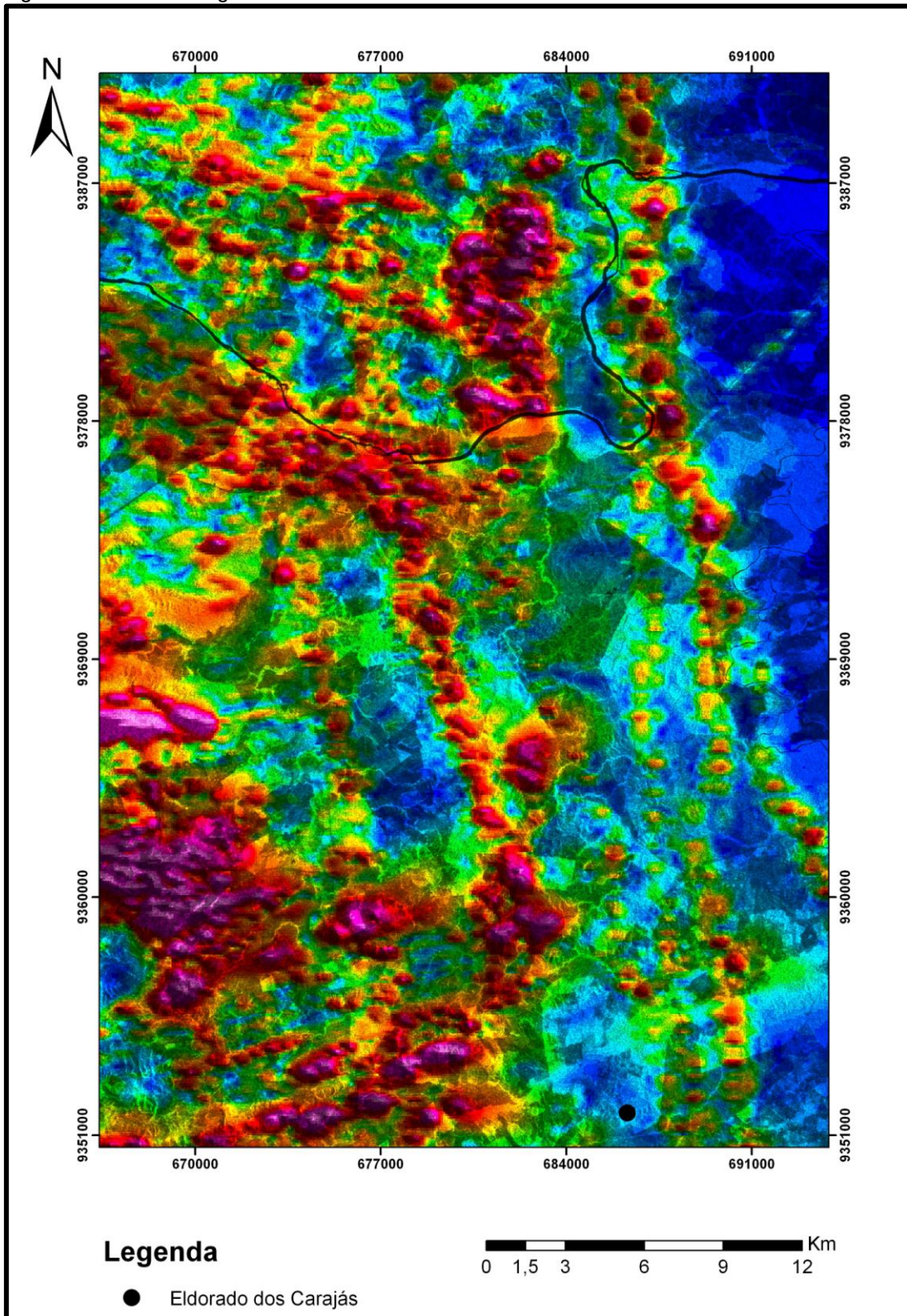
Fonte:Autora

Figura 46-Produto integrado L-HH/ASA.



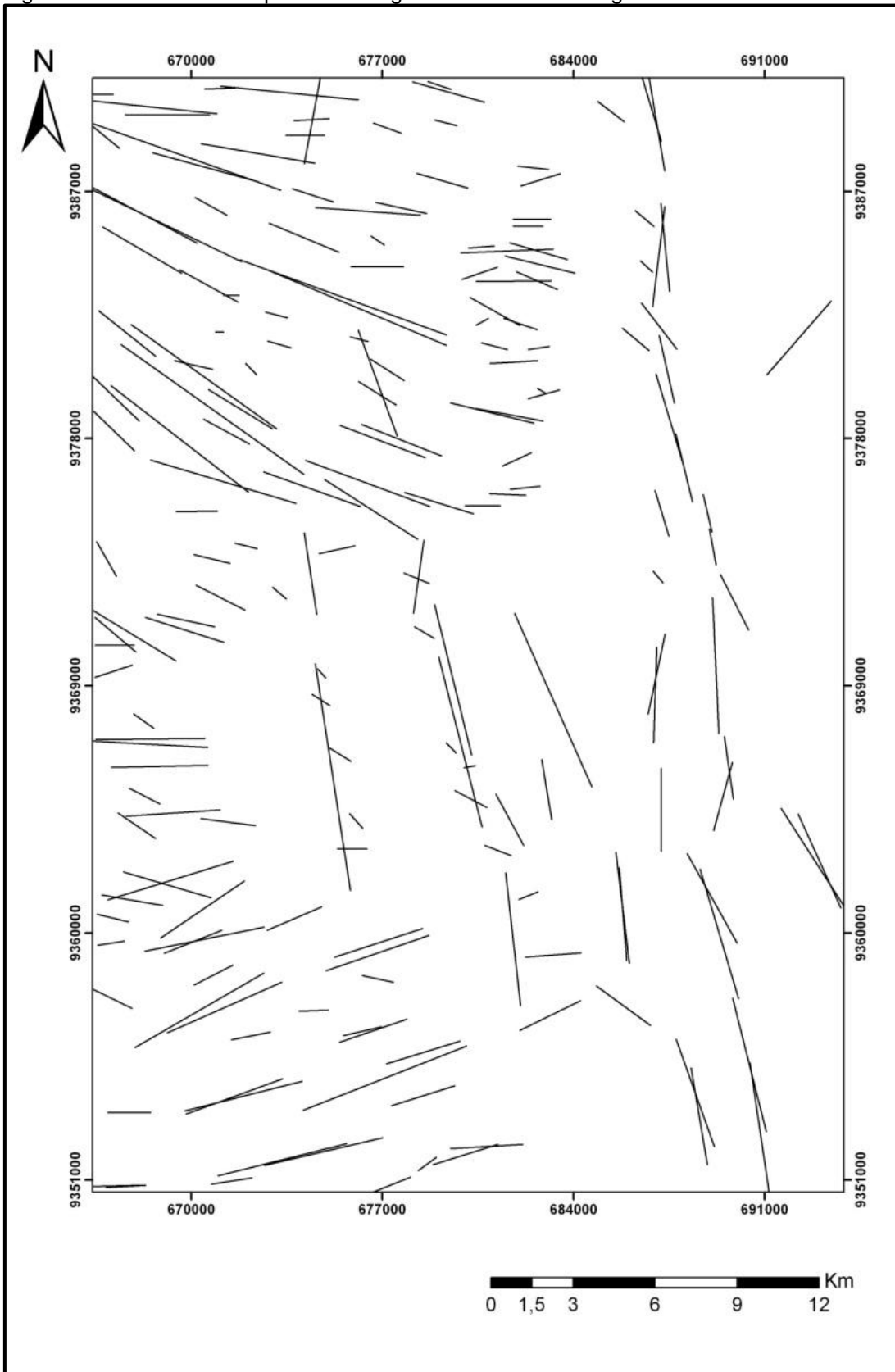
Fonte:Autora

Figura 47-Produto integrado L-VV/ASA.



