

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**EDUARDA LOPES POSTOL**

**REATIVAÇÕES CENOZOICAS DE FALHAS NOS DOMÍNIOS DOS  
LINEAMENTOS SÃO JERÔNIMO-CURIÚVA E RIO ALONZO NO ARCO DE  
PONTA GROSSA (PR)**

**CURITIBA**

2022

**EDUARDA LOPES POSTOL**

**REATIVAÇÕES CENOZOICAS DE FALHAS NOS DOMÍNIOS DOS LINEAMENTOS  
SÃO JERÔNIMO-CURIÚVA E RIO ALONZO NO ARCO DE PONTA GROSSA (PR)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof.Dr. Eduardo Salamuni

Coorientador(a): Mestra Jéssica Miranda

**CURITIBA**

2022

*Dedico este trabalho a todos que fizeram parte  
da minha jornada antropogeológica.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à minha família, principalmente aos meus pais, Luzia e Rodrigo, à minha vó Maria Inês e ao meu padrasto Paulo pela atuação direta na minha graduação me fornecendo ajuda, conforto e uma rede de apoio incondicional. Sem vocês nada disso seria realizado. Agradeço também à minha família canina: Dora e Shakira, que sempre me deram amor incondicional e sempre entenderam meus momentos difíceis sem a necessidade de palavras.

Agraço a todo o corpo de profissionais dentro da Universidade Federal do Paraná (discentes, técnicos, terceirizados) que possibilitam a disseminação do conhecimento e da educação de forma gratuita e com qualidade. Agradeço ao Professor Eduardo Salamuni, meu xará, e a Mestra Jéssica Miranda dos Santos pela orientação, paciência e empatia durante a elaboração deste trabalho, sem esse acolhimento teria sido muito pior.

Agradeço aos meus amigos que conheci antes da geologia e que me acompanharam e toleraram essa jornada longa e cansativa com tantas ausências devido aos campos e tanta conversa geológica sem pé nem cabeça.

Agraço imensamente aos amigos que conheci durante a faculdade: Barbara, Caroline, Camila, Celeste, Jun, Nick, Brita, Guilherme, Mayara, Herick entre tantos outros que estavam comigo e influenciaram as minhas transformações do fim da adolescência ao início da minha vida adulta. As coisas em mim que mais aprecio são reflexo da influência de vocês na minha vida, não tenho como expressar o quanto vocês são importantes para mim.

Agradeço a todos os cientistas que dedicaram e dedicam suas vidas a esclarecer os mistérios geológicos. E, por fim, agradeço ao acaso, que me trouxe para essa área de imensa complexidade e beleza.

## RESUMO

O Arco de Ponta Grossa é uma mega feição estrutural antiformal com eixo orientado na direção NW-SE, composto por falhas e intrusões de corpos de diques. Abrange os Terrenos Paranaguá, Curitiba e Apiaí, formada durante a separação do Supercontinente Pangeia e que configura um dos mais importantes sistemas de reativação de falhas para acomodação de esforços cenozoicos. Por meio da análise do relevo, extração de lineamentos por sensoriamento remoto em escala 1:250.000, e análise de paleotensões utilizando dados estruturais de campo foram identificados os aspectos das reativações de falha na região do Arco de Ponta Grossa entre os lineamentos magnéticos São Jerônimo Curiúva e Rio Alonzo. Através da análise geomorfológica foram observadas a influência das estruturas NE na orientação de escarpas alinhadas, principalmente na região da Serra do Mar. Os lineamentos NW são os mais numerosos, porém com comprimentos menores e com influências no relevo através da formação de superfícies de erosão e falhamentos de depósitos recentes, ocorrem em todas as unidades morfométricas da região, com maior frequência na Serra do Mar e Terrenos Curitiba e Apiaí. Ocorrem também lineamentos das direções EW e NS, como lineamentos curtos, com variação da direção entre os quadrantes NS e NNW e marcando vales acentuados no relevo. As paleotensões obtidas através da análise cinemática apontam dois pulsos de reativações neógenas com  $\sigma_1$  orientado para EW, reativando falhas NE como dextrais e falhas NW como sinistrais. Foi obtido também um pulso com  $\sigma_1$  em NS, reativando falhas NE como sinistrais e falhas NW como dextrais. Para todos os pulsos foram definidos regimes transtensionais com  $\sigma_1$  primeiro em NS e posteriormente variando entre WNW-ESE. As características morfométricas, em conjunto com os dados de pulsos de reativação de falhas permitem a compreensão de como a região do Arco de Ponta Grossa acomoda as tensões intraplaca da Plataforma Sul-Americana e como também o relevo é intrinsecamente influenciado por estas acomodações, evidenciando a o caráter dinâmico da região.

**Palavras-chave:** Cenozoico, falhas, reativações

## ABSTRACT

The Ponta Grossa Arch is an antiform mega structure feature with an axis oriented to NW-SE, composed of a systems of transcurrent faults and dyke swarms. It covers the Paranguá, Curitiba and Apiaí Terrains and was formed during the separation of the Pangea Supercontinent and it configures one of the most important fault reactivation systems to acommodate Cenozoic intraplaque tensions. Through geomorphological analysis, extraction of lineaments by remote sensing at a scale of 1:250.000, and paleostress analysis using strucutural field data, aspects of fault reactivation in the Ponta Grossa Arch within the São Jerônimo Curiúva and Rio Alonzo magnetic lineaments were identified. Through relief analysis it was observed the influence of the NE strucutres on the orientations of aligned scarps, mainly in the Serra do Mar region. The NW lineaments are the most numerous, but with shorter lenghts and its influence on the relief is through formation of erosion surfaces and faulting of recent deposits, they occur in all geomorphological units of the region, with greater frequency in the Serra do Mar and Curitiba and Apiaí Terrains. Lineaments of the EW and NS directions also occur, as short lineaments, with variation of the direction between the N and NW quadrants and marking accentuated valleys in the relief. The paleostresses obtained through the kinematic analysis point to two pulses of neogenous reactivations with  $\sigma_1$  oriented towards EW, reactivating NE faults as right lateral and NW faults as left lateral. It was also obtained a pulse with  $\sigma_1$  in NS, reactivating NE faults as left-lateral and NW faults as right lateral. For all pulses, transtensive regimes were defined with  $\sigma_1$  first in NS and later varying between WNW-ESE. The geomorphological characteristics, together with the fault reactivation pulse data, allow the understanding of how the Ponta Grossa Arch region accommodates the intraplate tensions of the South American Platform and how the relief is intrinsically influenced by these accommodations, evidencing the dynamic character of the region.

*Keywords:* Cenozoic, faults, reactivation,

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização.	7
Figura 2: Arco de Ponta Grossa, estrutura, intrusões de diques.	8
Figura 3: Mapa Geológico. Fonte de dados: CPRM, Folha Curitiba SG.22.	9
Figura 4: Distribuição de pontos de campo.	14
Figura 5: Classificação de indicadores cinemáticos.	16
Tabela 2: Critérios cinemáticos segundo Angelier (1994).	17
Figura 6: Mapa Magnetométrico da área de estudo.	18
Figura 7: Mapa de Unidades Geomorfológicas.	19
Figura 8: Unidades Costeiras: subunidade.	20
Figura 9: Primeiro Planalto Paranaense: subunidade.	21
Figura 10: Primeiro Planalto Paranaense: subunidades.	22
Figura 11: Mapa de lineamentos e diques extraídos em 1:250.000.	24
Figura 12: Lineamentos na Planície Costeira.	25
Figura 13: Lineamentos da Província Serra do Mar.	27
Figura 14: Lineamentos do Terreno Curitiba.	28
Figura 15: Lineamentos Terreno Apiaí.	29
Figura 16: Roseta de falhas transcorrentes.	30
Figura 17: Roseta de falhas normais.	31
Figura 18: Roseta de falhas inversas.	31
Figura 19: Roseta de fraturas.	32
Figura 20: Direções dos pulsos de deformação e sistema Riedel associado.	33
Tabela 3: Pulsos tectônicos.	34
Figura 21-A: Relevo região de estudo.	35
Figura 22-A: Relevo região de estudo.	36
Figura 22-B: Relevo região de estudo.	36
Figura 23: Feições morfométricas descritas por Nascimento <i>et al.</i> (2013).	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reativações e direções de esforços.	12
Tabela 2: Critérios cinemáticos segundo Angelier (1994).	17
Tabela 3: Pulsos tectônicos.	34

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO .....	6
1.1.CONTEXTO E PROBLEMA .....	6
1.2.OBJETIVOS .....	7
1.3.LOCALIZAÇÃO .....	7
2.REVISÃO TEÓRICA .....	8
2.2.Arco de Ponta Grossa .....	8
2.2.1.Geologia Local .....	9
2.3.Lineamentos.....	11
2.4.Reativações de Falha .....	11
3.MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.2.Levantamento Bibliográfico.....	12
3.3.Caracterização Geomorfológica.....	13
3.3.1.Análise do relevo.....	13
3.3.2.Análise de dados de campo .....	13
3.3.3.Indicadores Cinemáticos .....	15
3.3.4.Sistema Riedel .....	16
4.RESULTADOS .....	18
4.2.Lineamentos Magnéticos .....	18
4.3.Análise do relevo.....	18
4.4.Lineamentos.....	23
4.4.1.Planície Costeira .....	24
4.4.2.Serra do Mar .....	26
4.4.3.Terreno Curitiba .....	27
4.4.4.Terreno Apiaí.....	29
4.5.Análise Estrutural .....	30
4.5.1.Falhas transcorrentes.....	30
4.5.2.Falhas normais.....	31
4.5.3.Falhas inversas .....	31
4.5.4.Juntas.....	32
4.6.Tensores .....	32
5.DISSCUSSÃO .....	34
6.CONCLUSÕES .....	39

REFERÊNCIAS.....	40
ANEXO I: Mapa de declividade e hipsométrico.....	43

## 1. INTRODUÇÃO

O Arco de Ponta Grossa é uma mega feição estrutural mesozoica soerguida com eixo na direção NW caracterizado por quatro lineamentos estruturais-magnéticos Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonzo e Rio Piquiri, herança do embasamento proterozoico, que controlam a evolução tectônica regional desde o Devoniano (Ferreira *et al.*, 1981; Zalán *et al.*, 1990). É uma feição relacionada ao evento tectono-magmático Juro-Cretáceo que atingiu a Bacia do Paraná e seu embasamento, onde os lineamentos se comportam como um dos principais dutos magmáticos da Província Magmática do Paraná, resultando na reativação e nucleação das estruturas NW-SE por meio de regime extensional, onde alojou inúmeros diques de diabásio e condicionou o alojamento dos corpos alcalinos (Ferreira *et al.* 1982; Ferreira *et al.*, 1989). Estando relacionada também ao soerguimento da Serra do Mar e formação de bacias tafrogênicas do Rifte Sudeste Brasileiro (Almeida, 1976; Zalán *et al.*, 1990, Riccomini *et al.*, 2004).

Movimentos transtensionais relacionados a formação das bacias tafrogênicas, exerceram influência no cenário cenozoico do Arco de Ponta Grossa como a exumação tectônica e a reativação dos paleolineamentos do Arco de Ponta Grossa, durante dois importantes períodos: limite Cretáceo Superior-Paleógeno e Paleógeno-Neógeno (Franco-Magalhães *et al.*, 2010). Strugale *et al.* (2007) identificaram um evento transtensional com Shmax NE-SW a ENE-WNW (Neocretáceo ao Paleógeno) responsável pela reativação das estruturas registradas nas paredes dos diques do no Arco de Ponta Grossa.

### 1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

A margem sudeste do Brasil localizada em ambiente intraplaca é considerada uma margem passiva sem deformação intensa, o que é esperado em ambientes distantes dos limites das placas tectônicas. Entretanto ao analisar os estudos já realizados sobre reativações tectônicas nas estruturas do Arco de Ponta Grossa (Strugale *et al.*, 2007 e Rivas *et al.*, 2019) é possível observar a reativação das estruturas e o caráter não passivo da margem continental. Considerando a extensão e expressividade do Arco no território brasileiro é possível afirmar que possivelmente suas reativações podem influenciar diversos processos geológicos e geomorfológicos, tais como zonas de recarga de aquífero, morfometria e morfologia do relevo. Com

isso, para o melhor entendimento sobre a dinâmica não passiva da margem continental sul-sudeste foi necessário analisar as reativações do Arco de Ponta Grossa.

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é caracterizar aspectos geomorfológicos e estruturais da reativação tectônica de falhas ao longo do Arco de Ponta Grossa através da análise do relevo e de dados de campo previamente adquiridos por outros pesquisadores.

## 1.3. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo (Figura 1) abrange desde a região sudeste do Estado de São Paulo, próximo à Registro, a porção litorânea do Estado do Paraná até a região do Planalto de Curitiba próximo à cidade de Ponta Grossa e nordeste de Santa Catarina, próximo à cidade de Joinville. É uma área com 42.709km<sup>2</sup> abrangendo extensa malha rodoviária com centros urbanos de diferentes densidades demográficas.

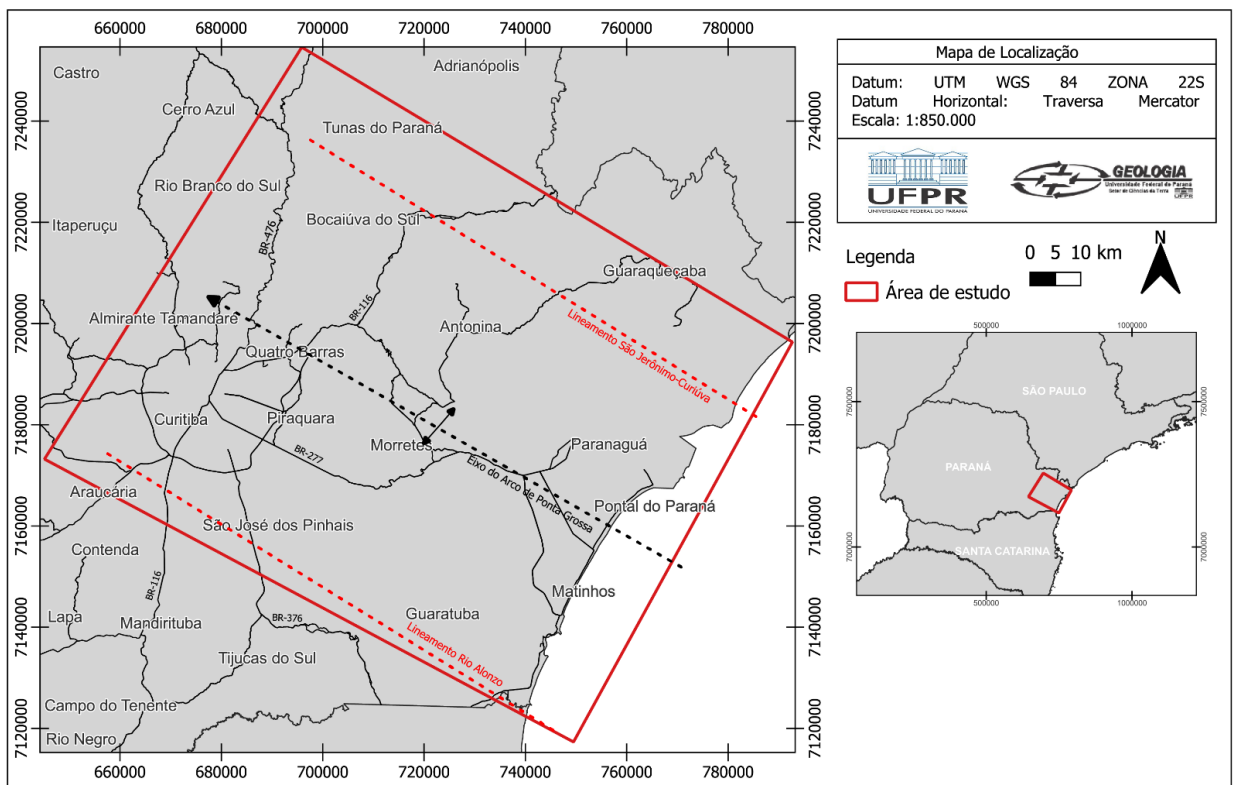


Figura 1: Mapa de localização.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.2. Arco de Ponta Grossa

O Arco de Ponta Grossa é uma feição antiforme de grande escala com direção NW-SE, extensão superior a 600km e larguras entre 20 e 100km (Ferreira, 1982b), inicia nos sedimentos litorâneos de São Paulo, atravessando os terrenos pré-Cambrianos da Província Mantiqueira e se estendendo pelas sequências siliciclasticas e carbonáticas Ordovicianas a Jurássicas da Bacia do Paraná configurando um contato erosivo da mesma (Ferreira,1981; Zalán *et al.*,1990) (Figura 2).

