

4 SENSORIAMENTO REMOTO

Nessa pesquisa optou-se pelo método de sensoriamento remoto, na forma de dados de interferometria de radar, magnetometria e gravimetria. Foram mapeados os elementos tectônicos utilizando lineamentos morfoestruturais e geofísicos, buscando caracterizar o arcabouço estrutural da região.

Para a interpretação foi avaliada a densidade dos lineamentos em uma dada região e verificou-se que as zona de falhas de São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo delimitam uma grande concentração de lineamentos magnetométricos com orientação entre N40-50W.

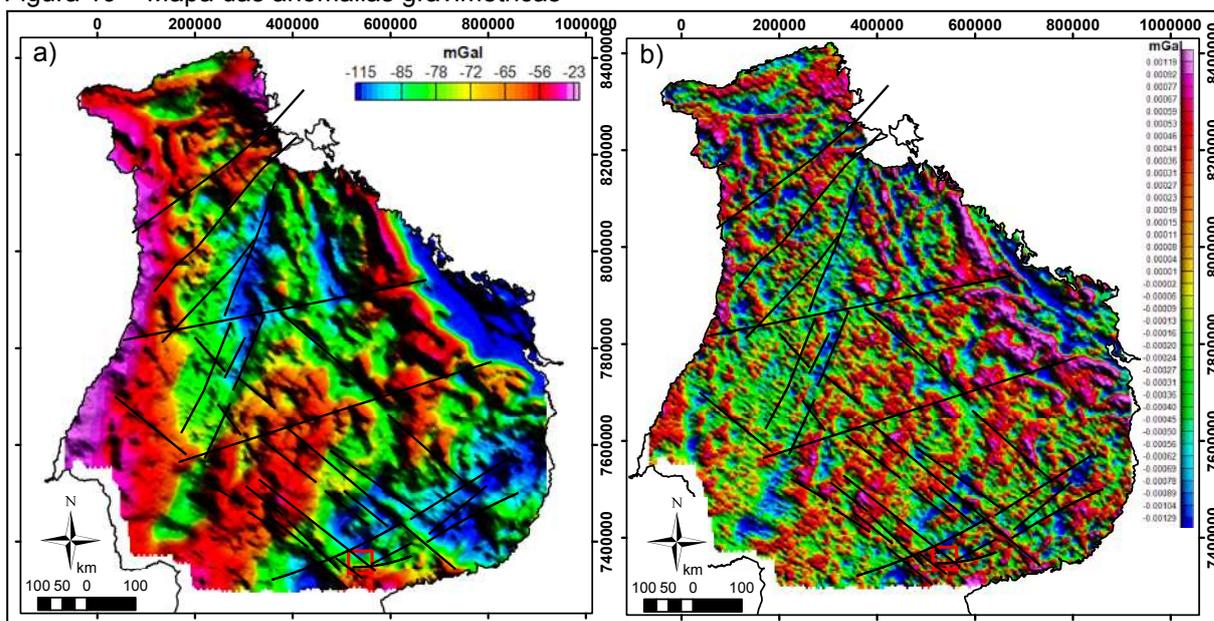
4.1 Magnetometria e Gravimetria

Os lineamentos morfoestruturais e geofísicos foram mapeados em escala regional, tendo sido interpretados sobre dados gravimétricos (Figura 19) e magnetométricos (Figura 20). O filtro da primeira derivada vertical (1^{a} dZ) foi utilizado nos dados gravimétricos (Figura 19) e ajudou a delinear as anomalias, diminuindo o sinal emitido por fontes profundas.

Os lineamentos foram definidos como anomalias de valor semelhantes alinhadas em uma direção preferencial, causadas por diques, falhas e contatos. Estas estruturas foram reconhecidas em mapa pela continuidade lateral de gradientes máximos e truncamentos ou deslocamentos de eixos de anomalias. Áreas com alta concentração de lineamentos foram interpretadas como zonas de falha.

O tratamento estatístico forneceu as principais direções de ocorrência dos lineamentos mapeados. Nos diagramas de roseta foram obtidos as modas das principais direções dos lineamentos na área estudada. Os resultados mostraram a densidade das principais direções dos lineamentos mapeados.

Figura 19 – Mapa das anomalias gravimétricas



Legenda: As linhas representam lineamentos geofísicos. a) Mapa da Anomalia Bouguer. b) Mapa da primeira derivada da anomalia Bouguer (DZ).

Fonte: O autor, 2017.

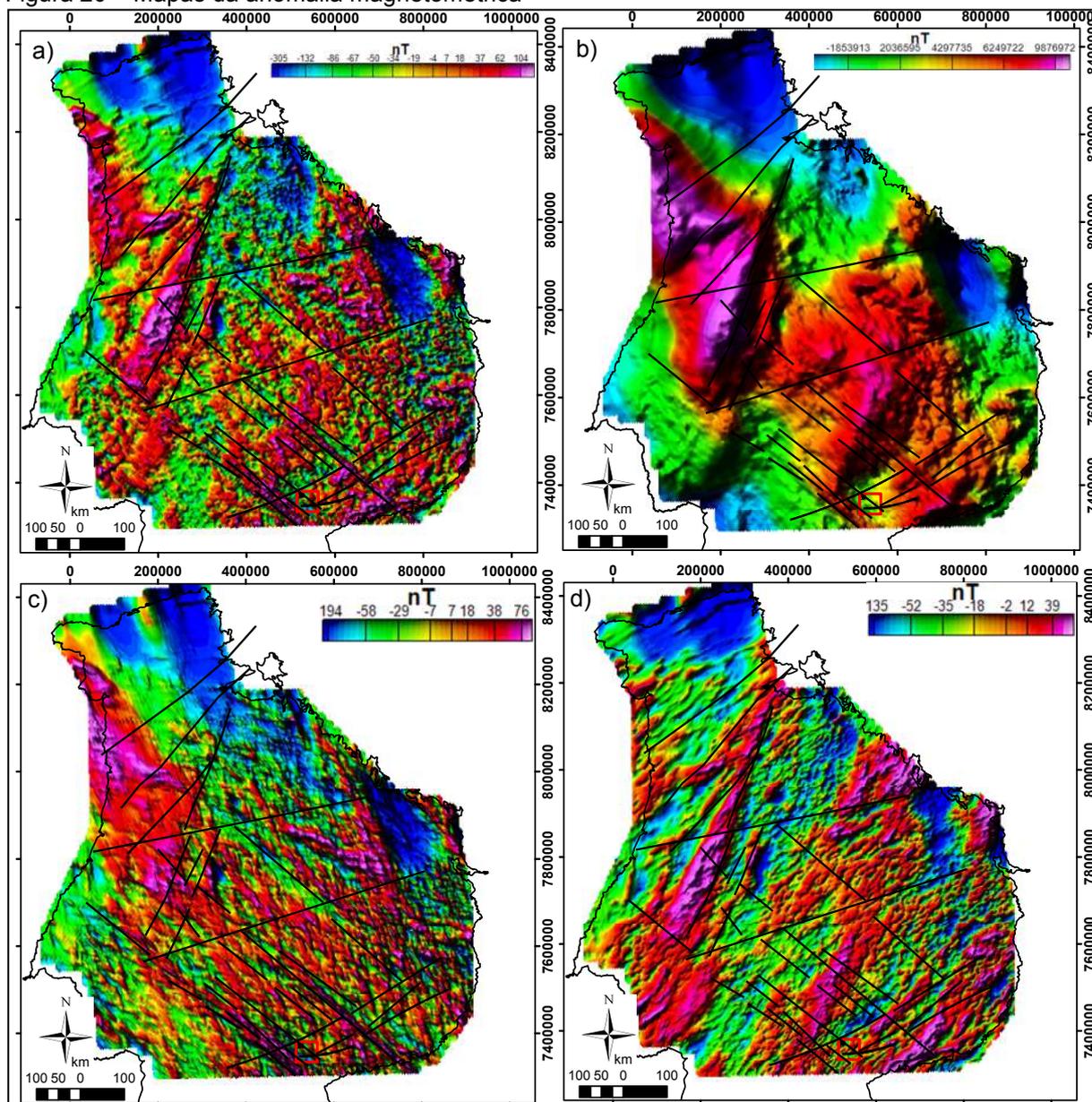
Foram utilizados alguns filtros com o objetivo de realçar as anomalias magnetométricas causada pelas estruturas. O primeiro filtro consiste na redução ao polo do campo magnético total, posicionando as fontes magnetométricas em função da latitude da área de interesse e o filtro da primeira derivada vertical para ressaltar as fontes magnéticas mais rasas. Em seguida foram utilizados os filtros de cosseno direcional com ângulos de 45° , 90° , 315° e 360° . Cada ângulo do filtro cosseno favorece a visualização de estruturas orientadas em direção perpendicular ao ângulo utilizado. A integração vertical do campo magnético produziu feições marcantes ao final do processamento.