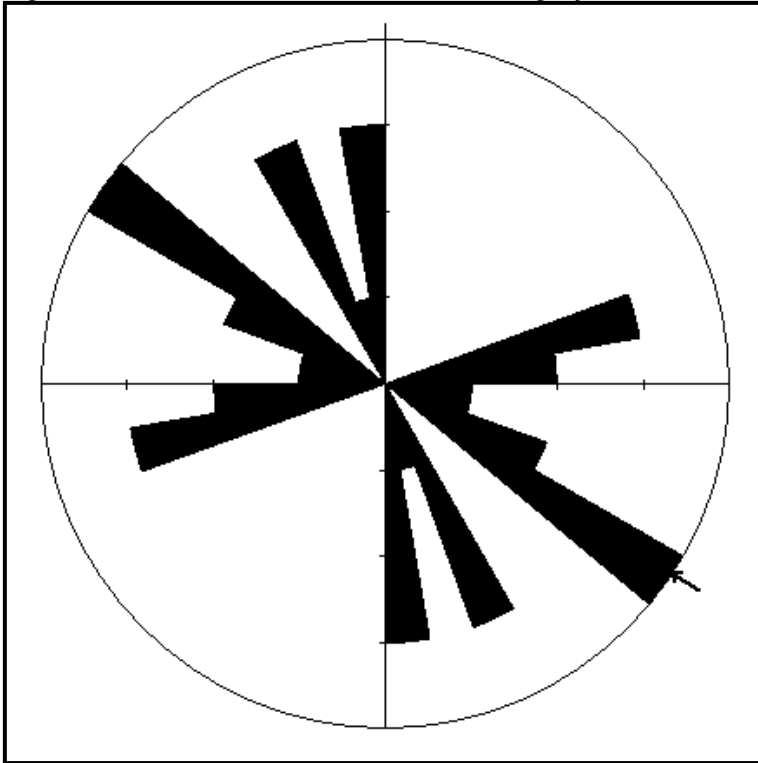
Fonte:Autora

Figura 48-Lineamento dos produtos integrados Alos Palsar/Magnetometria.



Fonte:Autora

Figura 49 - Rosácea dos lineamentos da integração Alos Palsar/Magnetometria.



Fonte:Autora

#### 8.5.2.2 Produto integrado Alos Palsar/Gamaespectrometria

Os produtos da integração foram a banda L com as polarizações HH e VV do Alos Palsar com os canais radiométricos de Th e U.

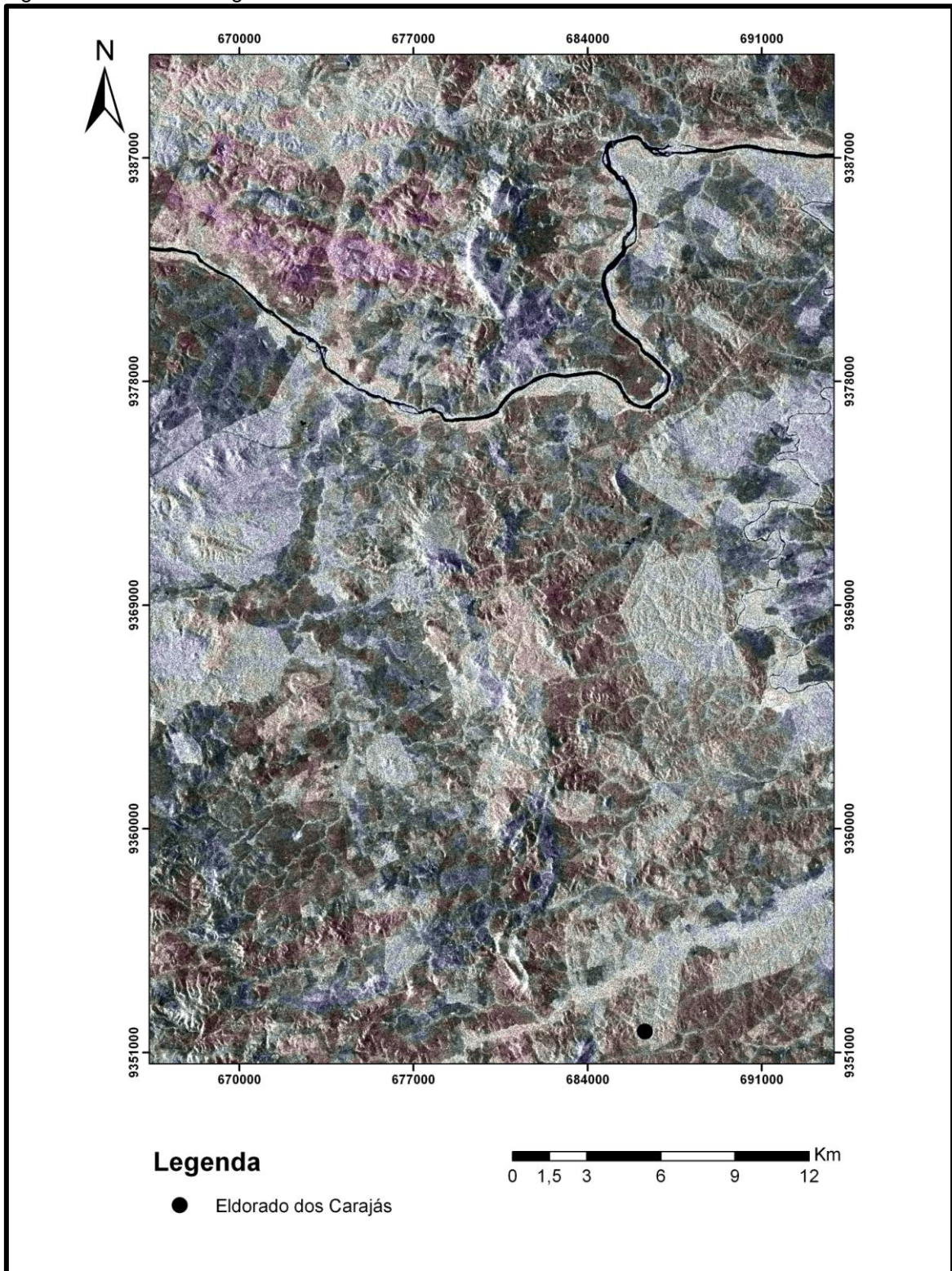
A integração ALOS PALSAR/Gamaespectrometria, apresentou o maior contraste entre as polarizações L-HH/Th e L-VV/Th. O produto integrado L- HH/Th (Figura 50), não ressaltou os domínios radiométricos, porém a rede de drenagem foi bastante ressaltada. A fusão L-VV/Th (Figura 51) gerou uma boa resposta radiométrica, com valores elevados na porção noroeste, representado pelo Complexo Cajazeira com um trend de direção NW-SE. As demais unidades apresentam valores radiométricos baixos.