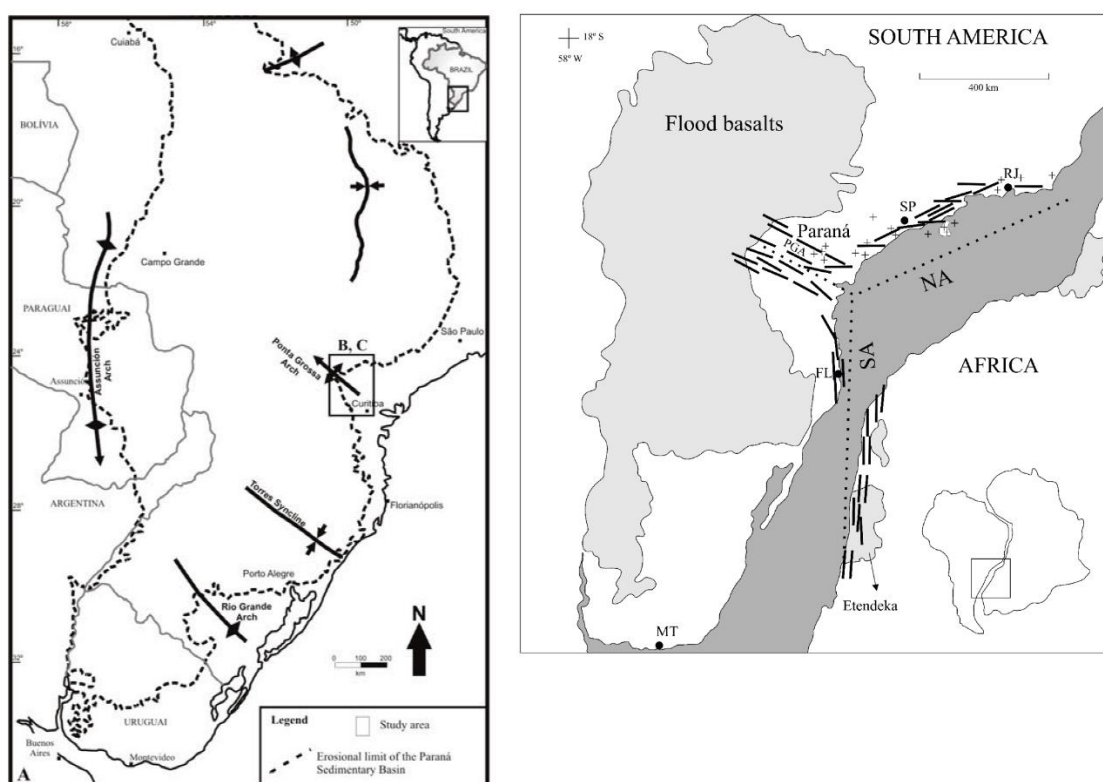


Figura 2: Arco de Ponta Grossa, estrutura (esquerda), intrusões de diques (direita). Fonte: Franco Magalhães (2010) e Coutinho (2008).

Compreende quatro grandes lineamentos magnéticos de orientação NW-SE: Guapiara, São Jerônimo Curiúva, Rio Alonzo e Rio Piquiri herança do embasamento paleo-proterozoico e com ápice de reativação durante o Cretáceo Inferior (Ferreira *et al.*, 1981, Almeida *et al.*, 2000). O seu eixo coincide com o corredor de falha Curitiba–Maringá limitado pelos lineamentos São Jeronimo-Curiúva e Rio Alonzo (Zalán, 1987; Ferreira, 1982b). O Arco é uma feição estrutural formada por pulsos tectônicos

juro-cretáceos com grande concentração de zonas de fraqueza que acomodam os pulsos cenozoicos em planos de falhas, paredes de diques e na morfologia do terreno (Strugale et al., 2007).

### 2.2.1. Geologia Local

A área de estudo compreende toda a geologia da região leste do Estado do Paraná, abrangendo as litologias e estruturas dos Terrenos Paranaguá até o Terreno Apiaí com rochas paleoproterozóicas até depósitos recentes, como mostra o Mapa Geológico da Figura 4.

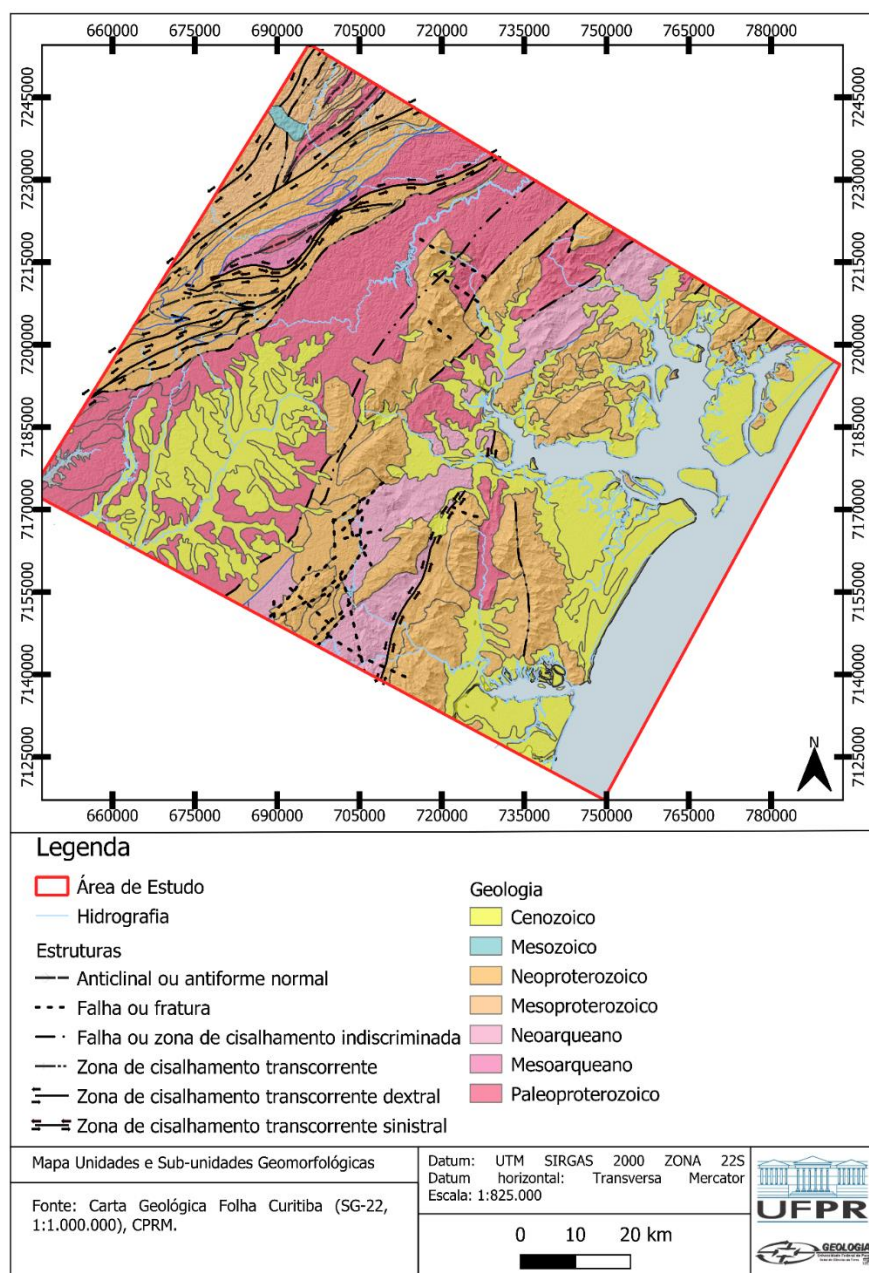


Figura 3. Mapa Geológico. Fonte de dados: CPRM, Folha Curitiba SG.22.

### 2.2.1.1. Embasamento

As rochas do embasamento cristalino da Província Mantiqueira provêm do Ciclo Orogênico Brasileiro que formou o Supercontinente Gondwana (Almeida *et al.*, 1981). Correspondem a uma faixa de dobramentos e empurrões de direção NE-SW denominada Faixa Ribeira (Almeida *et al.*, 1973). Na área de estudo, de NW para SE, afloram os terrenos Apiaí: núcleos de embasamento paleo-proterozoicos, metavulcanossedimentares meso a neoproterozoicas e corpos graníticos neoproterozoicos limitados por zonas de cisalhamento transpressivas (Almeida, 1967; Petri & Suguio, 1969; Fiori, 1990; Campanha & Sadowski, 1999); o Terreno Curitiba: gnaisses-migmatíticos paleo-proterozoicos (Complexo Atuba) sobrepostos por metassedimentos de margem passiva (Capiru, Setuva e Turvo-Cajati) (Heilbron *et al.* 2008, Cury 2009); Terreno Luís Alves: gnaisses granulíticos com gnaisses calciossilicáticos, formações ferríferas, quartzitos, migmatitos e rochas graníticas subordinadas (Basei *et al.*, 1992; Cury, 2009) e, por último o Terreno Paranaguá com intrusões graníticas de diversas composições em gnaisses, xistos, quartzitos, mármore, calciossilicáticas e anfibolitos (Cury, 2009).

O limite entre os terrenos Apiaí e Curitiba possivelmente se dá na Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão, que representa a sutura entre os terrenos (Basei *et al.*, 1998). O limite entre o Terreno Curitiba e Luís Alves é dado pelas Zona de Cisalhamento Piên, que em conjunto com a Zona de Cisalhamento Madirituba-Piraquara é considerada por Heilbron *et al.* (2008) como uma região de subducção. Estas zonas de cisalhamento apresentam direção NE e fazem parte de um dos *trends* estruturais que seccionam o embasamento em conjunto com os *trends* NW-SE e E-W (Zalán, 1987).

### 2.2.1.2. Enxame de Diques

Os enxames de diques são constituintes de um sistema de junção tríplice nas direções: N-S (braço sul, na costa Paraná-Santa Catarina), NW-SE (Arco de Ponta Grossa) e NE-SW (braço norte na costa de São Paulo-Paraná), os diques dos braços norte e sul apresentam orientação preferencial para NE com inflexão para NW na região de interceptação com os diques do Arco de Ponta Grossa que tem orientação NW (Coutinho, 2008).

Coutinho (2008) descreve no braço norte diques compostos principalmente por lamprófiros, diabásio, microdiorito pórficos e com menor ocorrência diques pré-cambrianos de carbonatitos e traque-andesitos, com espessuras de até 30 metros, sub-verticais, com granulometria de média a grossa com gradação para afaníticas a vítreas nas bordas. No braço sul o autor descreve diques de diabásio com espessuras de até 100 metros com ramificações e disjunção colunar, granulação média a fina com textura afírica gradando para afanítica ou vítrea nas bordas.

O Arco de Ponta Grossa é intrudido por dois enxames de diques de orientação principal NW-SE e subordinadamente NE de composição química básica e em menor escala intermediários e ácidos e isotopicamente semelhante da Província Magmática de alto Ti/Y, conferindo a interpretação de servirem como condutos para formação da Província (Franco-Magalhaes, 2010). Para os diques e intrusões alcalinas foram obtidas idades variando de 131.4 (0.5) até 129.2 (0.5) Ma pelo método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (plagioclásio) e segundas gerações de 105-101 Ma (Renne *et al.*, 1996).

### **2.3. Lineamentos**

Na área do Arco ocorrem quatro trends principais zonas de falhas: NE-SW, NW-SE, E-W e N-S (Zalan, 1987; Salamuni *et al.*, 2003; Strugale *et al.*, 2007). As falhas NW-SE têm direção geral variando entre N40W para N55W, são numerosas e boa parte preenchidas por diques em faixas retilíneas próximas aos lineamentos magnéticos São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo, e ramificadas próximo ao eixo do Arco (Strugale *et al.*, 2007). As falhas NE são caracterizadas por estreitas zonas de falha retilínea a levemente curvilíneas com intrusões de diques pouco significativas, em comparação com os de direção NW, e frequentes estruturas de transcorrência (Zalán, 1987), são falhas regionais com expressivas zonas de cisalhamento, importantes por representarem os limites entre os terrenos da Província Mantiqueira (Basei *et al.*, 1998; Heilbron *et al.* 2008). As falhas E-W são longas e contínuas, enquanto, as falhas N-S curtas e descontínuas. Os trends E-W e N-S interpretados como estruturas relevantes na tectônica cenozoica do Arco de Ponta Grossa (Salamuni *et al.*, 2003; Chavez-Kus & Salamuni, 2008).