O filtro do gradiente horizontal delimitou as fontes magnéticas, de forma que os picos das anomalias indicam as arestas do corpo magnético. O lineamento Guapiara e o lineamento São Jerônimo Curiúva apresentaram boa resposta a este filtro (Figura 24).

Por sua vez, o filtro de controle de ganho automático (*automatic gain control*), remove o *background* e equaliza o sinal medido, ressaltando a continuidade das estruturas com diferentes intensidades magnéticas. O lineamento Guapiara aparece de forma persistente, já o lineamento São Jerônimo-Curiúva aparece de forma “descontínua”, principalmente por um marcante lineamento negativo de direção E-W.

O filtro de integração vertical do campo magnético reduzido ao polo evidenciou uma marcante anomalia positiva de direção NE, correspondente aos lineamentos Guaxupé e Jacutinga. Os lineamentos Guapiara e São Jerônimo-Curiúva truncam esta feição positiva (Figura 25e).

Figura 20 – Mapas da anomalia magnetométrica



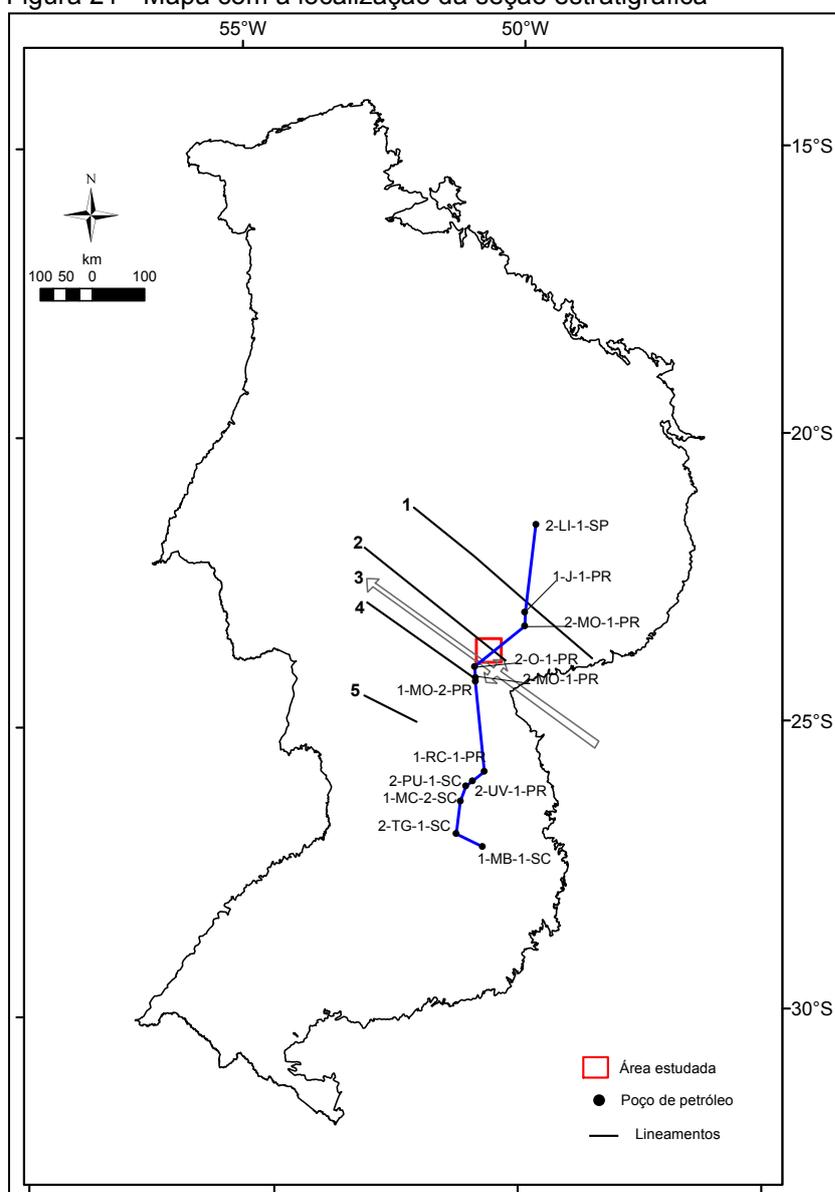
Legenda: As linhas representam uma interpretação de lineamentos estruturais. a) Mapa magnetométrico do campo total reduzido ao polo; b) Mapa magnetométrico com filtro de integração vertical; c) Mapa magnetométrico do campo total com filtro de cosseno direcional 45 off; d) Mapa magnetométrico do campo total com filtro de cosseno direcional 315 off.