Na integração L-HH/U (Figura 52) e L-VV/U (Figura 53) estão bastante ressaltadas a estruturação das rochas no extremo noroeste de direção NW-SE e no extremo sudoeste de direção NE-SW, os valores radiométricos elevados de U, estão na Serra do Sereno que representa um dos pontos mais elevados da área de trabalho, sugerindo maior exposição de afloramentos rochosos, principalmente sobre a área de ocorrência do grupo Rio Novo. Próximos ao Rio Itacaiúnas os valores

radiométricos de U são altos, corroborando que urânio é um elemento que possui grande mobilidade, podendo permanecer em locais próximo de drenagens.

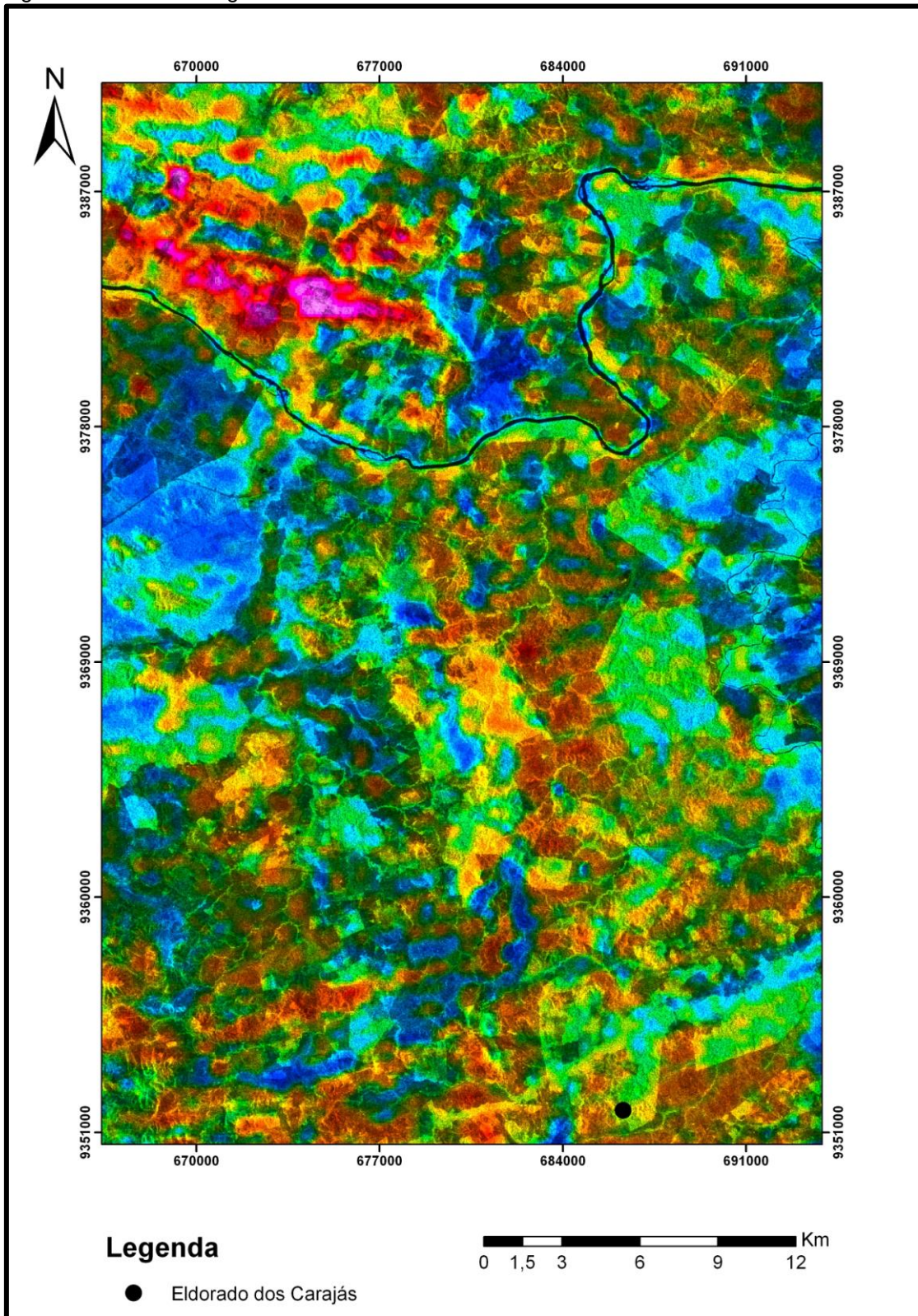
Os lineamentos (Figura 54) e as rosáceas (Figura 55) com produtos integrados Alos Palsar/Gamaespetrometria corroboram os lineamentos do Alos Palsar/Magnetometria apresentam na direção preferencial NW-SE e subordinadamente direções como NE-SW, N-S e E-W.

Figura 50 - Produto integrado L-HH/Th.