### **2.4. Reativações de Falha**

Devido às movimentações de separação continental as falhas NWSE foram intensamente reativadas, o que proporcionou a intrusão e instalação dos corpos

ígneos do enxame de diques Ponta Grossa e extrusão dos derrames que compõem a Província Magmática Paraná-Etendeka sobre a Bacia do Paraná. (Almeida, 1967; Zalán, 1987). Strugale et al. (2007) definem a reativação de estruturas em um primeiro momento no fim do Jurássico com  $\sigma_1$  em N10W e rotação do SHmax em sentido horário de 30° que seria responsável pela formação de estruturas proeminentes e colocação dos diques. Durante o Cenozoico (58-20Ma) o regime transcorrente, com distensão NW-SE e compressão NE-SW localizada, reativou as falhas NE-SW como falhas normais formado bacias pull-apart relacionadas ao Rifte Continental do Sudeste Brasileiro (Zalán & Oliveira, 2005; Riccomini et al., 2004). Evidências de movimentações neotectônicas podem ser observadas nestas bacias e em estudos de cinemática de estruturas, podendo ser sumarizadas em cinco eventos: 1) tectônica extensional NNW-SSE Eoceno-Oligoceno; 2) transcorrência sinistral de direção E-W, com distensão NW-SE de idade Oligoceno-Mioceno; 3) transcorrência dextral E-W com compressão NW-SE, Pleistoceno Superior a Holoceno; 4) Extensão E-W (WNW-ESE) Pleistoceno-Holoceno; 5) Compressão E-W de idade Holoceno (Chavez-Kus & Salamuni, 2008; Riccomini et al., 2004; Riccomini & Assumpção, 1999).

**Tabela 1: Reativações e direções de esforços. Fonte: Chavez-Kus & Salamuni, 2008; Riccomini et al., 2004; Riccomini & Assumpção, 1999**

<b>REATIVAÇÃO</b>	<b>DIREÇÃO</b>
<b>Jurássico</b>	<b><math>\sigma_1</math> em N10W</b>
Eoceno-Oligoceno	extensional NNW-SSE
<b>Oligoceno-Mioceno</b>	<b>transcorrência sinistral EW</b>
Pleistoceno superior a Holoceno	transcorrência dextral EW
<b>Pleistoceno-Holoceno</b>	<b>extensional EW (WNW-ESSE)</b>
Holoceno	compressão E-W

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.2. Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado de maneira a entender a geologia da área em conjunto com análise de mapas geológicos (Folha Curitiba SG-22, escala 1:250.000) para visualizar a distribuição de litotipos e estruturas. Foram reunidos também dados magnetométricos da região utilizando-se a base de dados do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). Foram reunidos os trabalhos com as primeiras

definições do Arco até os mais recentes com dados geocronológicos, geofísicos e estruturais.

### **3.3. Caracterização Geomorfológica**

Na análise geomorfológica da área de estudo foram analisadas as feições do relevo e hidrográficas da região para definir os compartimentos morfotectônicos através de: a) mapa hipsométrico; b) mapa de declividade; c) Mapa de lineamentos; d) Mapa Geomorfológico Folha Curitiba, SG-22, escala 1:650.000 (Instituto Água e Terra, 2006).

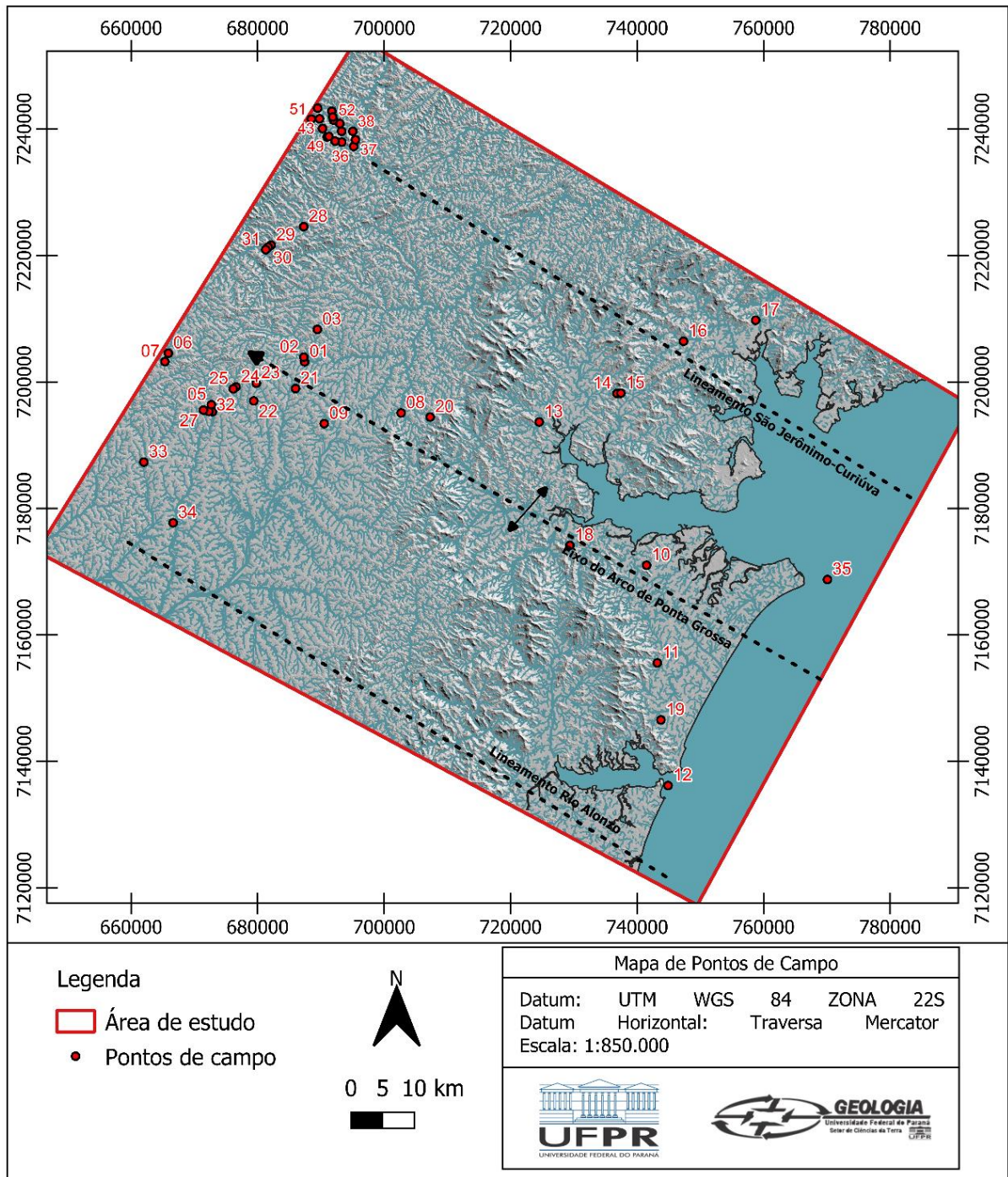
#### **3.3.1. Análise do relevo**

Para análise do relevo da área de estudo foram utilizadas imagens de satélite ALOS PALSAR - com resolução de 12,5 metros, através do qual foi gerado mapa hipsométrico, declividade e mapa de relevo sombreado através do *software* ArcGIS®. Os parâmetros de análise foram os postulados por Summerfield (1993). Os lineamentos do relevo, assim como o traçado dos diques da região, foram extraídos em análise de escala 1:250.000, a partir do mapa de relevo sombreado, gerado pela ferramenta *hillshade* do *software* ArcGis® com azimutes de iluminações de: 45°, 90°, 225° e 315°. Para extração dos lineamentos foram identificados o arranjo espacial do relevo, escarpas alinhadas, vales e interflúvios. O tratamento estatístico dos dados foi realizado utilizando-se a ferramenta *AzimuthFinder* juntamente com Stereo32 para elaboração de diagramas de roseta de frequência e comprimento.

#### **3.3.2. Análise de dados de campo**

Os dados estruturais foram obtidos a partir do artigo de Farias *et al.* (2022), relativos a reativações e/ou neoformação de falha no Complexo Alcalino Tunas, localizado na região noroeste da área de estudo. Neste caso foram analisados e retrabalhados o conjunto de dados coletados pelos autores. Adicionalmente a estes dados, serão utilizados dados de campo de Nascimento *et al.* (2013) da região de Curitiba e litoral paranaense.

Ao todo foram analisados 58 pontos de afloramento especializados como mostra a Figura 6.



**Figura 4: Distribuição de pontos de campo.**

Os dados foram classificados quanto à direção, tipos de estruturas, sobreposição de movimentações e de estruturas e interpretados utilizando-se o *software* WinTensor para obter as direções de paleotensões e comparar com os dados obtidos através da caracterização do relevo.

### 3.3.3. Indicadores Cinemáticos

Os indicadores cinemáticos são elementos estruturais utilizados para a determinação do sentido de movimento ou cisalhamento de uma falha e movimentação relativa entre blocos (Marshak, Mitra, 1998). Os tipos de indicadores mais aceitos são os planos de falhas, nos quais a presença de estrias e sulcos permitem a estimativa de paleotensão responsável pela deformação. Para o levantamento de dados estruturais Farias *et al.* (2022) e Nascimento *et al.* (2013) utilizaram os critérios de indicadores cinemáticos definidos por Doblas (1998).

Doblas (1998) definiu 61 critérios cinemáticos, divididos em onze grupos a partir da compilação de diversos trabalhos sobre indicadores cinemáticos de movimentos de falha. Os critérios principais de distinção entre os indicadores são suas características morfológicas e geométricas (FIGURA 5.) Ao todo o autor definiu: marcas crescentes ou em V (*V crescentic marking* - CM), degraus (*steps* - ST), fraturas (*fractures*-FR), sucessão de estruturas planares inclinadas (*trains of inclined planar structures*-IS), material de arrasto (*trailed material* - TM), elevações assimétricas (*asymmetric elevations* AE), elementos deformados (*deformed elements*-DE), orientações mineralógicas-cristalográficas (*mineralogical - crystallographic orientations* - MC), feições assimétricas em plano (*asymmetric plan-view* - PW), cavidades assimétricas (*asymmetric cavities* - AC) e dobras assimétricas (*asymmetric folds* - AF).

A análise dos indicadores cinemáticos deve ser feita de maneira cautelosa, uma vez que podem apresentar sobreposições de estruturas, que podem estar associadas ao mesmo evento de deformação ou múltiplos eventos. A avaliação da cinemática de um indicador gerado por diferentes eventos de deformação pode levar a interpretação de cinemáticas contrárias ao evento analisado em questão.

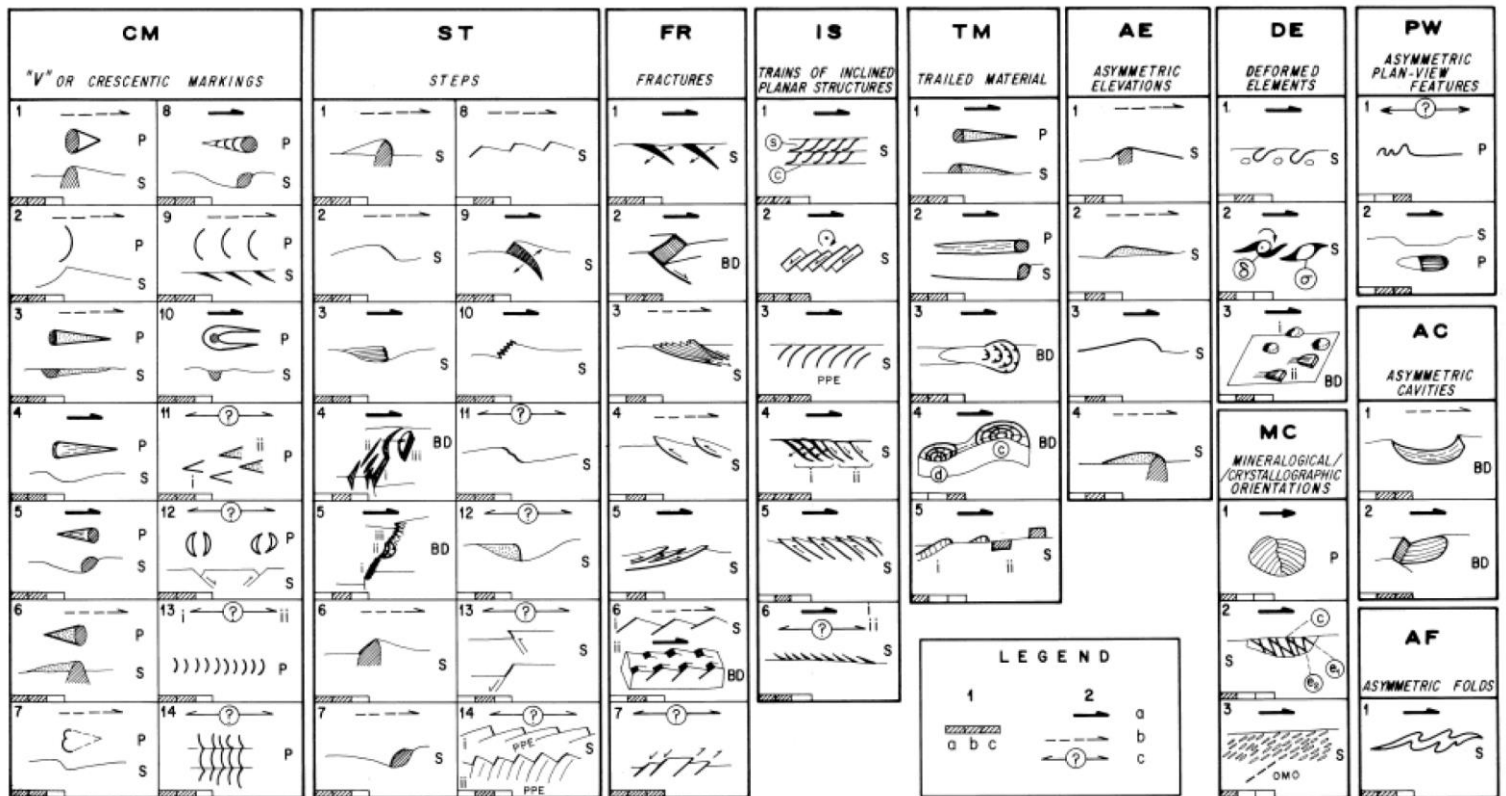


Figura 5: Classificação de indicadores cinemáticos. Legenda 1- escala (a - microscópica; b- mm a cm; c- métrica) 2-setas (direção do movimento da capa) indicam o grau de confiabilidade de cada indicador cinemático (a-bom; b- regular; c- ruim); BD - bloco diagrama; OMO - orinetação mineralógica oblíqua; PPE- elemento planar pévrio; P- plano; S- seção. (Retirado de Doblas, 1998).

### 3.3.4. Sistema Riedel

Um dos critérios cinemáticos que podem ser utilizados são os arranjos geométricos de fraturas que se desenvolvem ao longo de uma falha, segundo Petit (1897), utilizando-se o Modelo Riedel de deformação.

Este modelo de laboratório proposto por Riedel (1929) e interpretado por Petit (1987) define que as primeiras fraturas geradas em um sistema de cisalhamento são as fraturas sintéticas (R), com sentido de deslizamento da falha principal; com variações no campo de esforços locais desenvolvem-se as fraturas sintéticas secundárias (P), simétricas à R. As fraturas R', de caráter antiético se desenvolvem com ângulos altos em relação à zona de cisalhamento. Podem ser observadas também fraturas distensionais (T), falhas normais, inversas, eixos de dobras e fraturas antitéticas (X).