Fonte: O autor, 2017.

4.1.1 O Arco de Ponta Grossa

O Arco de Ponta Grossa é uma megaestrutura interpretada por Vieira (1973) e delimitada por Ferreira (1982) a partir de estudos magnetométricos, onde o autor propõe a configuração atual do Arco de Ponta Grossa, apresentando uma seção estratigráfica orientada N-S, desde o Estado de Santa Catarina até São Paulo, ao longo de 12 poços perfurados que atingiram o embasamento da bacia (Figura 21).

Figura 21 - Mapa com a localização da seção estratigráfica

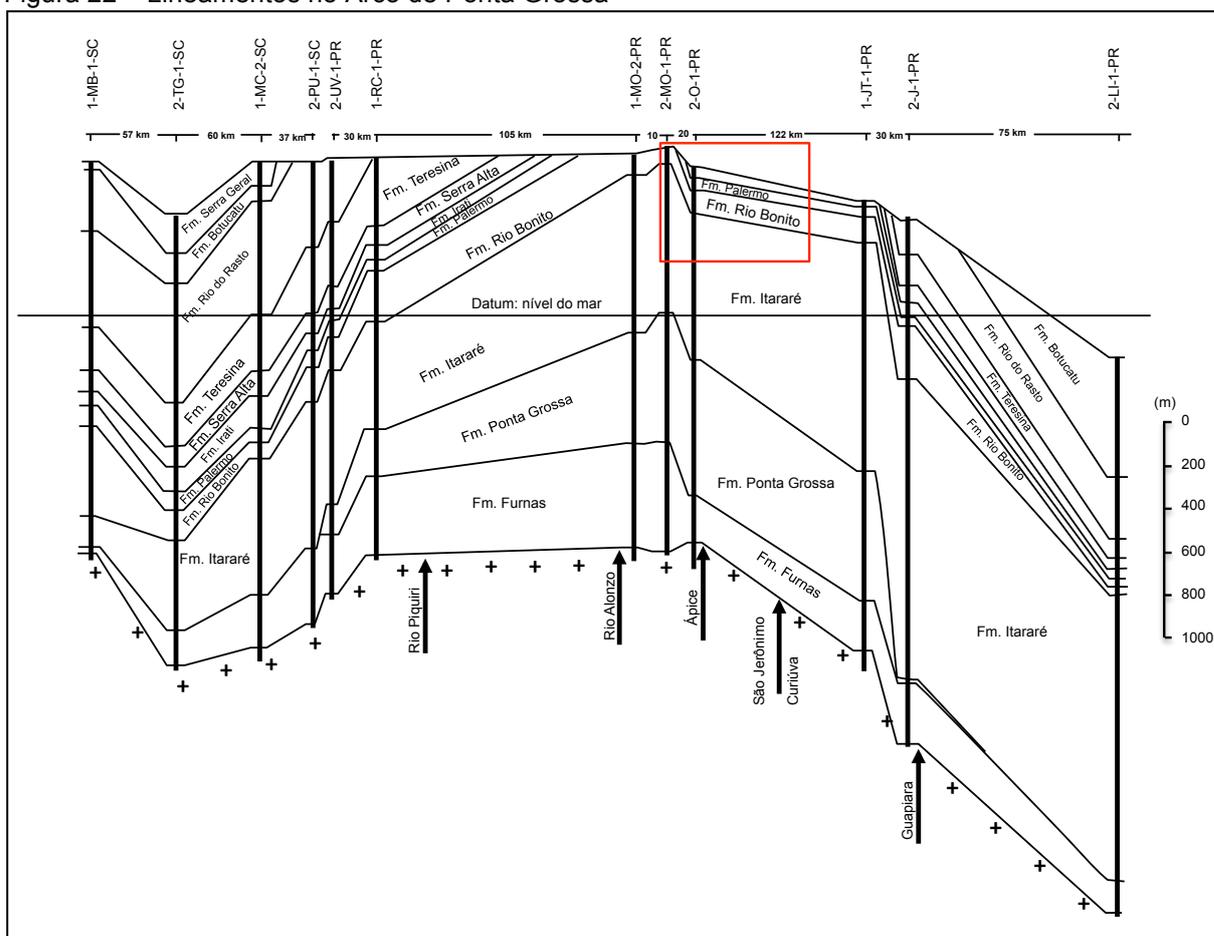


Legenda: A linha azul representa a localização da seção estratigráfica da Figura 22. 1 – Lineamento Guapiara, 2 – Lineamento São Jerônimo-Curiúva, 3 – Eixo do Arco de Ponta Grossa, 4 – Lineamento Rio Alonzo, 5 – Lineamento Rio Piquiri.

Fonte: Modificado de Ferreira, 1982.

O Arco de Ponta Grossa é composto por quatro lineamentos magnetométricos que o delimitam, sendo o lineamento Guapiara o limite norte, lineamentos Rio Alonzo São e Jerônimo-Curiúva a região central ou eixo, e lineamento Rio Piquiri o limite sul (Figura 23); tais lineamentos compartimentam a Bacia do Paraná na região ocupada pelo Arco de Ponta Grossa. A seção estratigráfica mostrando a configuração atual do Arco de Ponta Grossa pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Lineamentos no Arco de Ponta Grossa



Legenda: O quadrado vermelho é a projeção da área estudada no Arco de Ponta Grossa.

Fonte: modificado de França (1982), *apud* Ferreira (1982).