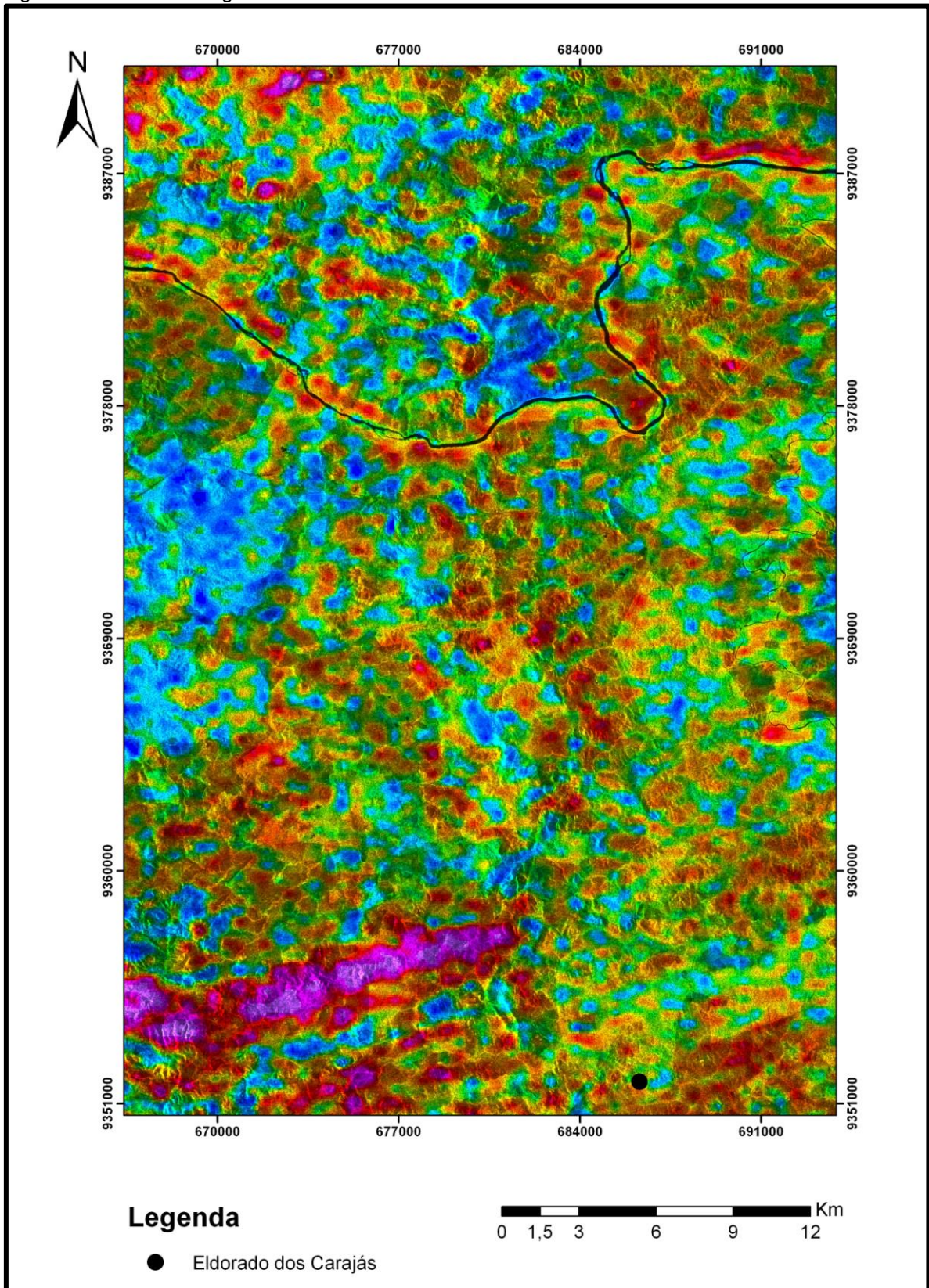
Fonte: Autora

Figura 51- Produto integrado L-VV/Th.



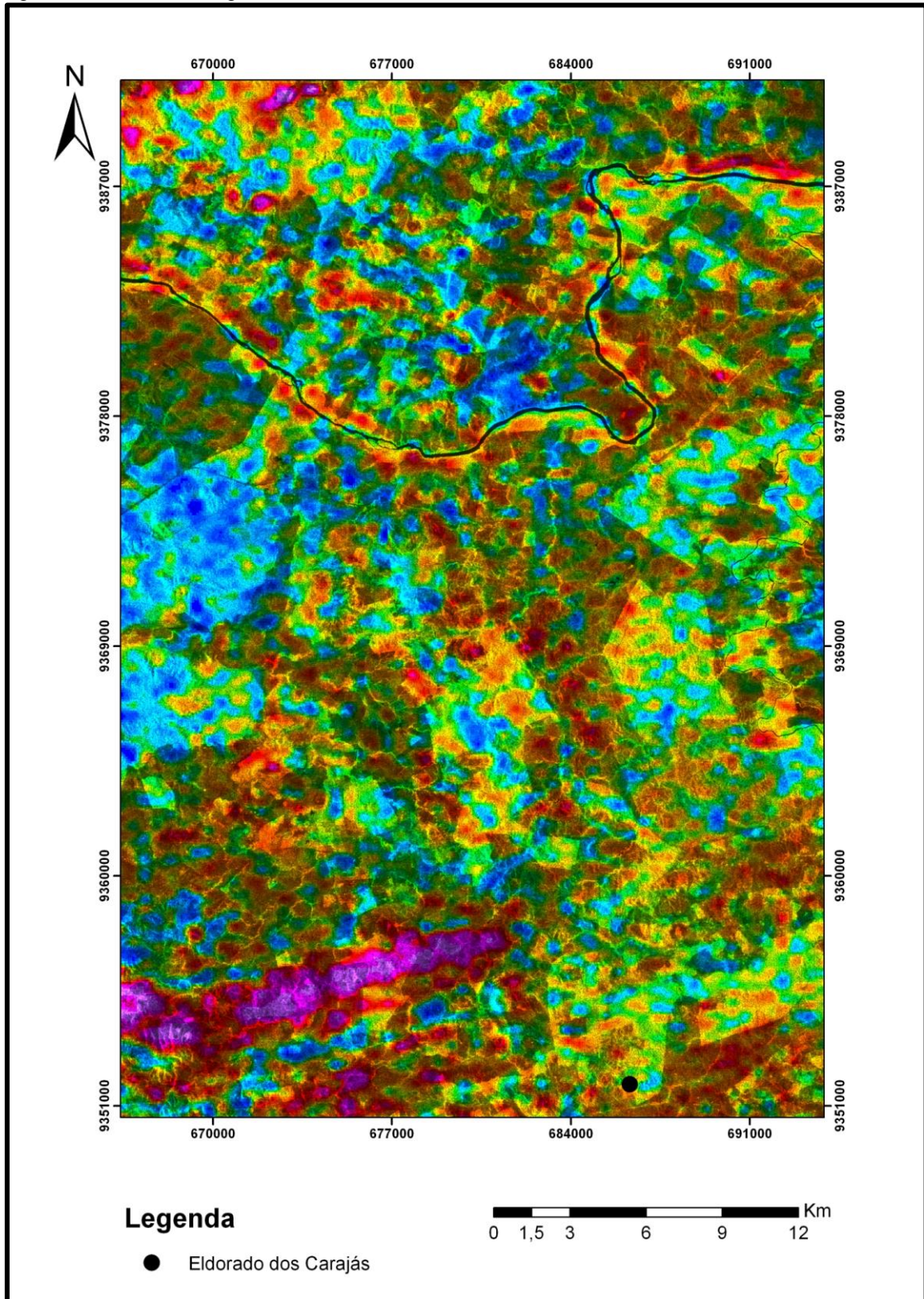
Fonte: Autora

Figura 52 - Produto integrado L-HH/U.