Os critérios de identificação de cinemática a partir dos arranjos de fraturas estabelecido por Petit (1987) são baseados na intersecção das estruturas P, T e R com a falha principal. Para o critério T das falhas distensionais (T) o ângulo entre as fraturas e falha principal se configura como agudo que aponta na direção do rejeito, formam terminações curvadas na direção do rejeito. No critério P as superfícies das fraturas podem ser polidas e estriadas, com baixo ângulo em relação ao plano de falha.

Para o critério R através da distinção entre fraturas R e R' é possível definir a direção relativa do movimento. A intersecção das fraturas R com o plano principal é perpendicular à direção do movimento, com planos de fraturas irregularmente distribuídos e de tamanhos variáveis, com curvatura côncava na direção do plano, indicando sentido do movimento.

Outro autor que definiu critérios de determinação da cinemática por meio das feições contidas nos planos de falhas foi Angelier (1994) que 9 critérios para determinação da cinemática, sumarizados na tabela a seguir.

**Tabela 2: Critérios cinemáticos segundo Angelier (1994).**

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Confiabilidade</b>
<b>Degraus de minerais</b>	Minerais neoformados durante a movimentação	100%
<b>Marcas de objetos</b>	Minerais ou seixos com relevo positivo ou cavidades assimétricas	85%
<b>Falhas sintéticas R</b>	Ângulo de 5°-25° com o mesmo sentido do plano de falha, perpendiculares à lineação	75%
<b>Falhas antitéticas R'</b>	Ângulo de 75° com o sentido oposto ao plano de falha, perpendiculares à lineação	75%
<b>Facetas polidas e rugosas</b>	Perpendiculares às lineações do plano de falha	75%
<b>Tension gashes (fraturas T)</b>	Ângulo de 30°-50° com o plano de falha, perpendiculares à lineação	70%
<b>Picos e estilólitos</b>	-	100%
<b>Marcas parabólicas</b>	Formas de meia lua com concavidade voltada para sentido do movimento do bloco ausente	-
<b>Vesículas deformadas em lavas</b>	Concavidade indica movimento oposto dos blocos	-

## 4. RESULTADOS

### 4.2. Lineamentos Magnéticos

Nos dados magnetométricos é possível identificar os lineamentos magnéticos Rio Alonzo e São Jerônimo-Curiúva como estruturas que marcam os limites principais de influência do Arco de Ponta Grossa na resposta magnética da região.

Observa-se na Figura 6 a alta contagem magnetométrica na forma de estruturas retilíneas orientadas na direção NW-SE. A região do eixo do Arco de Ponta Grossa se apresenta como a porção de maior densidade de estruturas, formando um corredor no qual a resposta magnetométrica da região é orientada para NW-SE, contrastando com a direção regional de NE-SW.

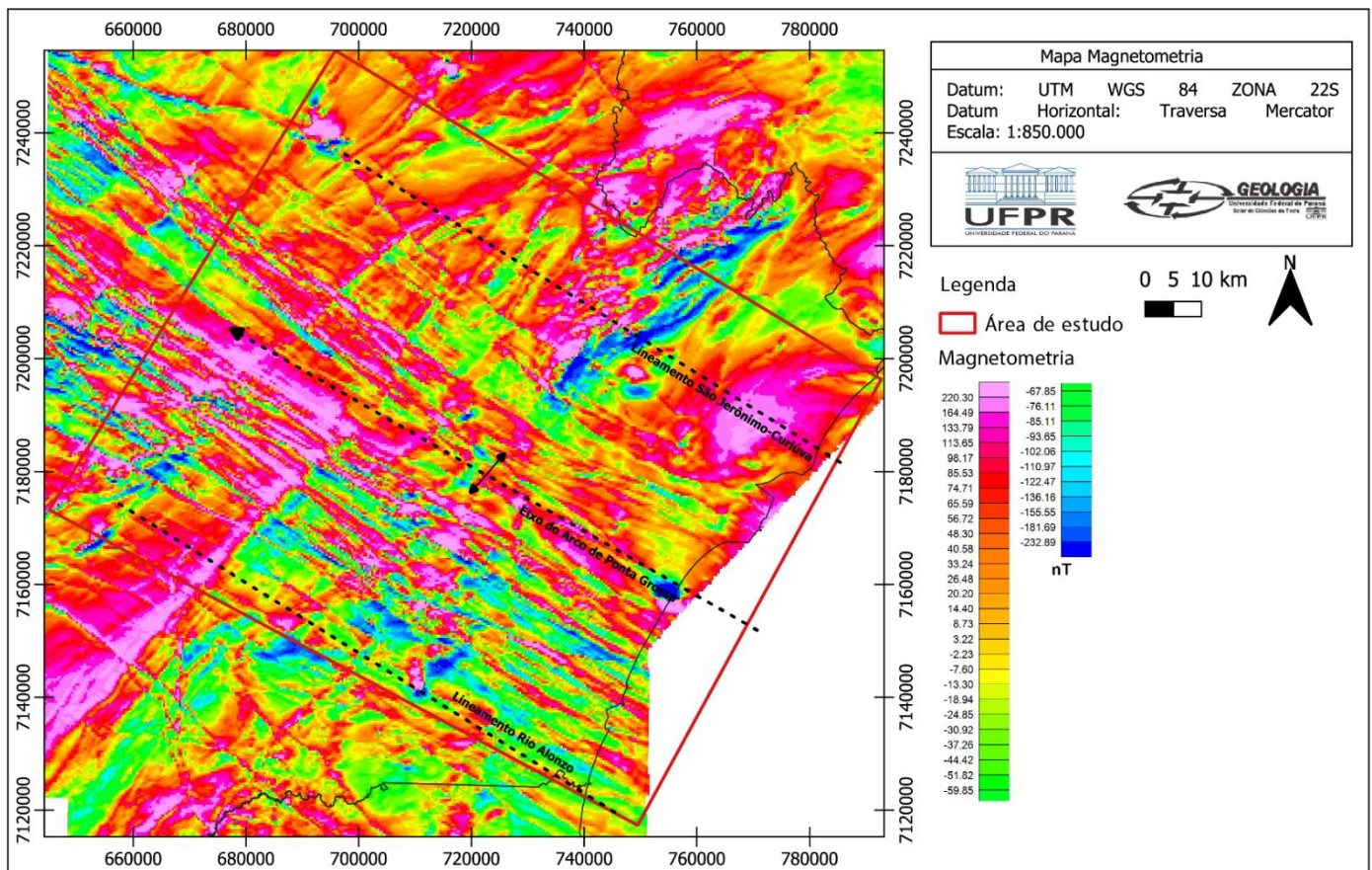
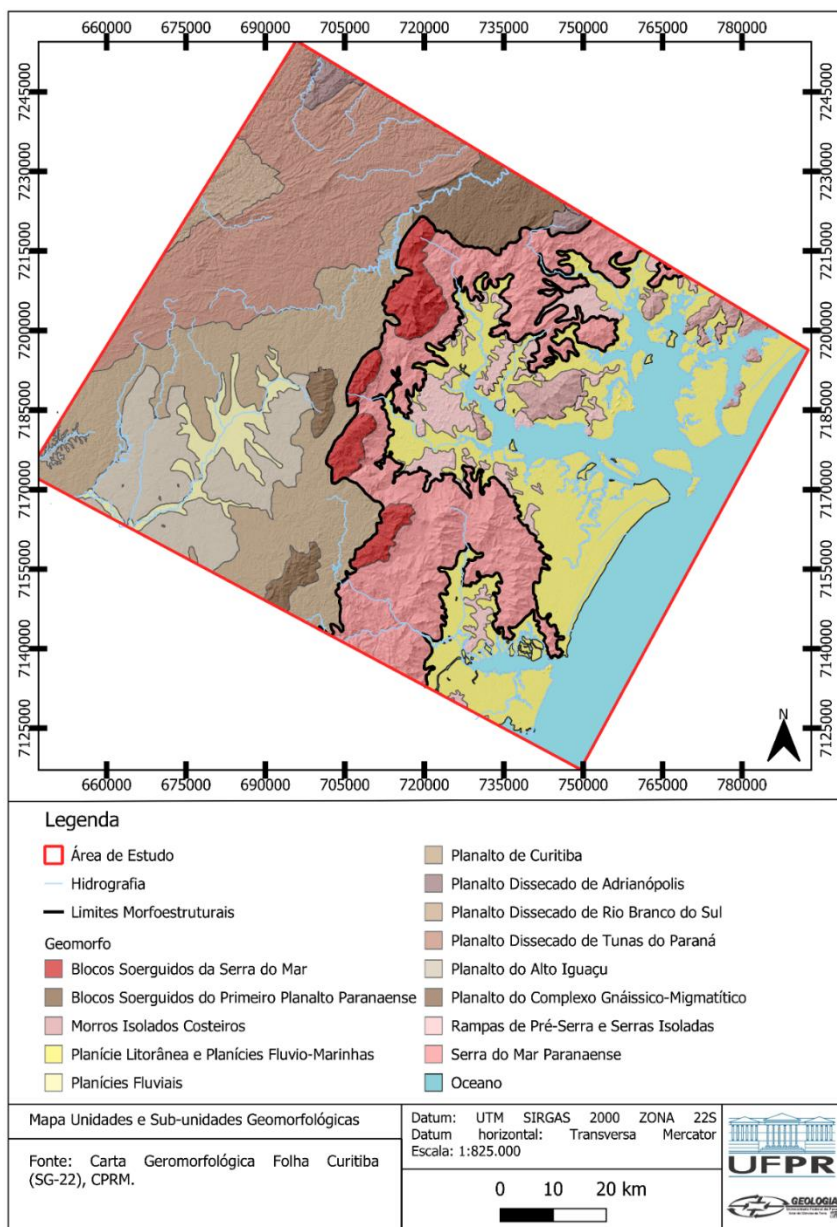


Figura 6: Mapa Magnetométrico da área de estudo. Fonte: CPRM.

### 4.3. Análise do relevo

A geomorfologia da área de estudo abrange as unidades geomorfológicas da Planície Litorânea, Serra do Mar até o Primeiro Planalto Paranaense segundo a Figura

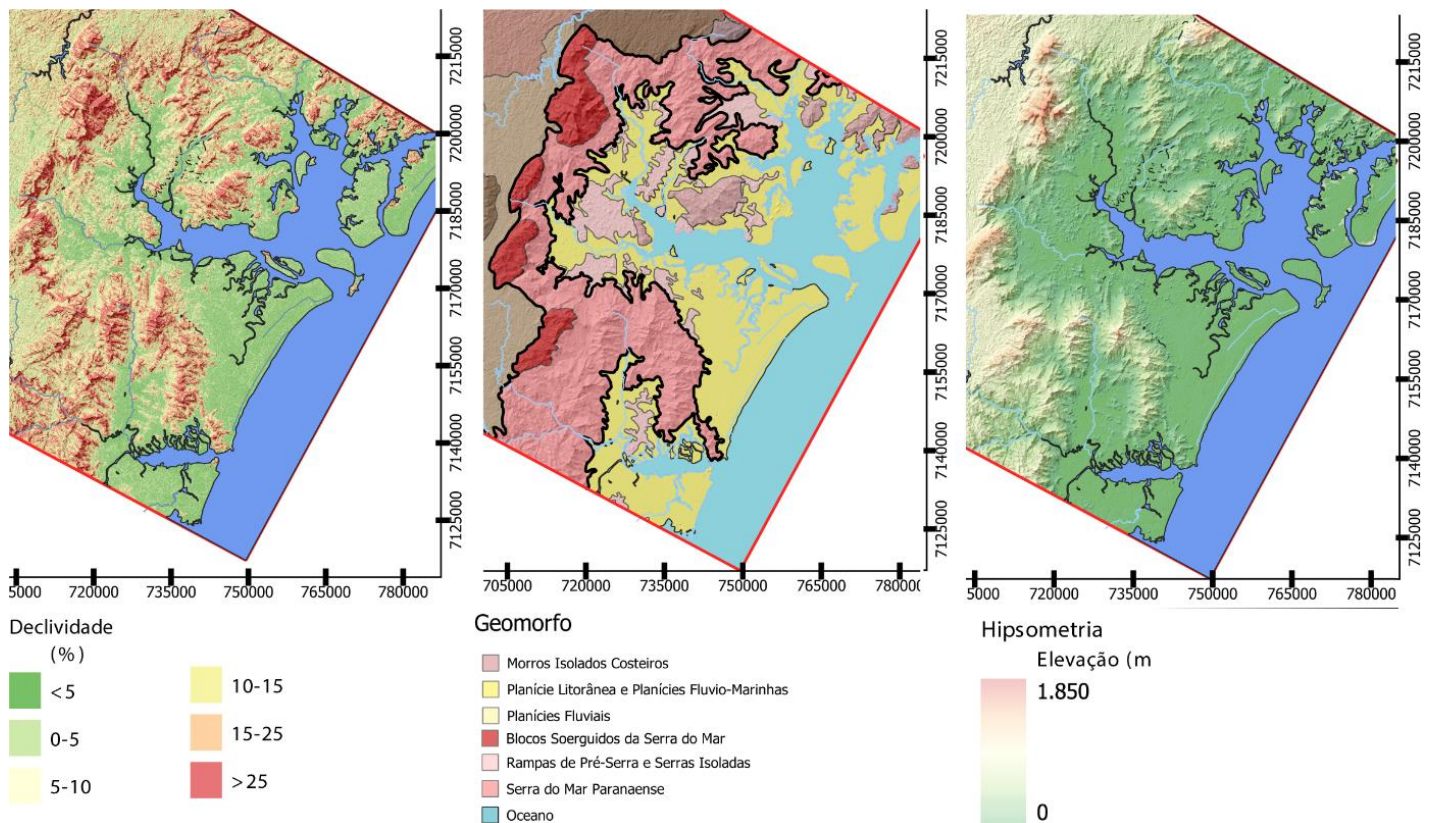
7 com os limites morfoestruturais delimitados pela MINEROPAR (2006). É caracterizada pela grande variação de altitude e declividade das planícies litorâneas até as unidades montanhosas da Serra do Mar (Figura 7 e 8, escalas 1:850.000 e Anexo I, escala (1:500.00)).



**Figura 7: Mapa de Unidades Geomorfológicas. Fonte de dados: MINEROPAR, Folha Curitiba, SIG-22 (2006).**

Do litoral para continente o relevo é caracterizado, nas unidades de Planícies pela planície Litorânea e planícies Fluviomarinhas, de dissecação baixa, com formas predominantes de planícies de restinga e fluviomarinhas, terraços arenosos, dunas e praias. A declividade local é de 6% com altitude máxima de 200 m. s. n. m.