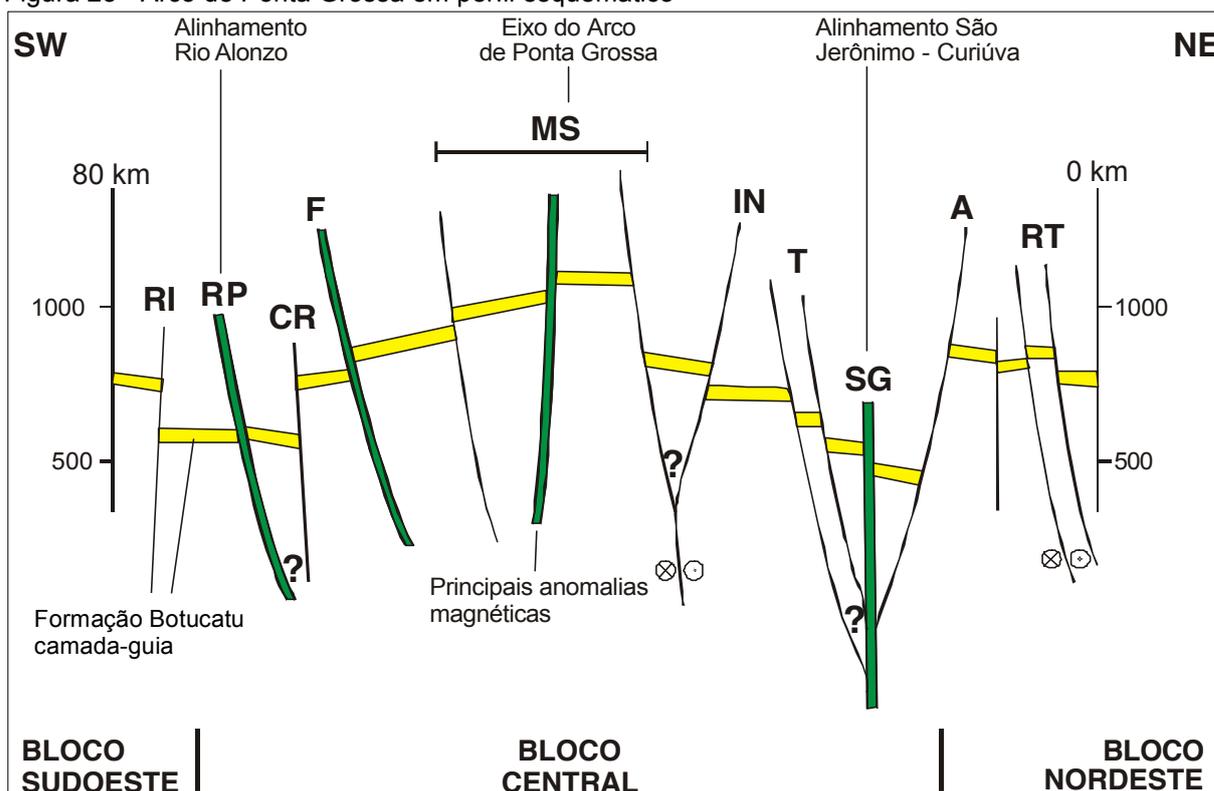
Os lineamentos do Arco de Ponta Grossa limitam áreas com alta frequência de diques e soleiras de diabásio, são consideradas feições profundas que atingiram o manto superior e por isso constituem-se nas principais fontes de extravasamento de lavas básicas da região oriental da Bacia do Paraná, além de condicionarem rochas alcalinas (FERREIRA, 1982). Ainda segundo o mesmo autor, a primeira fase de reativação do Arco de Ponta Grossa causou o soerguimento e geração de falhas

sob regimes de tração, ao longo e às margens dos lineamentos. Tais feições condicionaram a intrusão de diques e soleiras de diabásio.

Por sua vez, o lineamento Guapiara pode ser correlacionado a um grupo de rochas alcalinas mais antigas no Estado de São Paulo. Na segunda fase de reativação do arco, cessado o vulcanismo, a atividade tectônica do arco condicionou um grupo mais novo de rochas alcalinas, vinculadas ao lineamento São Jerônimo-Curiúva.

Strugale (2002) apresenta uma seção esquemática ilustrando o estilo estrutural da região do eixo do Arco de Ponta Grossa (Figura 24). Consistem em falhas normais e reversas subverticais, sendo algumas preenchidas por diques de diabásio.

Figura 23 - Arco de Ponta Grossa em perfil esquemático



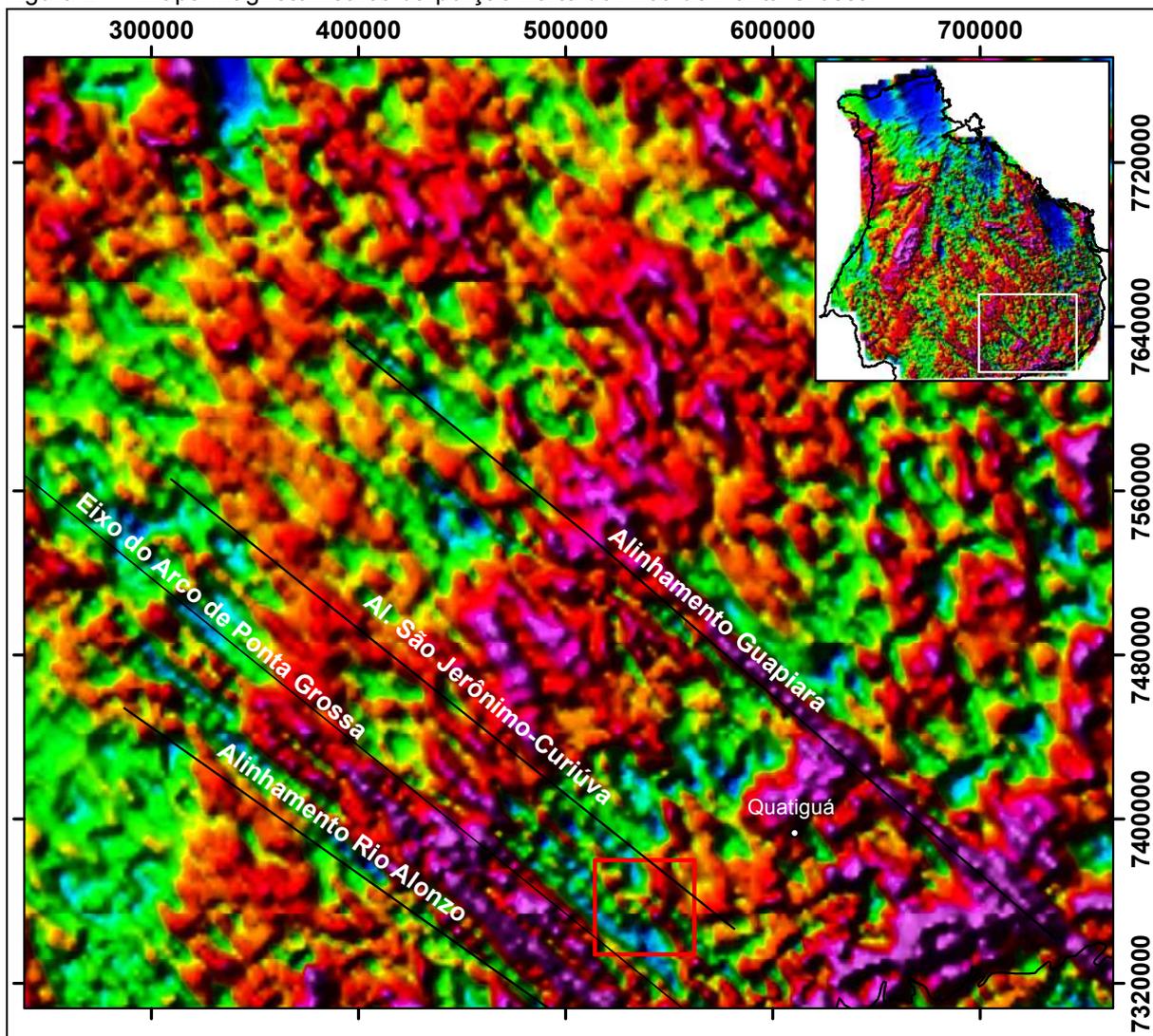
Legenda: Perfil geológico NE-SW esquemático mostrando as principais estruturas tectônicas do Arco de Ponta Grossa. RI: Rosário do Ivaí; RP: Rio Pereira; CR: Cruzmaltina; F: Faxinal; MS: Mauá da Serra; IN: Incrão T: Tamarana; SG: Serra Grande; A: Apucarantina RT: Rio do Tigre.