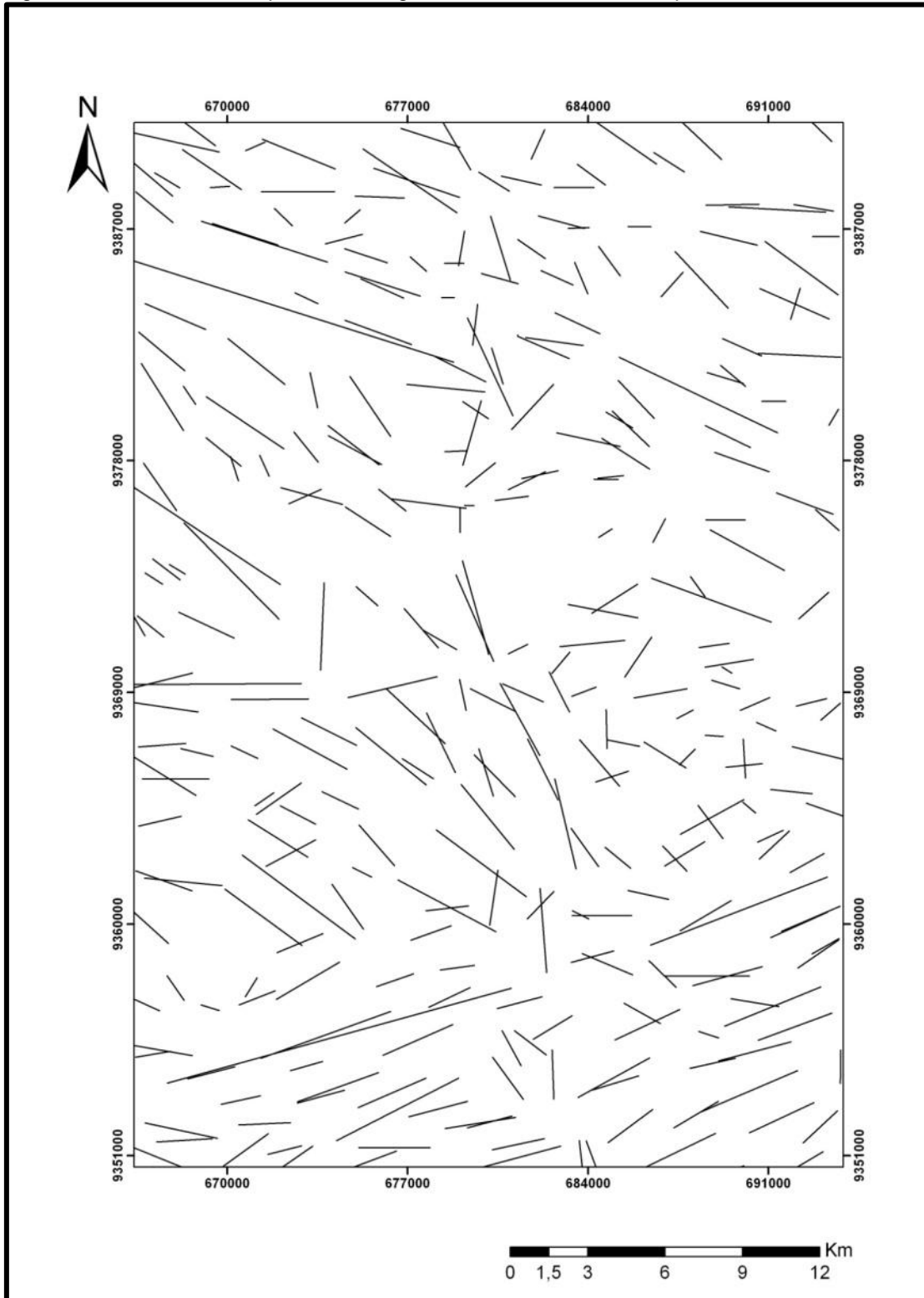
Fonte: Autora

Figura 53 - Produto integrado L-VV/U.



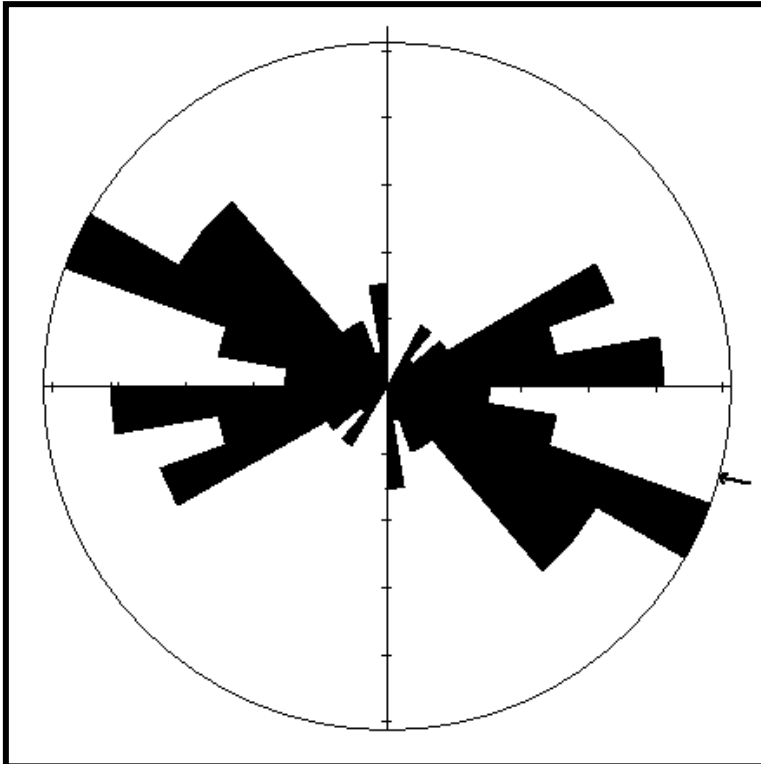
Fonte:Autora

Figura 54-Lineamento dos produtos integrados Alos Palsar/Gamaespectrometria.



Fonte:Autora

Figura 55 - Rosácea com os lineamentos produtos integrados Alos Palsar/Gamaespectrometria.



Fonte: Autora

#### 8.5.2.3 Considerações da integração da imagens SR e Aerogeofísica.

A integração dos dados maximizou a extração dos dados de sensores remotos, ressaltando diferentes feições texturais da área de estudo a fusão Alos Palsar/Landsat-TM salientou a rede de drenagem a integração Alos Palsar/Aerogeofísica delimitou a província estrutural do Tocantins e o comportamento lito-estrutural da região entre Marabá e Eldorado dos Carajás.

A direção preferencial NW-SE extraídos de todos os produtos integrados (SR e Aerogeofísica), pode estar relacionada a falhas trascorrentes ligadas a um sistema transcorrente dextral, relacionado ao cinturão de cisalhamento Itacaiúnas.

## 11 CONCLUSÃO

A realização desse trabalho demonstrou que a utilização de técnicas Integração de dados de sensores remotos diversos, com características distintas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) consistem em uma ferramenta muito útil para integração de dados na geração de mapas para aplicações geológicas, fornecendo dados preliminares antes da etapa de campo.

A grande extensão da área de estudo e o pequeno número de estradas, não permitiram a locomoção por toda a área, realçando a importância dos produtos integrados como ferramentas úteis na programação e otimização dos trabalhos de campo.