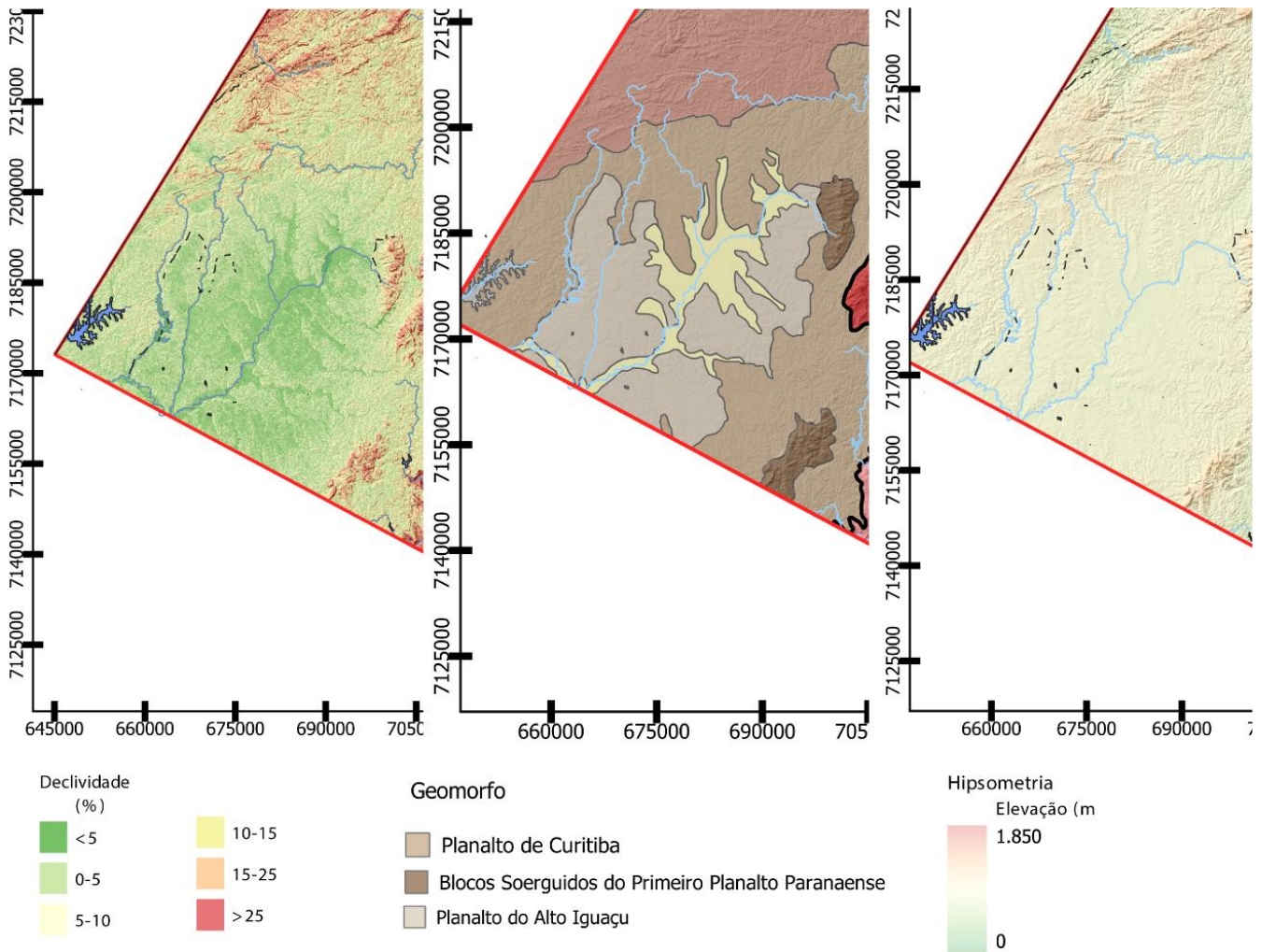
Adentrando o domínio da unidade geomorfológica da Serra do Mar ocorrem as subunidades morfoesculturais Morros Isolados Costeiros, Rampas de Pré-Serra e Serras isoladas, Serra do Mar Paranaense e Blocos Soerguidos da Serra do Mar. São subunidades que apresentam dissecação alta a muito alta, caracterizadas por topos alongados e em cristas, rampas dissecadas com vertentes retilíneas e vales em “V” fechado e vales em “V” encaixado. A declividade varia de 6% a 47% de acordo com a subunidade referida, nas Rampas Pré-Serra do Mar são encontradas as menores declividades com variações de gradiente de 400 metros entre 200 e 600 m.s.n.m. As subunidades que apresentam as maiores declividades são referentes aos compartimentos da Serra do Mar (Morros Isolados Costeiros, Serra do Mar, Paranaense, Serras Isoladas e Blocos Soerguidos da Serra do Mar), chegando até 47% de declividade. Nestas subunidades também ocorrem os picos de elevação e grande variação de gradiente de 20 a 1360 m.s.n.m.



**Figura 8: Unidades Costeiras: subunidades Serra do Mar, Morros Isolados, Rampas e Planícies Costeiras.**

A oeste da unidade Serra do Mar encontra-se o Primeiro Planalto Paranaense que apresenta geomorfologia dominada por planaltos com regiões de cristas

subordinadas às ocorrências geológicas locais. Dentro desta unidade, do contato com a unidade da Serra do Mar até o limite W da área de estudo o relevo é caracterizado pelas subunidades: Planaltos de Curitiba, Adrianópolis, Rio Branco do Sul, Tunas do Paraná, Alto Iguaçu, Complexo Gnáissico-Migmatíticos e por fim os Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto (Figura 9).

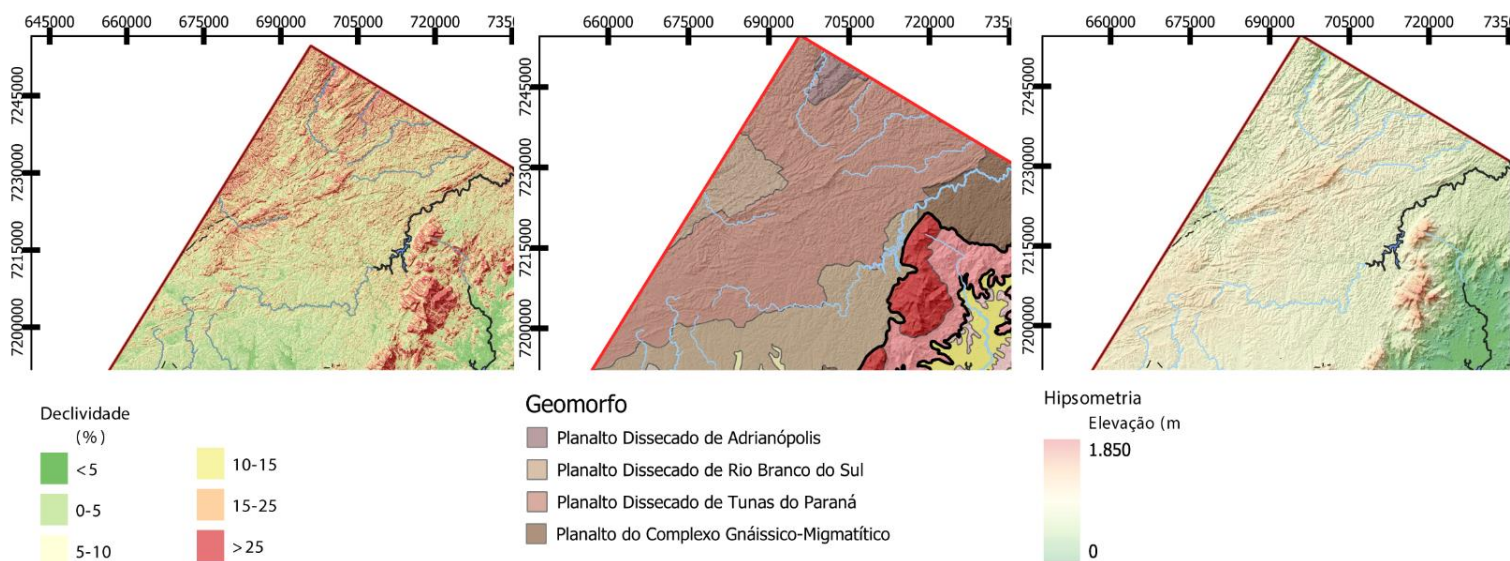


**Figura 9: Primeiro Planalto Paranaense: subunidades Planalto Curitiba, Alto Iguaçu e Blocos Soerguidos.**

Os Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto apresentam dissecação muito alta, declividade predominante de 12 e 30%, relevo com gradiente de 500 metros, variando entre 820 (mínima) e 1320 (máxima) m. s. n. m. Apresenta formas de topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em “V” fechado.

O Planalto de Curitiba apresenta dissecação média e declividade predominantemente menores que 6%, localmente variando de 6-30%, o relevo tem gradiente de 680 metros com altitudes variando entre 560 e 1240 m. s. n. m. Nesta unidade as formas predominantes são topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”. A subunidade Planalto do Alto Iguaçu apresenta dissecação baixa, com declividade menor que 6% e relevo com gradiente de 120 metros variando entre 880 e 1000 m. s. n. m. As formas predominantes são topos alongados e aplainados, vertentes convexas articulando-se às planícies fluviais mediante rampas suaves, vales em “V”.

As demais subunidades de Planalto do Primeiro Planalto Paranaense são: Complexo Gnáissico Migmatítico, Alto Ribeira, Adrianópolis e Rio Branco do Sul (Figura 10).



**Figura 10: Primeiro Planalto Paranaense: subunidades Planaltos de Tunas, Adrianópolis, Rio Branco do Sul e Complexo Gnáissico Migmatítico.**

O Complexo Gnáissico Migmatítico ocorre com alta dissecação, declividades menores que 6% e relevo de topos alongados e arredondados, vertentes convexas e vales em “V” aberto com gradientes de 740 metros com altitudes variando entre 300 e 1040 m. s. n. m. O Planalto Dissecado de Tunas do Paraná apresenta declividades menores que 6% localmente com 12-30%, o relevo apresenta gradiente de 760 metros

com altitudes variando entre 640 e 1400 (máxima) m. s. n. m. As formas predominantes são topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em “V” encaixado.

Os Planaltos Dissecado de Adrianópolis, Rio Branco do Sul, apresentam dissecação alta declividade menores que 6% e de 12-30% localmente. No relevo o primeiro apresenta gradiente de 1060 metros variando entre 340 e 1400 m. s. n. m. O último apresenta um gradiente de 680 metros variando entre 500 e 1180 m. s. n. m. As formas de relevo predominantes são topos alongados e/ou em cristas, vertentes retilíneas e convexas e vales em “V” aberto.

#### **4.4. Lineamentos**

A partir da extração dos lineamentos do terreno foi obtido como resultado a o mapa de lineamentos e diques da área de estudo com orientações variadas. Na Figura 11 está demonstrada a totalidade dos lineamentos e diques extraídos do relevo sombreado.

É possível observar que na região Leste da área de estudo há predominância do caráter alongado e orientação preferencial de N30W dos lineamentos, em contraste com a região dos terrenos Curitiba e Apiaí, que apresentam lineamentos curtos com direções. Os diques apresentam contrastes de distribuição, tamanho e frequência dependendo da região da área de estudo.

Para melhor caracterização e análise das características eles foram subdivididos nas províncias estruturais: Planície Costeira, Serra do Mar, Terreno Curitiba e Terreno Apiaí.