Fonte: Reproduzido de Strugale, 2002.

O lineamento Guapiara consiste em um conjunto de lineamentos magnéticos orientados na direção N48W. Localiza-se 80 km a noroeste da área de estudo e corresponde a uma marcante anomalia positiva quase ininterrupta, com 200 km de

comprimento e 5 a 6 km de espessura; tal estrutura é truncada por anomalias magnetométricas negativas de direção NW e também EW, com segmentos de até 60 km de comprimento (Figura 25c, d, f, g).

Figura 24 – Mapa magnetométrico da porção norte do Arco de Ponta Grossa



Legenda: mapa da anomalia magnetométrica reduzida ao polo com os lineamentos do Arco de Ponta Grossa definido por Ferreira (1982). Al.: Alinhamento.

Fonte: O autor, 2017.

Os lineamentos magnetométricos Rio Alonzo e São Jerônimo-Curiúva, constituem zonas de falhas, observadas no mapa geológico e durante trabalhos de campo. Estas lineamentos magnéticos também delimitam a Zona de Falha Curitiba-Maringá, interpretada por Zalán *et al.* (1990), com o eixo do Arco de Ponta Grossa, segundo aqueles autores, inserido inteiramente dentro desta zona de falha.

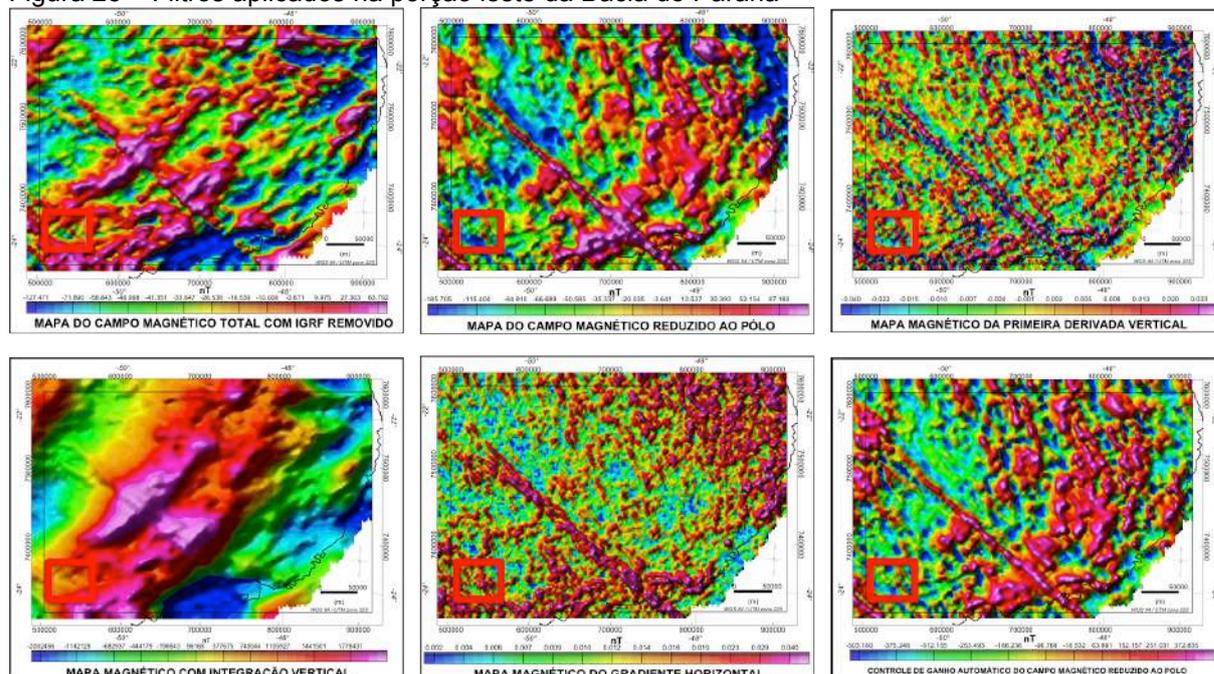
A área de estudo está inserida no domínio do lineamento magnético São Jerônimo-Curiúva, o qual apresenta anomalias positivas de menor intensidade e

descontínuas na direção N43W, formando uma estrutura com comprimento total de 25 km e espessura máxima de 6 km, truncada por anomalias magnetométricas negativas de direção NE (Figura 23).

4.1.2 Estatística direcional dos lineamentos magnetométricos e gravimétricos

Foi selecionada uma área na porção leste da Bacia do Paraná representativa da interseção da Zona de Falha Jacutinga com a Zona de Falha São Jerônimo-Curiúva (Figura 25). Foram utilizados filtros para ressaltar as anomalias magnetométricas e gamaespectrométricas. Em seguida foram interpretados os lineamentos, resultando no mapa de lineamentos magnetométricos da Figura 26.