A utilização de produtos de sensoriamento Remoto, TM e Palsar permitiram tecer considerações sobre a orientação da principal província estrutural da área (Província Tocantins), assim como a extração dos elementos de logística.

Os produtos aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos foram utilizados tanto para caracterização do arcabouço geológico regional quanto para diferenciar unidades litogeofísicas, permitindo avaliar a contribuição de radio elementos sobre as rochas estudadas.

O canal de Tório delimitou uma unidade litológica representada pelo Complexo Cajazeira. O Canal de Urânio, por ser um elemento de alta mobilidade mostrou concentrações elevadas nos leitos de drenagens.

As imagens magnetométricas foram de grande utilidade para a retirada de alinhamentos estruturais que muito ajudaram no entendimento dos sistemas estruturais, delimitaram o Complexo Cajazeira e os principais trends estruturais regionais, bem como a orientação do relevo em algumas porções da área de estudo.

O modelo digital de Terreno (MDT) permitiu uma melhor visualização da variação de relevo da área de estudo, com um detalhamento maior que as obtidas através de técnicas convencionais.

A integração dos dados de Sensoriamento Remoto e Aerogeofísico permitiu uma melhor extração dos elementos naturais da área de estudo. A fusão Alos Palsar/TM, salientou principalmente a rede de drenagem, a integração Alos Palsar/Aerogeofísica definiu contatos geológicos e o entendimento das relações espaciais entre as unidades geológicas e os alvos não geológicos da área de estudo. As estruturas mais marcantes na integração Alos Palsar/Aerogeofísica

apresentam trends de direção NW/SE e NE/SW, visualizou-se um trend N-S, mais destacado no domínio que se refere à Província Tocantins.

Na área de estudo, as unidades geológicas são: Domínio Carajás (Grupo Rio Novo), Domínio Bacajá (Complexo Cajazeira e Formação Tapirapé), Cinturão Araguaia (Formação Couto Magalhães), depósitos fanerozóicos Bacia do Parnaíba (Grupo Serra Grande), Bacia do Marajó, Sub-Bacia de Mocajuba (Formação Barreiras) e depósitos aluvionares.

Portanto, o objetivo de gerar e analisar os produtos integrados foi cumprido obtendo como resultado um mapa geológico na escala 1: 150.000 para a região entre Marabá e Eldorado dos Carajás, interpretado a partir de produtos de Sensoriamento Remoto e Aerogeofísica .

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo. Edgard Blücher, 1984. 378p.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. The Upper Precambrian of South America. *Boletim Instituto de Geociências USP*, v. 7, p. 45-80, 1976. (Série Científica, 7).
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian Structural Provincesan Introduction. *Earth Science Review*, v.17, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias Estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 2., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ALMEIDA, H. G.; MARINHO, P. A. C.; MARTINS, R. C. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:250.000 da folha Marabá (SB.22-ZC-V)*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2001. 113p.
- AZEVEDO, R.P. *Tectonic evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin basins*. 1991. Tese (Doutorado) - Royal School of Mines Imperial College, London, 1991.
- BARROS, C.E.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; BARBEY, P. Idade de zircões do complexo granítico estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG-Núcleo Norte, 2001.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Arquivos do Instituto Ciências da Terra*, v. 2, p. 1-14, 1964.
- BIZZI, L.A. et al. (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília: CPRM, 2003. 692 p.
- BLUM, M. L. B. *Processamento e interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e suas aplicações a Geologia Regional e a Prospecção Mineral*. 1999. 229 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília,DF, 1999.
- CARVALHO, D. S. A geofísica no mapeamento de áreas contaminadas. In: Workshop Gestão Integrada: Risco e sustentabilidade, 2., 2006. / São Paulo: Centro Universitário Senac, 2006.
- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R. L.; BORGES, M. S. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos. Revista de Geociências*, v.4, n.2, p.23-44. 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. *Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia*. São José dos Campos: INPE, 2004.

CRUZ, F.M. *Avaliação Geoambiental e hidrológica da Bacia do Rio Itacaiúnas, PA*. 2010. 179f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CUNHA, E.R.S.P. *Integração digital de imagens de radar e Landsat-TM com dados geológicos e aerogamaespectrométricos no auxílio ao mapeamento geológico da região do Complexo Granítico Estrela - (PA)*. 2002. 147f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

FELIPE, L.B. *Geologia, geomorfologia e morfotectônica da região de Marabá-PA*. 2012. 155f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

FEYBESSE, J.L.; MILÉSI, J.P. The Archean/Paleoproterozoic contact zone in West Africa: a mountain belt of décollement thrusting and folding on a continental margin related to 2.1 Ga convergence of Archean cratons? *Precambrian Research*, v. 69, n.1-4, p. 199-227, 1994.

FIGUEIREDO, A. J. A.; SOUZA, J.O.; OLIVATTI, O. *Conceição do Araguaia – Folha SC. 22-X-B – Estado do Tocantins/Pará*. Escala 1: 250.000. Textos explicativos. Brasília: CPRM, 1994. 113 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

FILHO, C.O.A. *Análise morfoestrutural da porção central da bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE – SRTM e ALOS PALSAR FBD*. 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

GALVÃO, M.V.G. *Evolução Termodinâmica da Bacia do Marajó*. 1991. Dissertação (Mestrado) - Universidade Ouro Preto, 1991.

GEOSOFT 1995. *GEOSOFT mapping and processing system*. GEOSOFT, Inc., Toronto.

GIBBS, A.K. et al. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 2, p. 201-211, 1986.

GÓES, A.M. *A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba*. 1995. 171 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GÓES A.M.O.; FEIJÓ F.J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan/mar. 1994.

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís – Grajaú*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p. 15-30 (Coleção Friedrich Katzer).

GORAYEB, P.S.S. *Evolução geológica da região de Araguacema Pequizeiro-Goiás-Brasil*. 1981. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.

HARRIS, J.; MURRAY, R.; HIROSE, T. IHS transform for the integration of radar imagery with remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.56, n.12, p.1631-1641, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATA)*. Disponível em: <[HTTP://www.dsr.inp.br/topodata](http://www.dsr.inp.br/topodata)>. Acesso em: 22 jun. 2012.

LEDRU, P. JOHAN V.; MILÉSI J. P.; TEGYEY, M. Markers of the last stages of the Paleoproterozoic collision: evidence for a 2,0Ga continent involving circum South Atlantic provinces. *Precambrian Research*, v. 69, n. 1-4, p. 169-191, 1994.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 2 ed., New York, John Wiley and Sons: 1987, 721p.

LIMA, H. P. *Análise estratigráfica da Bacia do Marajó*. Belém, Petrobrás: Departamento de Exploração do Norte. Divisão de Interpretação, 1987. 15p. Notas de aula.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROUGH, T.E.; LINDENMAYER, D. U-Pb Geochronology of Archean Magmatism and Basement Reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, v.49, p.329-354, 1991.

MARTINI, P.R. *Imagens para mapeamento geológico e levantamento de recursos minerais para uso dos centros de atendimento a usuários – ATUS do INPE*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 13 p.