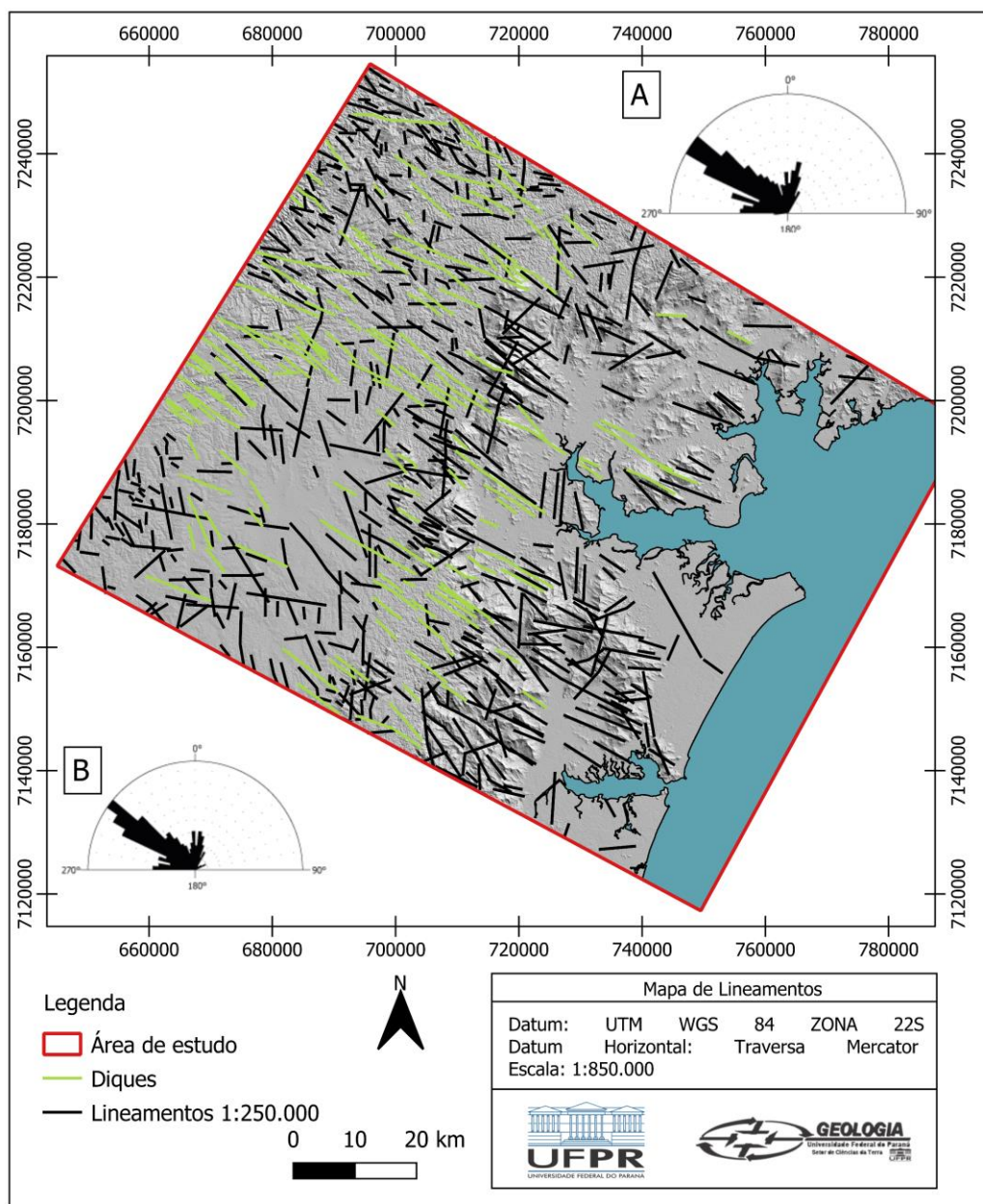
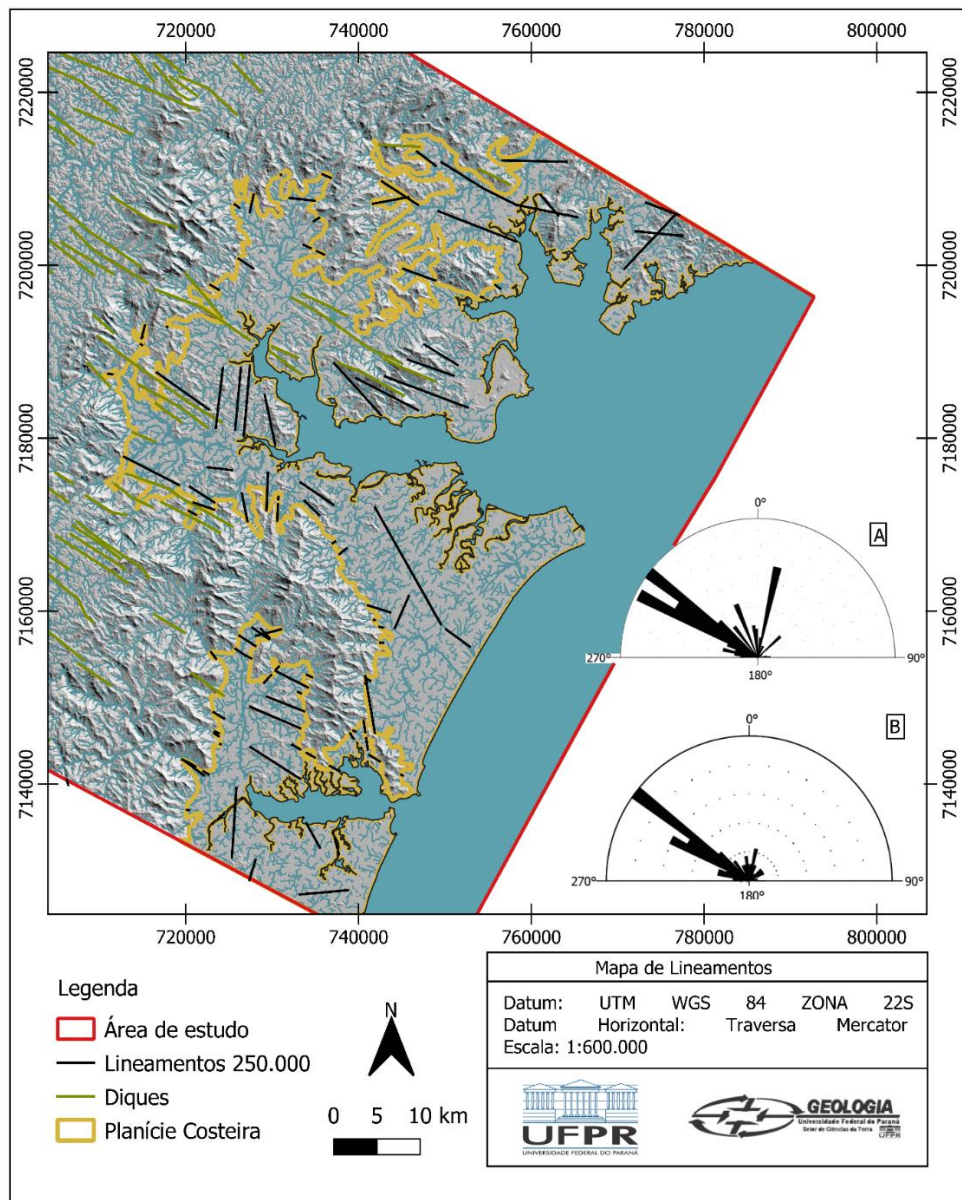


Figura 11: Mapa de lineamentos e diques extraídos em 1:250.000. A) Roseta de comprimento. B) Roseta de frequência.

#### 4.4.1. Planície Costeira

Dentro da província estrutural da Planície Costeira (Figura 12) a predominância de estruturas é dada pela presença de lineamentos em maior proporção comparado à quantidade de feições de diques identificáveis.

Os lineamentos desta província variam de estruturas alongadas e retilíneas concentradas nas direções N40-50W e N15E, e lineamentos menores com direções variadas entre N80W e N40E, principalmente próximo ao limite com a Serra do Mar.



**Figura 12: Lineamentos na Planície Costeira. A) Roseta de comprimento. B) Roseta de Frequência.**

Em relação à frequência a direção principal de lineamentos se concentra em N50W com mais de 50% dos lineamentos extraídos orientados nesta direção. É possível observar que a segunda orientação mais presente se concentra também para NW entre N60-70W seguida de lineamentos dispersos entre NW e NE.

No terreno a expressão dos lineamentos alongados é observada principalmente na forma do relevo, com cristas segmentadas por estruturas, ou como topos retilíneos marcados pelos diques. Nos padrões de drenagem a orientação de drenagens de 4ª ordem acompanha a direção principal das estruturas alongadas nas regiões próximas ao limite com a Serra do Mar, com maior declividade.

#### 4.4.2. Serra do Mar

Dentro da província da Serra do Mar (Figura 13) os lineamentos mostram forte expressão no terreno. A província é intensamente segmentada por lineamentos alongados com orientação principal N50-60W, intercalados por lineamentos curtos de mesma direção concentrados principalmente na região central e sul da província, próximo ao limite nordeste da área de estudo ficam menos pronunciados tanto em frequência, quanto comprimento.

Na região central da província os lineamentos apresentam pouca variação de tamanho, com lineamentos curtos e alongados apresentando padrão retilíneo, marcando vales pronunciados pela alta declividade local. No relevo é possível observar que próximo aos limites com o Terreno Curitiba é mais evidente as cristas retilíneas sustentadas por diques. Tanto os diques quanto lineamentos apresentam direções principais concentradas em NW, com presença de lineamentos longos também no quadrante NE, estes com orientação principal para N10-20E, alongados e localmente sinuosos. São comuns a interceptação de lineamentos e ramificação de estruturas de diferentes orientações.

Na porção sul os lineamentos apresentam maior variação de tamanho, sendo os lineamentos alongados predominantes na direção N50W e os lineamentos curtos na direção N20-40W. As duras direções de lineamentos apresentam interceptação entre si, com sobreposição de estruturas. É possível observar que nesta porção a segmentação do terreno é marcada principalmente pelos lineamentos, com menor quantidade de cristas alongadas marcadas por diques, sendo estes presentes já além dos limites com o Terreno Curitiba. Nos padrões de drenagem a alta declividade influencia a geração de padrões radiais acompanhando as encostas.

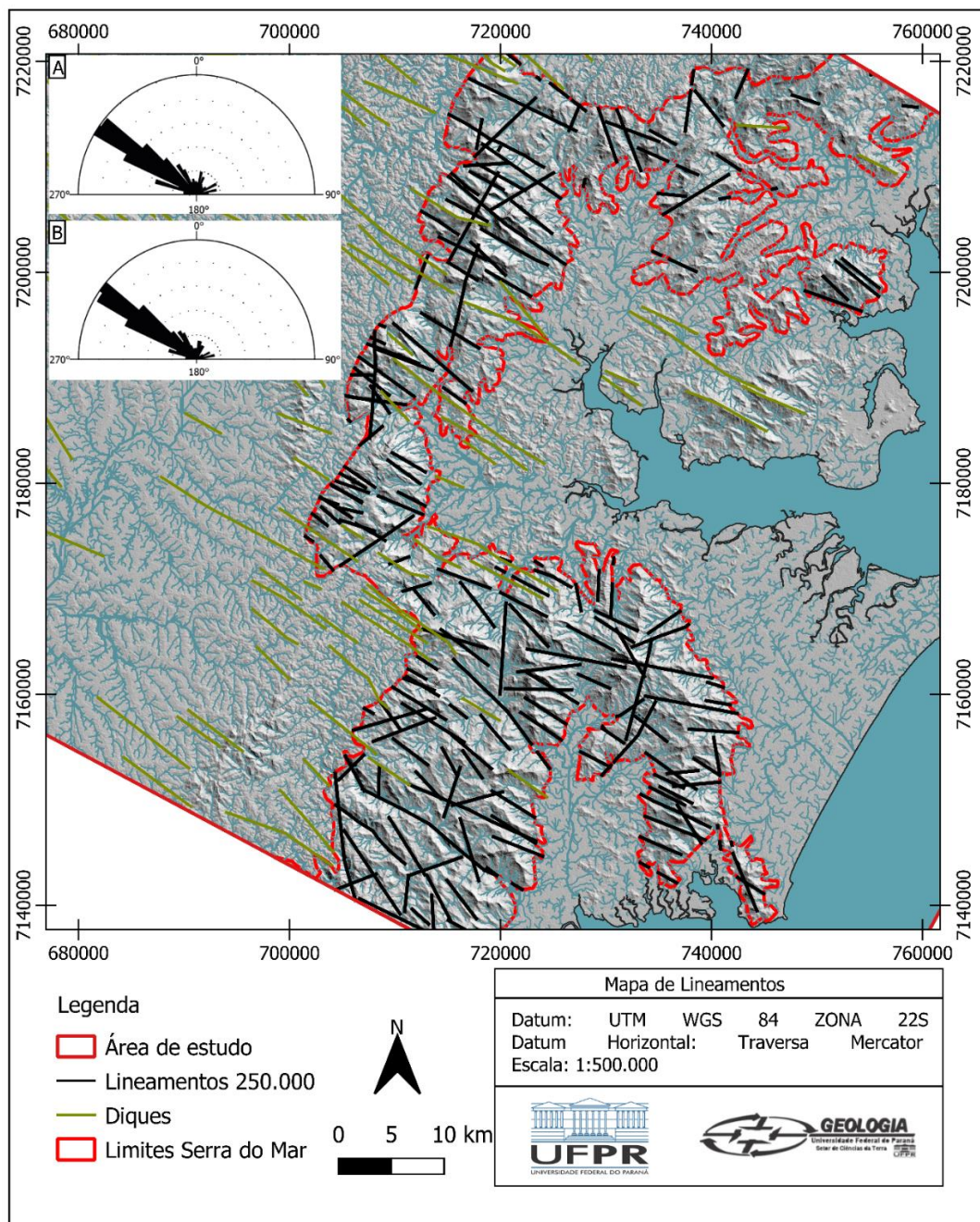


Figura 13: Lineamentos da Província Serra do Mar. A) Roseta de comprimento. B) Roseta de Frequência.

#### 4.4.3. Terreno Curitiba

Nesta província o relevo é marcado por estruturas positivas correlacionadas aos diques da região (Figura 14). Na região central os lineamentos longos estão concentrados nos quadrantes N10-20E e N40-50W. São lineamentos retilíneos, estando os lineamentos NE associados às drenagens de 4° e 5° ordem. Esses

lineamentos são estão seccionados por estruturas menores, orientadas principalmente nos quadrantes EW, N70-90W e NS. Nesta região também é possível observar a densidade de diques marcando o relevo próximo ao contato com o Terreno Apiaí, estão distribuídos em zonas de maior concentração e ramificações.

Na porção norte há predominância de lineamentos orientados para EW e N40W, variando de longos a curtos, contrastando com as estruturas dos diques que se apresentam orientadas para N40-50W, com formas sinuosas a retilíneas com grandes comprimentos. Nesta região o padrão de drenagem parece ser influenciado pelas estruturas EW, alinhando drenagens de 3° e 4° ordem.

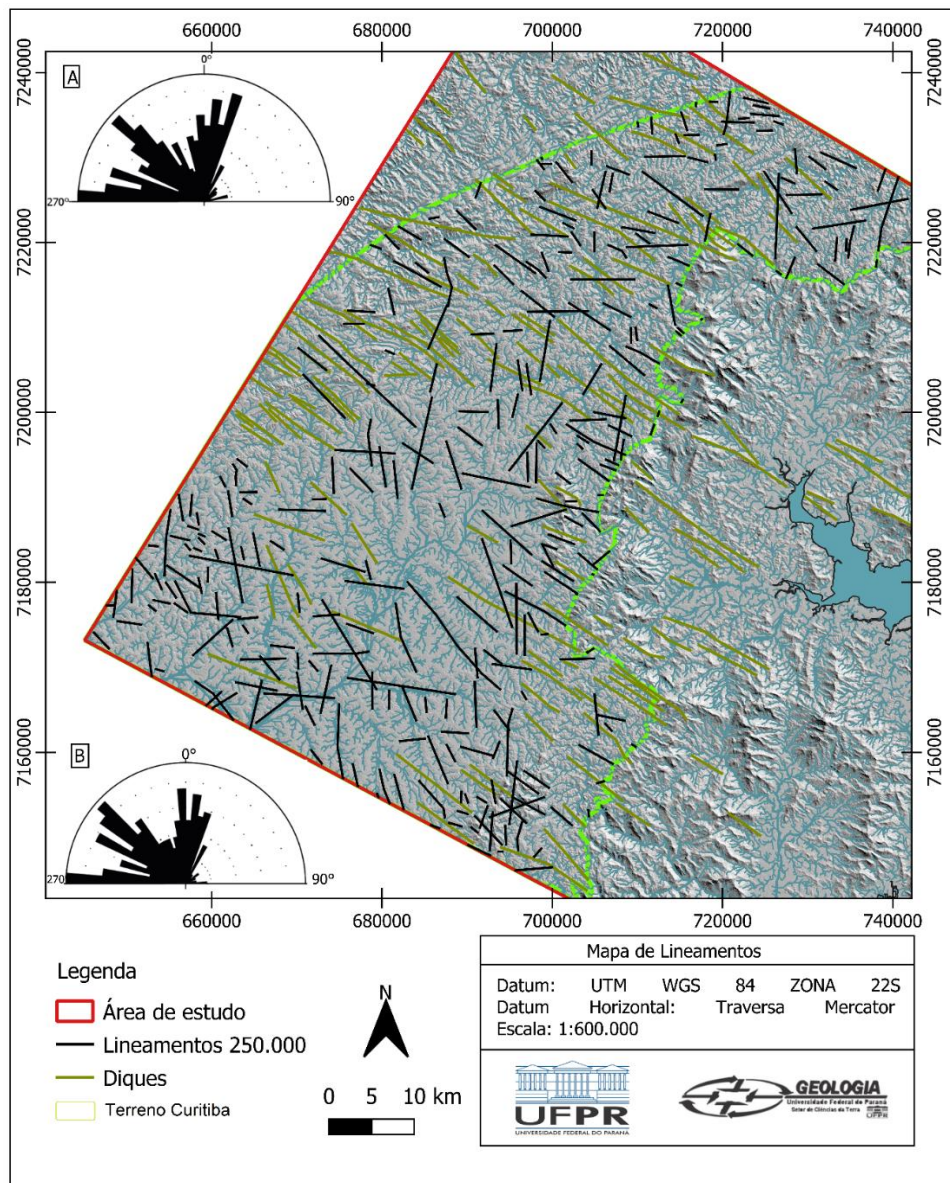


Figura 14: Lineamentos do Terreno Curitiba. A) Roseta de comprimento. B) Roseta de Frequência.