Figura 25 – Filtros aplicados na porção leste da Bacia do Paraná



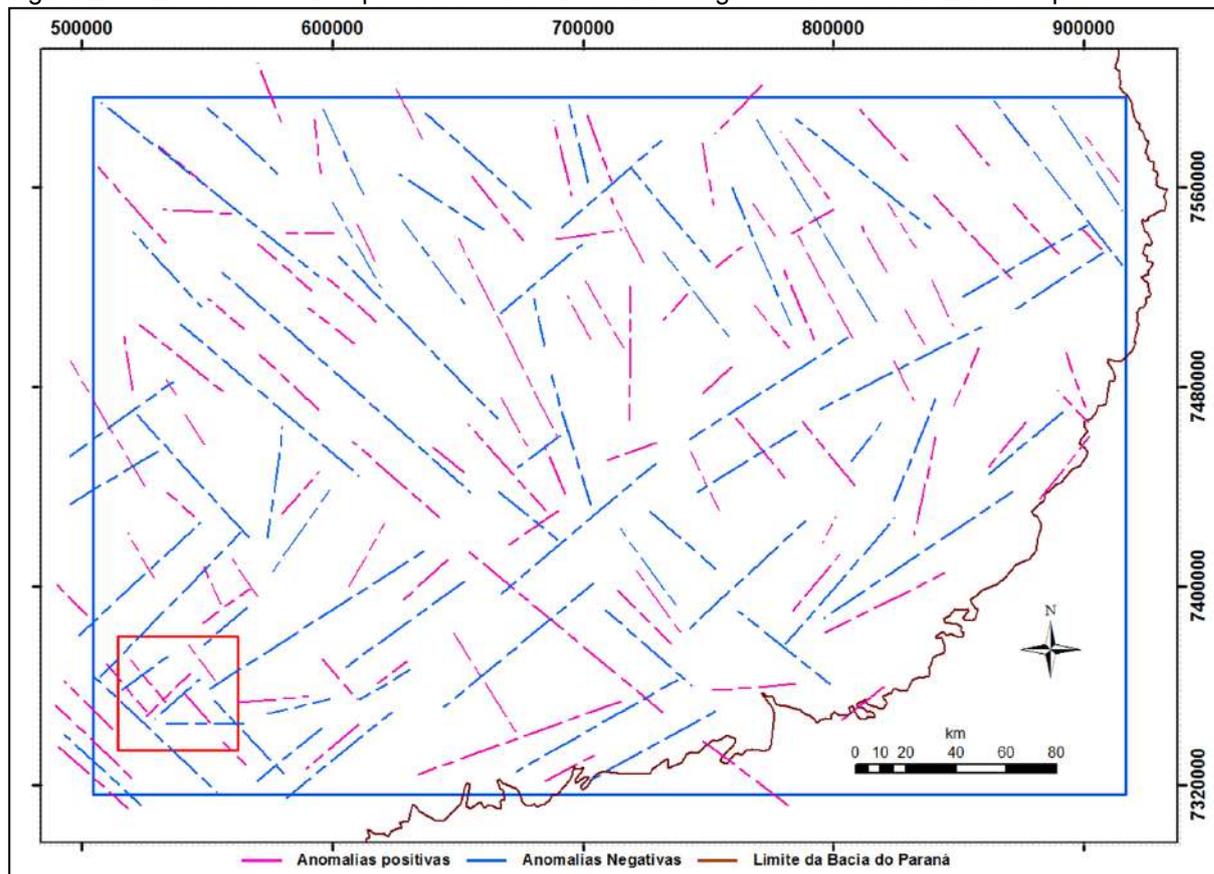
Legenda: O quadrado vermelho representa a área pesquisada.

Fonte: O autor, 2017.

A Figura 27 apresenta o diagrama de roseta com a estatística direcional dos lineamentos magnetométricos e gravimétricos. As anomalias positivas possuem uma dispersão no intervalo entre N20-50W com frequência menor que 20% e uma direção preferencial N40-50W com frequência de aproximadamente 25%. No campo,

as anomalias positivas correlatas ao lineamento São Jerônimo-Curiúva correspondem a um enxame de diques de diabásio associados a zonas de falha.

Figura 26 – Lineamentos interpretados sobre anomalias magnetométricas reduzidas ao polo

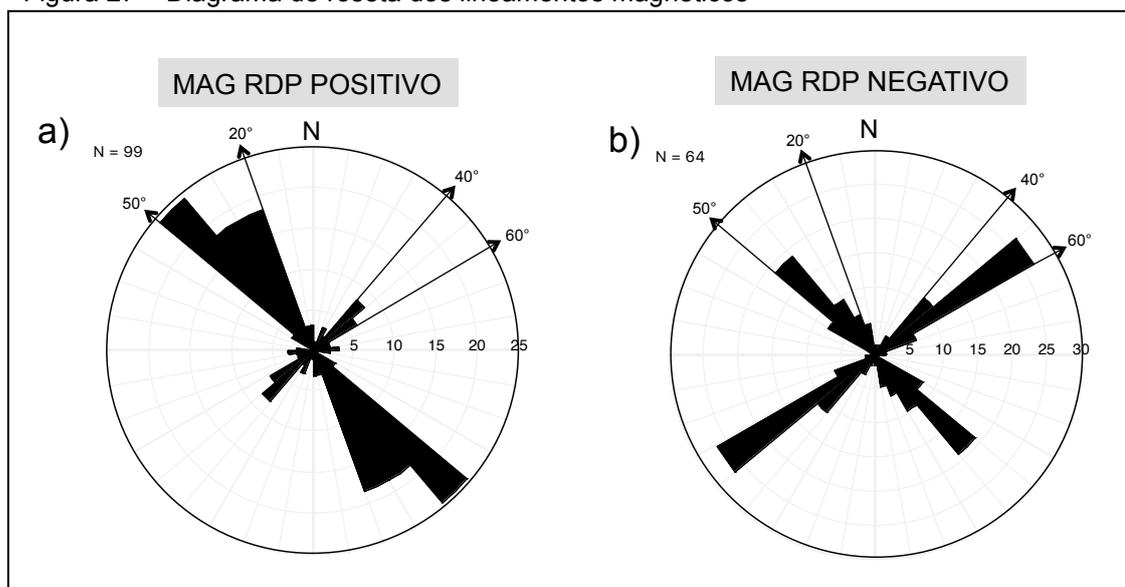


Legenda: O quadrado vermelho indica a área estudada.

Fonte: O autor, 2017.

Os lineamentos magnetométricos e gravimétricos correspondentes às anomalias negativas possuem frequência maior que 10% na direção entre N40-60W e menor dispersão na direção entre N50-60E, com mais de 25% de frequência. No mapa geológico estas direções de lineamentos correspondem à Zona de Falha Jacutinga.

Figura 27 – Diagrama de roseta dos lineamentos magnéticos



Legenda: a) Diagrama de roseta dos lineamentos magnéticos positivos traçados sobre o mapa magnetométrico reduzido ao polo. b) Diagrama de roseta dos lineamentos magnéticos negativos traçados sobre o mapa magnetométrico reduzido ao polo; RDP= reduzida ao polo.

Fonte: O autor, 2017.