MEDEIROS, J. S. *Geoprocessamento para Estudos Ambientais*, São José dos Campos: INPE/SEBRAE, 2000.

MINTY BRS. 1991. Simple micro-leveling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, 22: 591-592.

MONTGOMERY, C.W.; HURLEY, P.M. Total rock U-Pb and Rb-Sr systematic in the Imataca Series, Guyana Shield, Venezuela. *Earth Planetary Sciences Letter*, v. 39, p. 281-290, 1978.

MOURA C. A. V.; GAUDETTE H. E. Evidence of Brasiliano/Pan-African deformation in the Araguaia belt: implication for Gondwana evolution. *Revista Brasileira de Geociências* 23, 117-123, 1993.

OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO, C.S.; COSTA, E.J.S. *Serra Pelada; folha SB.22.X.C.* Estado do Pará, escala 1: 250.000. Brasília: CPRM, 1994. 220 p., il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

ONSTOTT, T.C.; HARGRAVES, R.B. Proterozoic transcurrent tectonics: paleomagnetic evidence from Venezuela and Africa. *Nature*, v. 289, p. 131-136, 1981.

ONSTOTT, T. C.; HARGRAVES, R. B.; YORK, D.; HALL, C. Constraints on the motions of South American and African Shields during the Proterozoic, I.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and paleomagnetic correlations between Venezuela and Liberia. *Geological Society of America Bulletin*, v. 95, n. 9, p. 1045- 1054, 1984.

REIS, F.N. et al. Estudo isotópico do depósito Cupro - Aurífero de Serra Verde, Província Mineral de Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. *Resumos expandidos...* Belém: SBG, 2001. 1 CD-ROM.

ROSA-COSTA, L.T. *Geocronologia  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , Sm-Nd, U-Th-Pb e  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  do segmento sudeste do Escudo das Guianas: evolução crustal e termocronologia do evento Transamazônico.* 2006. 226 f. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2003.p. 169-226, il.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L. A.; GAUDETTE H. E.; GROVES, D. I.; NEAL JESSE M.C.; NAUGHTON, N. J.; IAN ROBERT FLETCHER, I. R. New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. *Gondwana Research*, v. 3, n. 4, p. 453-488, 2000.

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG, 1971. v. 3. p. 189-202.

SCHOBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B.B. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). *Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília, CPRM, 2003. p. 5-54.

SHIMADA, M.; ISOGUCHI, O.; TADONO, T.; ISONO, K. PALSAR: Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 47, n. 12, p. 3915-3932, 2009.

SILVA, A.J.P. et al. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília: CPRM, 2003. p. 55-71.

SOARES, J.A.C. *Tratamento e integração digital de imagens SAR (RADARSAT/SCANSAR) e multiespectrais (LANDSAT/TM) com dados aeromagnetométricos para estudos geológicos na província mineral de Carajás-PA.*

2003. 146f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

SOARES JR., A. V. S. *A fragmentação do Gondwana na região meio-norte do Brasil*. 2007. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, 2007.

SOUZA, J.O.; MORETON, L.C. *Xambioá, folha SB.22- Z-B: Estados do Pará e Tocantins*. Escala 1: 250.000. Brasília: CPRM, 1995. 84 p. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

SOUZA, S. C. R; SANTOS JUNIOR, A. E. S. Fácies e estratigrafia da sedimentação proximal da Formação Barreiras, sul do sistema de gráben do Marajó, região de Marabá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 2010. v. 1, p.109-133.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 17, p. 180-188. 1987.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Ed.). *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-485.

TERUIYA, R.K. *Integração digital de dados multifontes no estudo geológico do Granito Cigano, Província Mineral de Carajás-PA*. 2002. 139f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

TORRE, Verena Bispo. *Cartografia geológica digital da folha AS-24-Y-CVI-4, NW do Ceará, a partir de dados geológicos/geofísicos primários e secundários*. 2011. 146f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

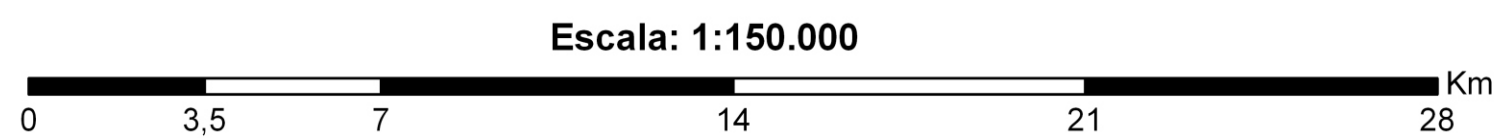
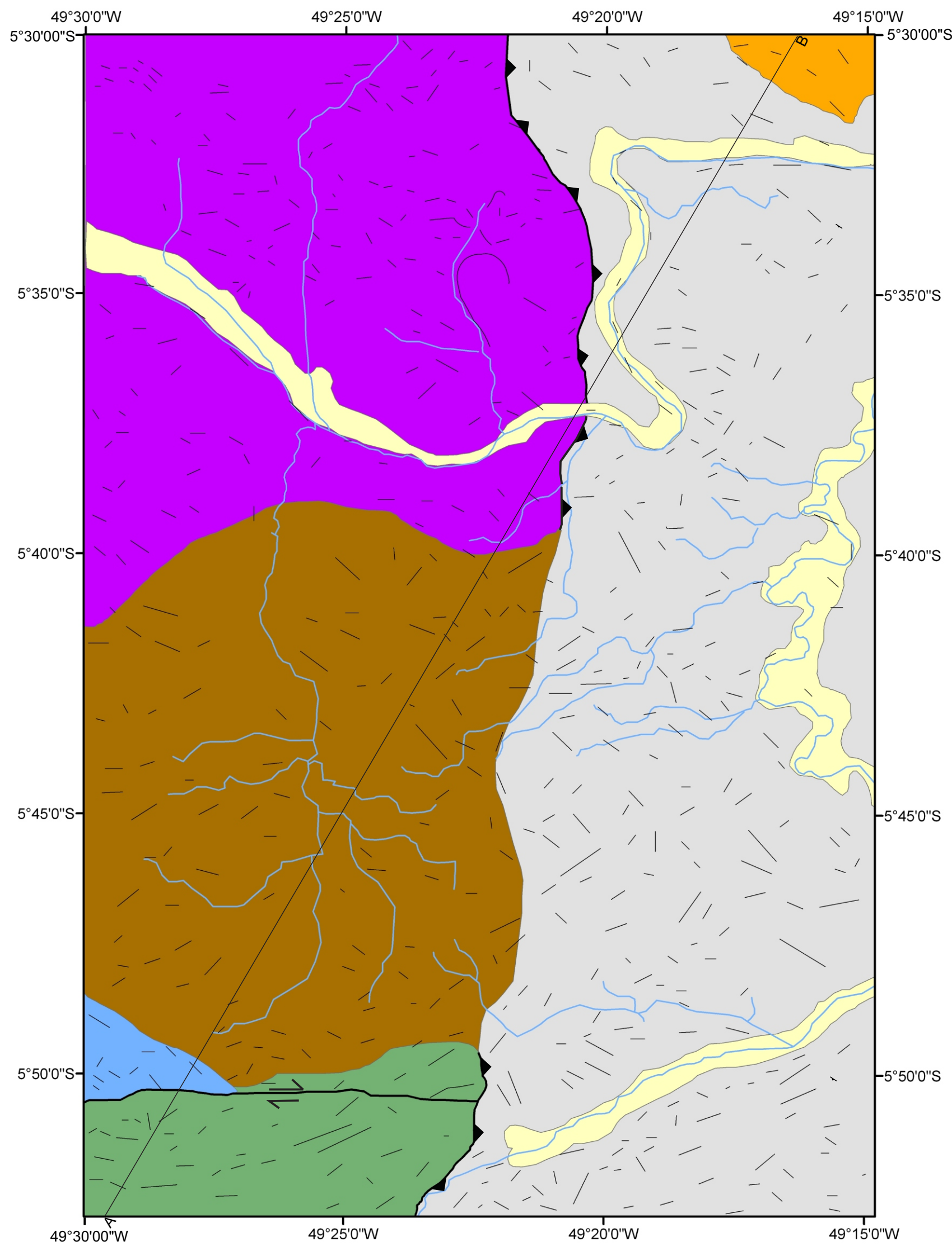
VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. *Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará: texto explicativo*. Belém: CPRM, 2008. 2 mapas, col. Escala 1: 1.000.000. 1CD-ROM.