Na porção sul, mais extensa, observa-se a predominância de lineamentos curtos orientados para NS, EW e N40W, ocorrem com maior frequência na porção próxima ao limite sul da área de estudo com sobreposição de estruturas. Os lineamentos longos são orientados para N70W e N40-50W estando associados a grandes drenagens de 4° ordem e ocorrem dispersos pela região aqui destacada.

#### 4.4.4. Terreno Apiaí

No Terreno Apiaí (Figura 15) os lineamentos longos estão concentrados nas direções N60W e N40W, pontualmente ocorrem também lineamentos longos nas direções NS e N10E, são retilíneos formando vales marcados no relevo.

Os lineamentos curtos apresentam orientação principal para NS a N15E, e N30-60W. Ocorrem na forma de feixes, com concentrações de lineamentos principalmente nos extremos da província. Estas estruturas apresentam grande influência na rede de drenagem local.

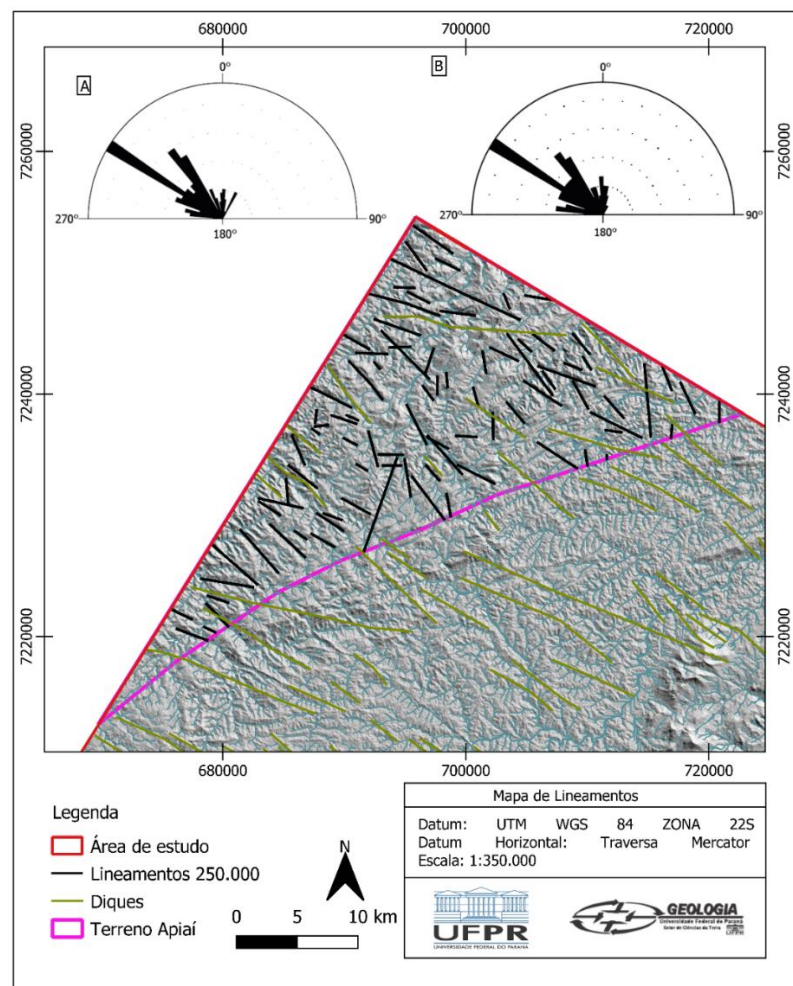


Figura 15. Lineamentos Terreno Apiaí. A) Roseta de comprimento. B) Roseta de Frequência.

#### 4.5. Análise Estrutural

Os dados coletados em campo por Farias *et al.* (2019) e Nascimento (2009), descrevem estruturas de falhas transcorrentes dextrais, sinistrais e oblíquas, falhas normais e inversas, fraturas e juntas. As direções destas estruturas variam entre os quadrantes NW e NE com mergulhos variando de verticalizados a sub-horizontalizados.

##### 4.5.1. Falhas transcorrentes

As falhas transcorrentes ocorrem como dextrais e sinistrais, por vezes com movimentação oblíqua. Ao todo foram registradas 78 falhas transcorrentes em toda a região de estudo. As direções principais das falhas dextrais (Figura 16, A) são ENE com predominância de falhas na direção N60-70E, são presentes também falhas NW com direção principal N50-70W.

No caso das falhas transcorrentes sinistrais (Figura 16, B) as falhas ocorrem orientadas predominantemente para NNW, com concentração de estruturas nas direções N5-40W. Para o quadrante NE as falhas sinistrais estão concentradas nas direções N40-60E, ocorrendo também em N60-70E. Observa-se que somente nas falhas transcorrentes sinistrais ocorrem estruturas orientadas no quadrante EW e NS, sendo a direção NS mais expressiva em termos de quantidade de estruturas.

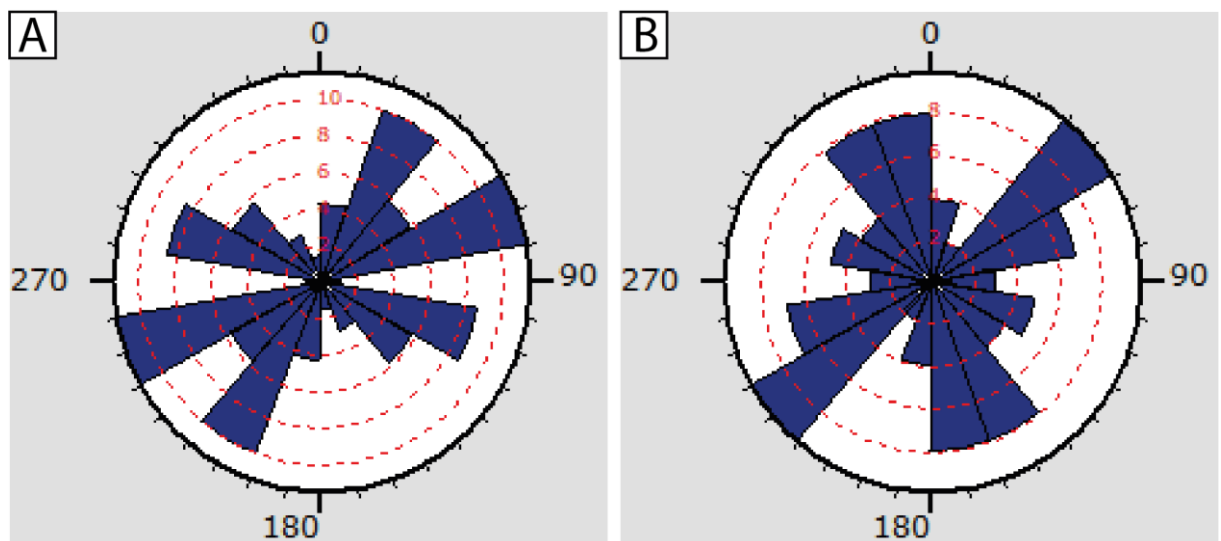


Figura 16: Roseta de falhas transcorrentes. A) Transcorrências dextrais; B) Transcorrências sinistrais.

#### 4.5.2. Falhas normais

Ao todos foram registradas 28 falhas normais na região. A direção predominante das estruturas é N40-60E, porém ocorrem com direções variadas dentro do quadrante NE. Pontualmente observam-se falhas normais orientadas para NS, ocorrendo até N10W (Figura 17).

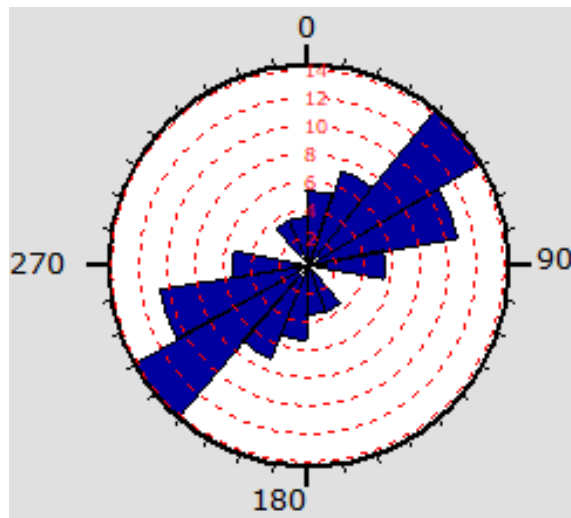


Figura 17: Roseta de falhas normais.

#### 4.5.3. Falhas inversas

As falhas inversas são as estruturas menos representativas da área de estudo, contabilizando um total de 9 estruturas identificadas. A direção principal destas estruturas se concentra em N30-50E, com variações para NS, e N70W (Figura 18).

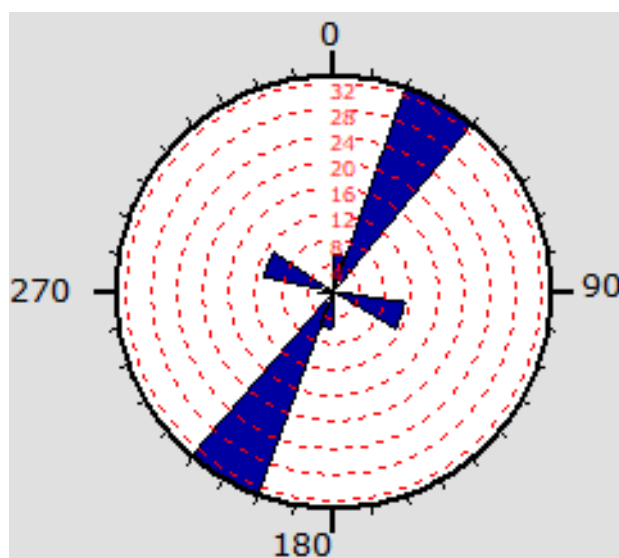


Figura 18: Roseta de falhas inversas.

#### 4.5.4. Juntas

As juntas são as estruturas mais numerosas dentre as estruturas descritas, contabilizando um total de 386 descontinuidades ao longo da área de estudo. As direções preferenciais ocorrem tanto nos quadrantes NW e NE variando desde NS a EW. Pontualmente duas direções apresentam maior concentração de estruturas: N20-40E e N40-60W (Figura 19).

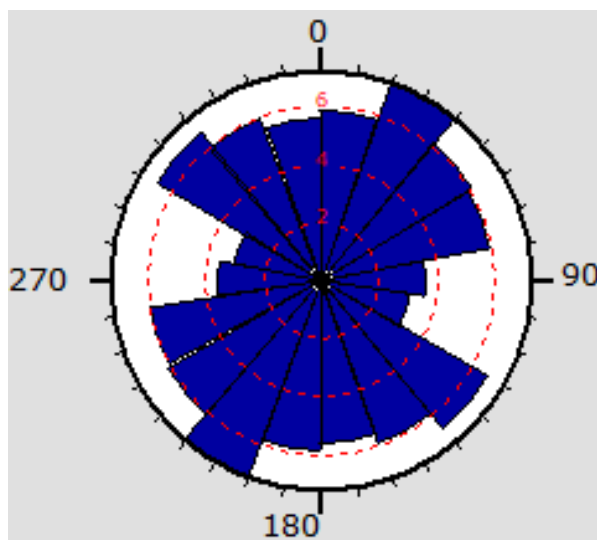


Figura 19: Roseta de fraturas.

#### 4.6. Tensores

Na análise de tensores foram subdivididas as análises entre cada conjunto de dados obtidos (dados de Farias *et al.* (2022) e Nascimento *et al.* (2013) e depois analisados combinando-se os dois conjuntos de estruturas em um banco de dados único. Foram encontradas três direções principais de  $SH_{max}$  e  $Sh_{min}$ , associados a reativações de falhas transcorrentes sinistras e dextras (Figura 20).

A direção de  $SH_{max}$  WNW-ESE e  $Sh_{min}$  NNE-SSW foi encontrada na análise conjunta e independente de cada banco de dados. Nos dados de Farias *et al.* é associada à compressão em WNW-ESE com reativação de falhas transcorrentes NE dextras, e falhas transcorrente NW sinistras, correspondendo respectivamente às falhas R, P e R' do sistema Riedel. Nos dados de Nascimento *et al.* (2013) a resposta a esta tensão é evidenciada pela reativação de falhas transcorrentes NE como dextras e fraturas EW, correspondendo às estruturas R e T do Riedel.

Em  $SH_{max}$  WNW-ESE e  $Sh_{min}$  NNE-SSW os dados de Farias *et al.* (2022) apresentam reativação sob compressão em WNW-ESE com reativação de falhas

transcorrentes NE como dextrais e falhas NS e NW como transcorrências sinistras, correspondendo às falhas R' e R e P, respectivamente. Em Nascimento *et al.* (2013) é possível identificar a reativação das falhas NW como sinistras, correspondendo a R e P.

O pulso com  $SH_{max}$  em NNW-SSE e  $Sh_{min}$  em WNW-ESSE foi identificado somente nos dados de Farias *et al.* (2022) correspondendo à reativação de falhas NE como sinistras e falhas NW como dextrais, correspondendo as falhas R', P e R do sistema Riedel. Na análise conjunta dos dados é possível ver que os resultados das três direções de esforços se mantêm, sendo o pulso NNE-SSW uma generalização para os dados de Farias *et al.* (2022). Os pulsos e reativações estão resumidos na Tabela 3.