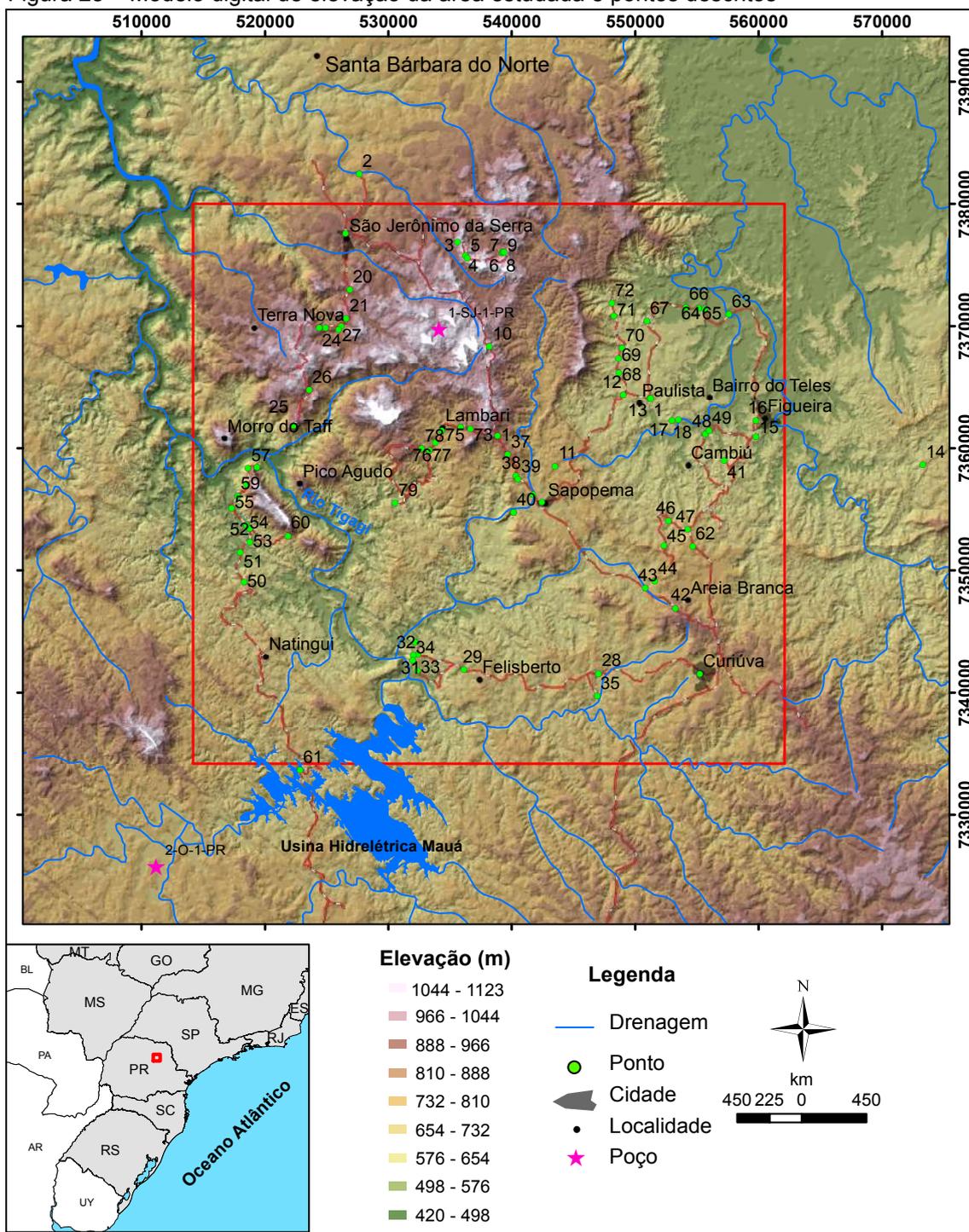
4.2 Modelo digital de elevação

Os lineamentos morfoestruturais também foram mapeados sobre um modelo digital de elevação (Figura 28) criado a partir da topografia de detalhe adquirida por interferometria de radar pela NASA e disponibilizada pelo USGS .

As morfoestruturas incluem escarpas de falha e fraturas. As direções estruturais foram analisadas quanto à sua continuidade, persistência e presença de feições indicativas de movimentação.

Os lineamentos traçados nas imagens de radar foram plotados em diagramas de roseta para verificar sua estatística direcional. As principais tendências (*trends*) de lineamentos morfoestruturais consistem em lineamentos de relevo positivo. Ocorrem com frequência maior que 25% e orientados entre N40-50W (Figura 29f), sendo contínuos, persistentes e mais proeminentes, em seguida, os lineamentos de relevo negativo entre N40-50E (Figura 29e), aparecem com 7,5% de frequência, e os lineamentos negativos N-S e E-W ocorrem com pouco mais de 5% de frequência.

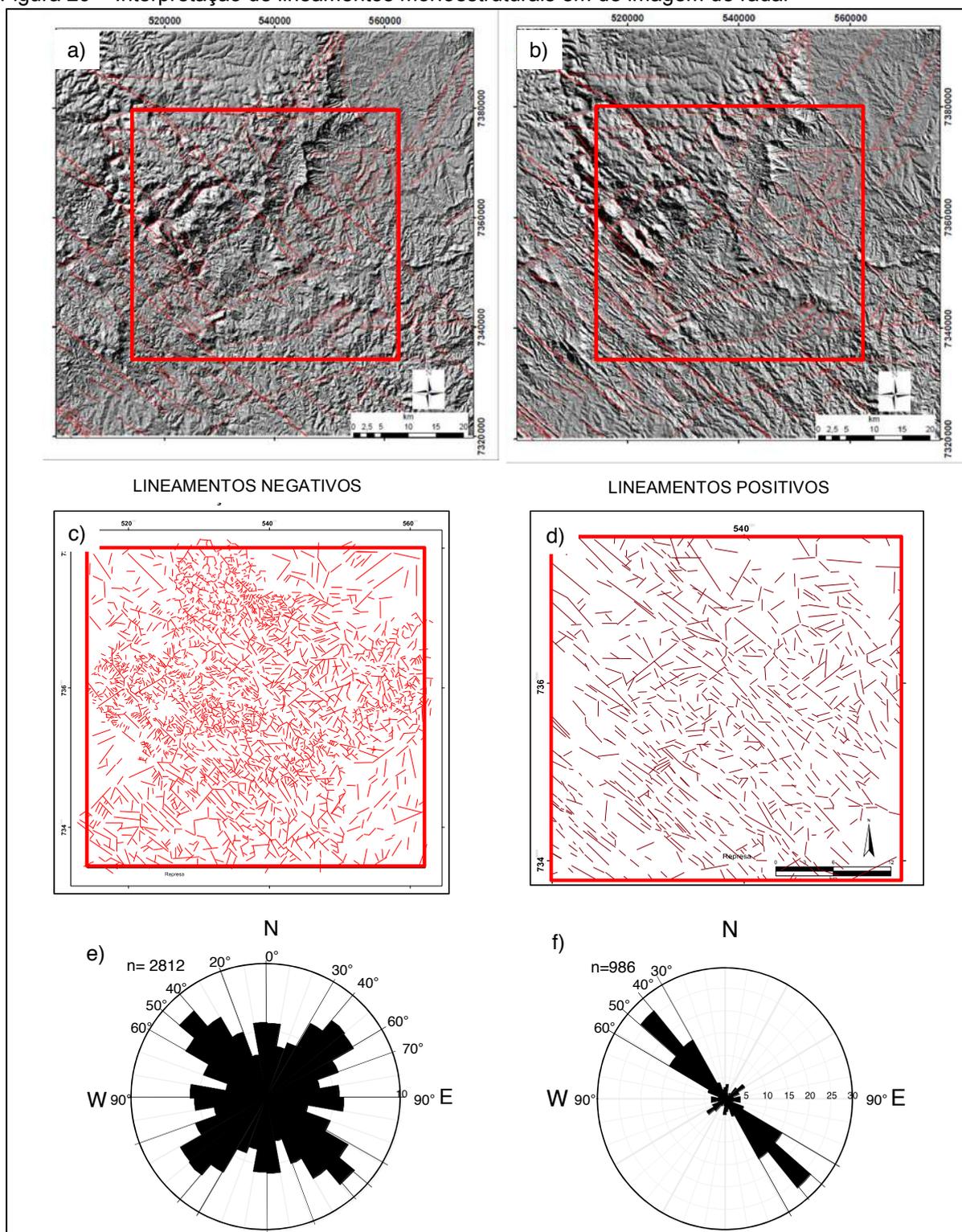
Figura 28 – Modelo digital de elevação da área estudada e pontos descritos