VASQUEZ, M.L.; MACAMBIRA, M.J.B.; ARMSTRONG, R.A. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, south eastern Amazonian Craton, Brazil: neoproterozoic to orogenic evolution. *Precambrian Research*, v. 161, p. 279-302, 2008.

VILLEGAS, J.M.C. *Geologia estrutural da Bacia do Marajó*. 1994. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.



# Mapa Geológico da área de estudo



Escala: 1:150.000

Datum WGS 84  
Fuso 22S

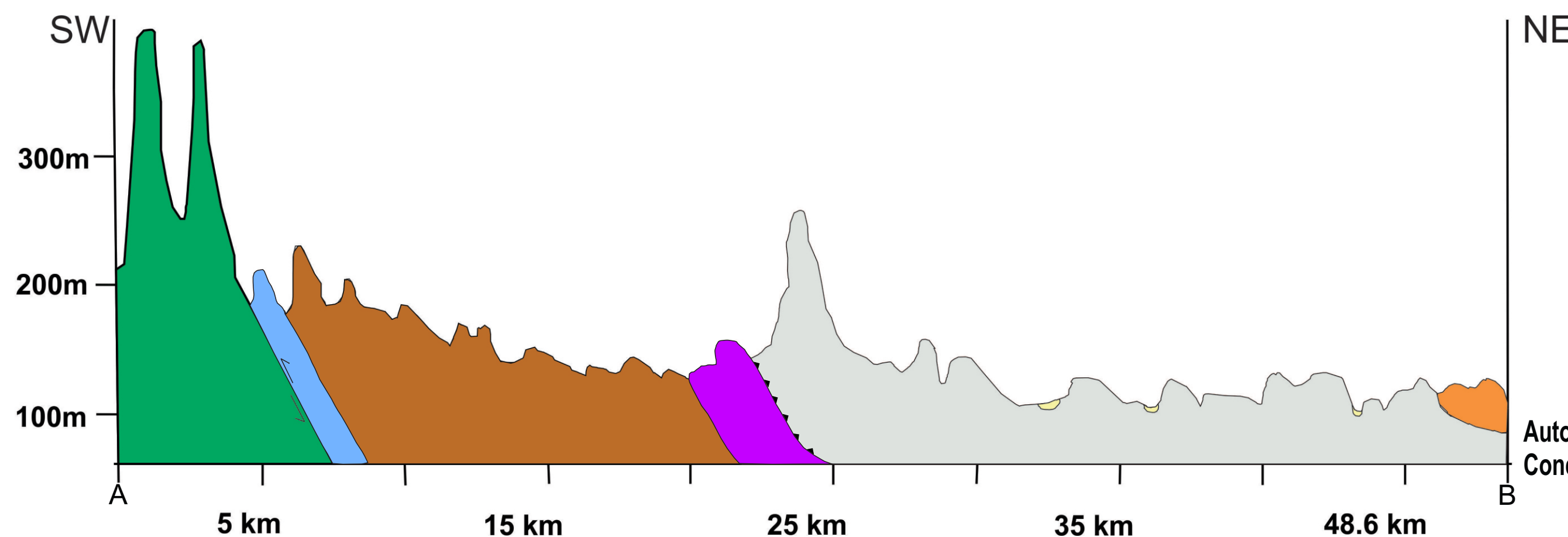
Declinação Magnética do centro da folha em 1994: 19°16'W, cresce 7° anualmente.

| Éon          | Era             | Período   | Unidades              | Descrição  |
|--------------|-----------------|-----------|-----------------------|--|
| FANEROZÓICO  | Cenozóico       | NEÓGENO   | Depósitos Aluvionares | Areias, pelitos e cascalhos de deposição fluvial recente.  |
|              |                 |           | Formação Barreiras    | Calcários intercalados com folhelhos, argilitos e arenitos de ambiente marinho transicional a plataformal; argilitos, arenitos e conglomerados de ambiente litorâneo dominado por correntes de maré. |
|              | Paleozóico      | SILURIANO | Grupo Serra Grande    | Arenitos finos a médios, conglomerados, folhelhos e siltitos. Ambiente glacial, flúvio-deltaico e marinho raso.  |
| PROTEROZÓICO | Neoproterozóico | TONIANO   | Fm. Couto Magalhães   | Metasiltitos subordinados com metamorfismo anquimetamórfico ou em fácies xisto verde.  |
| ARQUEANO     | Neoarqueano     |           | Formação Tapirapé     | Ortoanfíbolitos, xistos máficos e ultramáficos, metamorfisados em fácies xisto verde a anfíbolito.   |
|              |                 |           | Grupo Rio Novo        | Xistos máficos e ultramáficos, serpentinitos, quartzitos, xistos micáceos e metapelitos em fácies xisto verde baixo a alto.  |
|              | Mesoarqueano    |           | Complexo Cajazeira    | Ortognaisses originalmente enderbíticos a charnockíticos frequentemente retrometamorfisados, contendo localmente, ortopiroxênio.   |

Coluna Litoestratigráfica da área de estudo.

## Legenda

- Falha transcorrente
  - Lineamento de relevo
  - Falha de empurrão
  - Drenagem
- Unidades**
- Depósitos Aluvionares
  - Formação Barreiras
  - Grupo Serra Grande
  - Formação Couto Magalhães
  - Formação Tapirapé
  - Grupo Rio Novo
  - Complexo Cajazeira



Autor(a): Ayara Letícia Bentes da Silva.  
Concluinte do curso de Geologia da Universidade Federal do Pará no ano de 2013.