Fonte: O autor, 2017.

A tendência entre N40-50W corresponde aos lineamentos mais contínuos, que representam falhas e fraturas preenchidas por diques de diabásio. Um detalhe de uma porção da área de estudo na região do lineamento São Jerônimo-Curiúva pode ser visto na Figura 30.

Figura 29 – Interpretação de lineamentos morfoestruturais em de imagem de radar

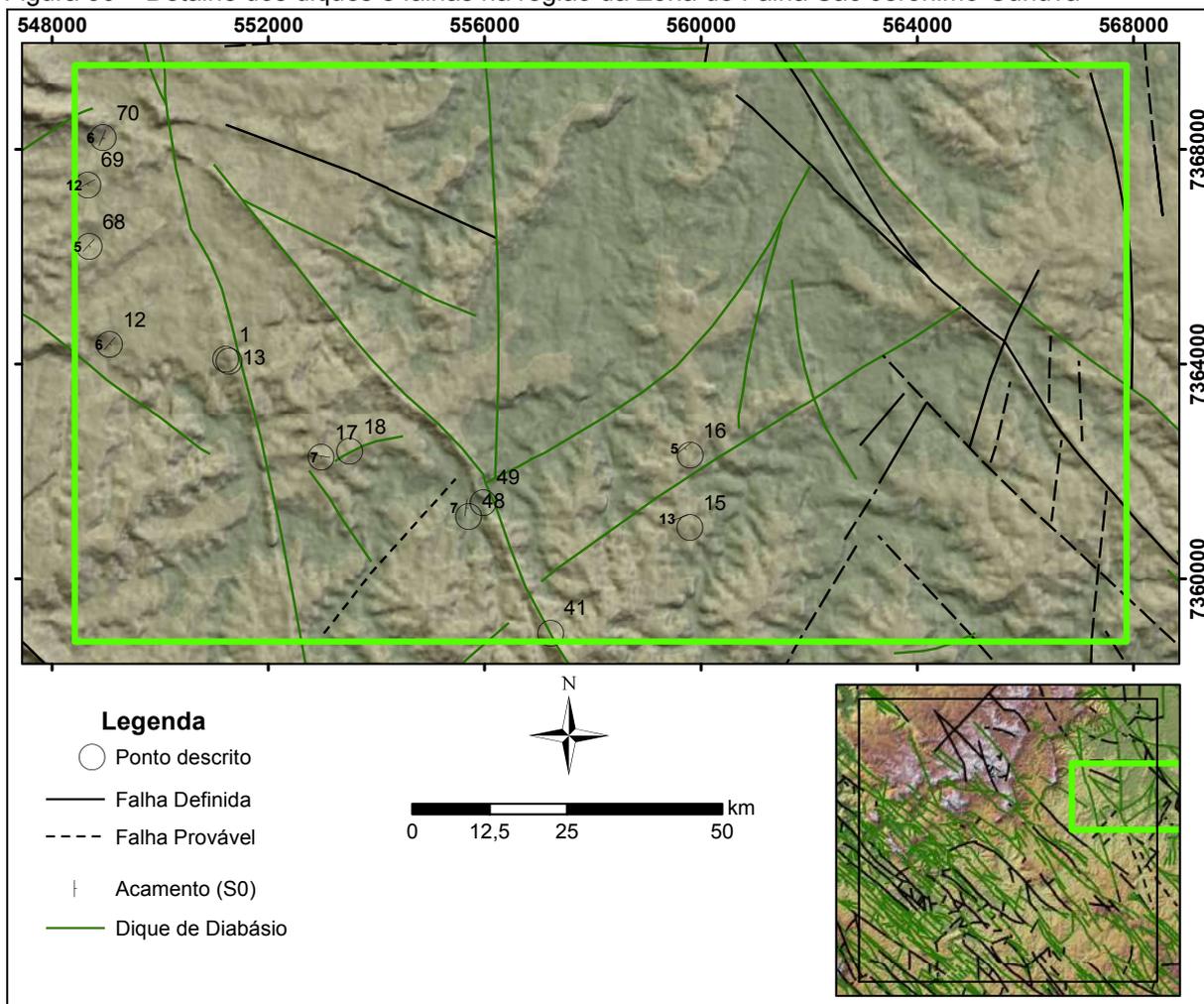


Legenda: Área de estudo com sombreado (*hillshade*), com iluminação incidente em 315° para ressaltar as estruturas NE; b) Área de estudo com sombreado (*hillshade*), com iluminação incidente em 45° para ressaltar as estruturas NW; c) Lineamentos negativos mapeados; d) Lineamentos positivos mapeados; e) Diagrama de roseta dos lineamentos negativos; f) Diagrama de roseta dos lineamentos positivos.

Fonte: O autor, 2017.

Destacam-se lineamentos positivos com cerca de 2 km de comprimento formando um grande lineamento com mais de 300 km e geometria levemente anastomosada na direção NW-SE. Por sua vez, a tendência N40-50E consiste em lineamentos mais dispersos, representados por linhas vermelhas na Figura 29 e que controlam uma grande inflexão no Rio Tibagi.

Figura 30 – Detalhe dos diques e falhas na região da Zona de Falha São Jerônimo-Curiúva



Legenda: mapa estrutural sobreposto ao modelo digital de relevo com transparência de 50%.
Fonte: O autor, 2017.