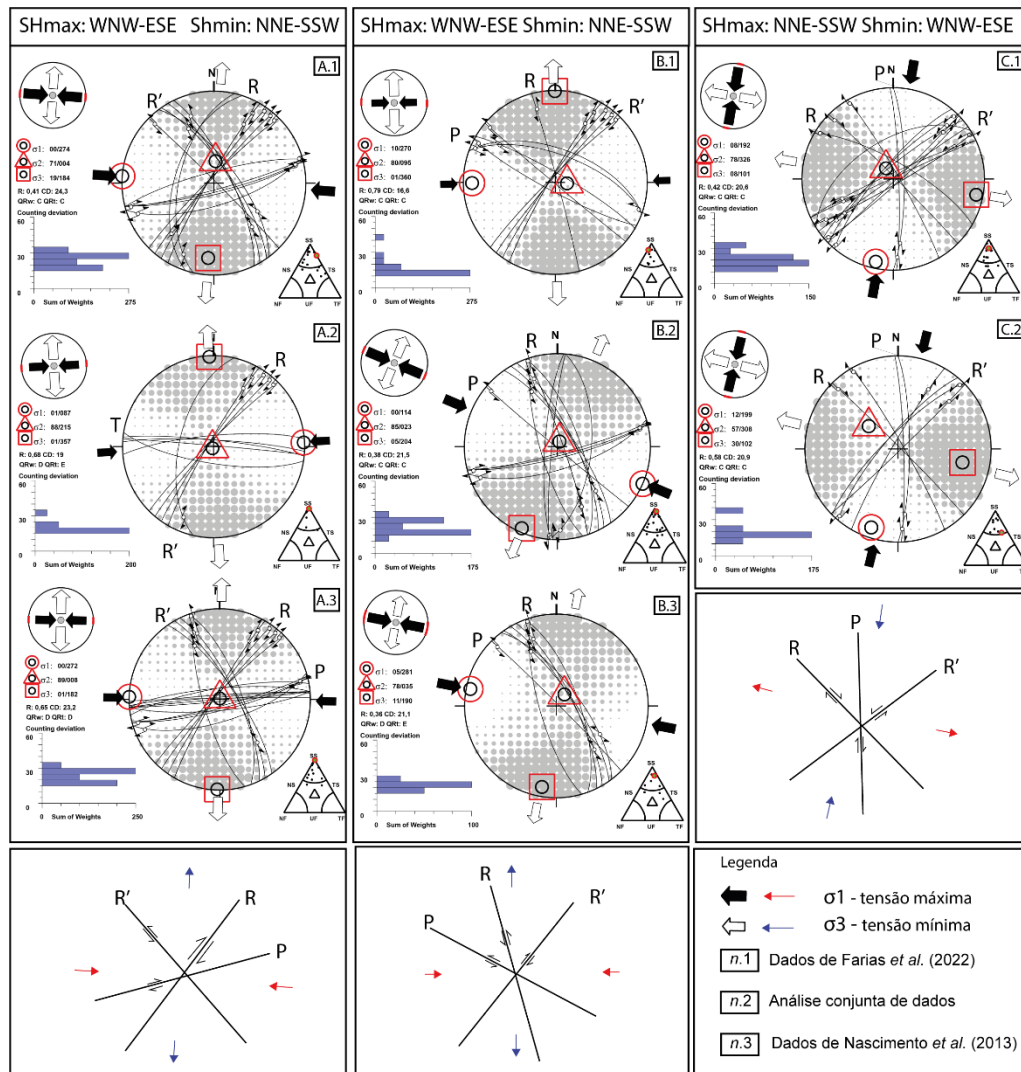


Figura 20: Direções dos pulsos de deformação e sistema Riedel associado. A) Direção WNW-ESE; B) Direção WNW-ESSE; C) Direção NNE-ESE.

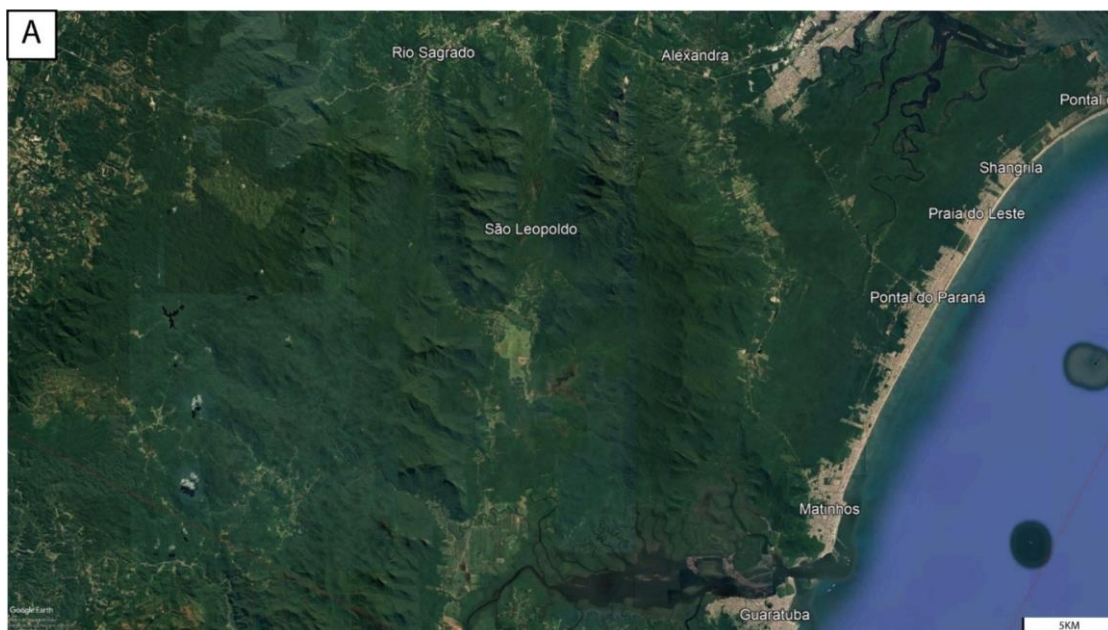
Tabela 3: Pulsos tectônicos.

<b>PULSOS</b>	<b>SH<sub>MAX</sub></b>	<b>SH<sub>MIN</sub></b>	<b>REATIVAÇÃO</b>
<b>1</b>	WNW-ESE	NNE-SSW	NE – dextrais NW -sinistrais
<b>2</b>	WNW-ESE	NNE-SSW	NE – dextrais NW - sinistrais
<b>3</b>	NNW-SSE	WNW-ESSE	NE – sinistrais NW - dextrais

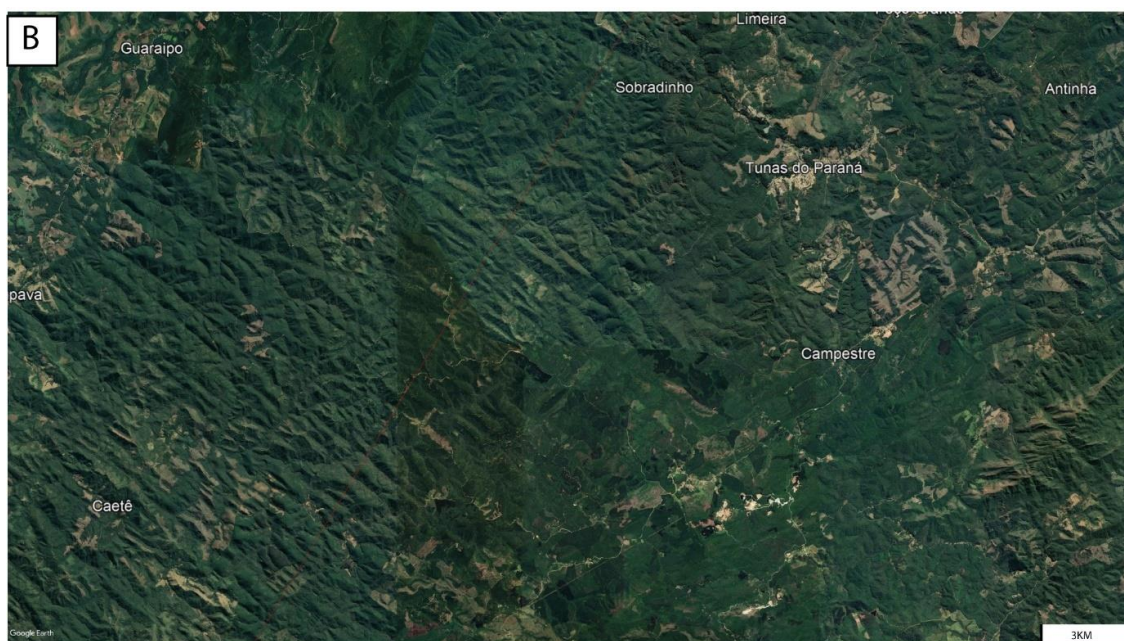
## 5. DISCUSSÃO

O relevo da área de estudo apresenta forte influências dos lineamentos NE e NW sobre o relevo. Todas as unidades morfométricas analisadas: Terreno Apiaí, Terreno Curitiba, Serra do Mar e Planície Costeira demonstraram que a estruturação do relevo é resultado dos esforços regionais. Em todas as unidades foi possível observar a prevalência dos lineamentos NE como a principal direção estrutural, na qual os lineamentos apresentam maior comprimento e influência nas drenagens de maior ordem. Os lineamentos NW e EW são a segunda direção de lineamentos com maior frequência e influência na formação de escarpas alinhadas e influência nos padrões de drenagem de menor ordem.

É possível observar a diferentes expressões da estruturação geomorfológica das unidades, sendo as unidades do Terreno Apiaí e Curitiba as que apresentam maior variação de frequências de direções nas estruturas, apresentando quantidades significativas de lineamentos variando dentro de um mesmo quadrante. Em contrapartida as unidades Planície Costeira e Serra do Mar apresentam maiores frequências de lineamentos N40-50W e N10-20E (Figura 21-A).

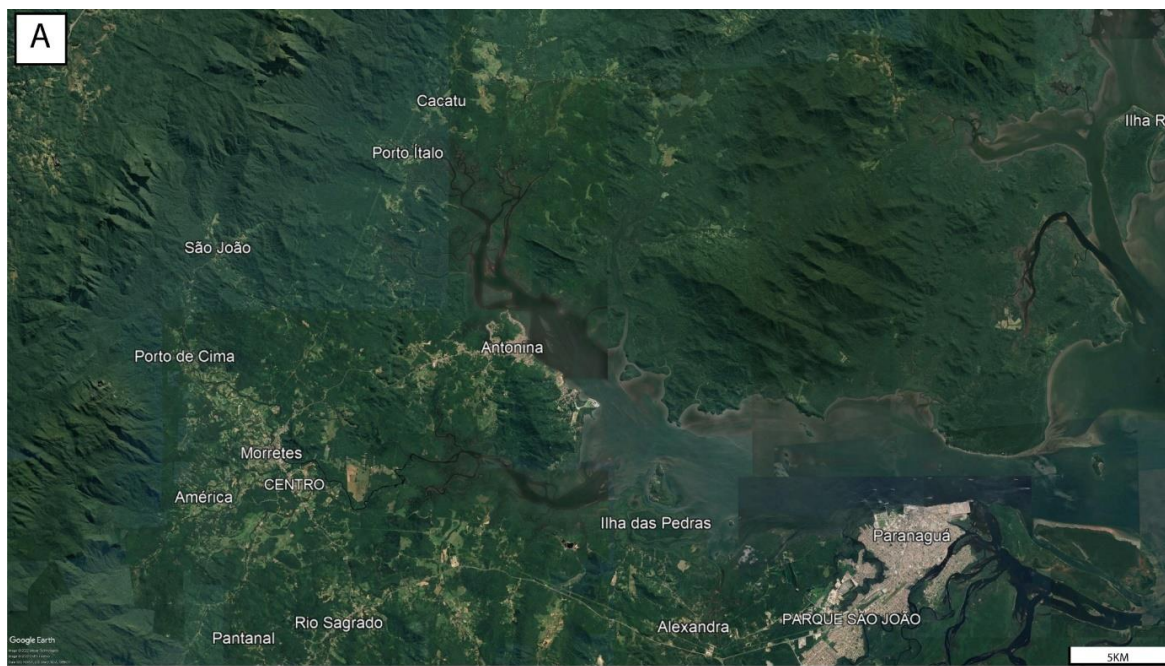


**Figura 21-A: Relevo região de estudo. A) Ponta do Paraná. Fonte: Google Earth.**

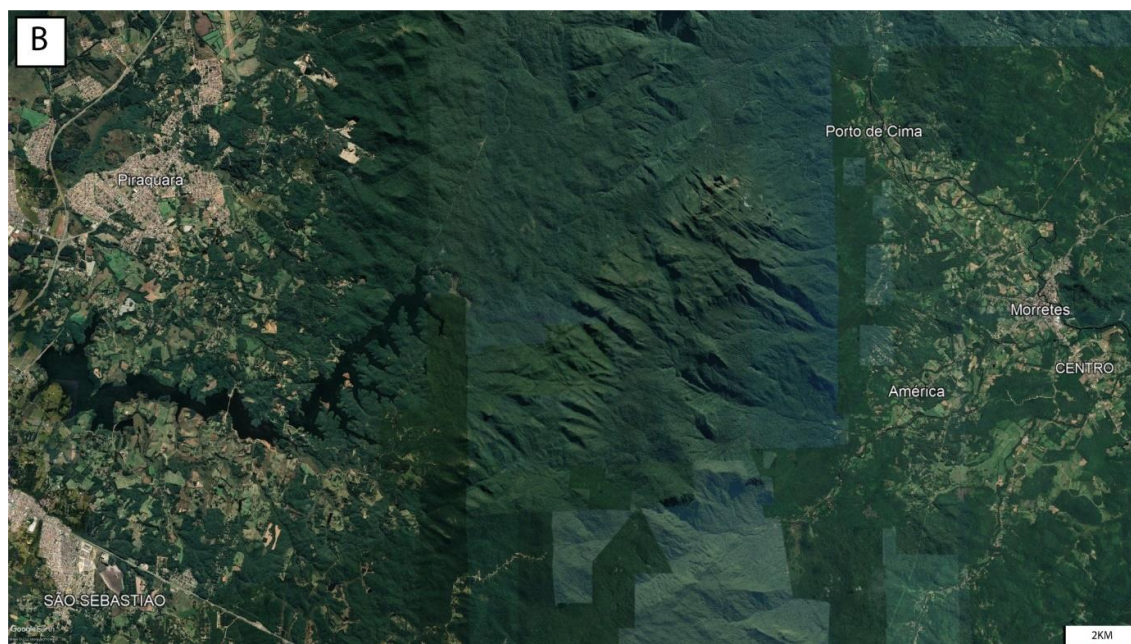


**Figura 21-B: Relevo região de estudo. B) Tunas do Paraná. Fonte: Google Earth.**

A unidade que apresenta a maior influência estrutural no relevo é a unidade da Serra do Mar, na qual a frequência e comprimento dos lineamentos apresentam os maiores números (Figura 22-A, 22-B).



**Figura 22-A: Relevo região de estudo. A) Baía de Paranguá. Fonte: Google Earth.**



**Figura 22-B: Relevo região de estudo. B) Morretes. Fonte: Google Earth.**

Esta unidade foi estudada por Nascimento *et al.* (2013), em análise morfométrica e estrutural detalhada da Serra do Mar no Paraná, definindo a atividade tectônica recente o principal fator influenciador da dinâmica evolutiva do terreno. Os autores classificam as falhas NE como as responsáveis pela orientação dos rios principais e formação das principais feições montanhosas de grande escala. e definem seis lineamentos estruturais NE, que reativados durante a tectônica distensiva, seriam

responsáveis pelas principais feições morfométricas e modificações nos principais rios regionais. As falhas EW e NW compõem as direções de deformações com segmentação de depósitos recentes e influências nos padrões de drenagens e quebras de relevo (*knickpoints*) (Figura 23).

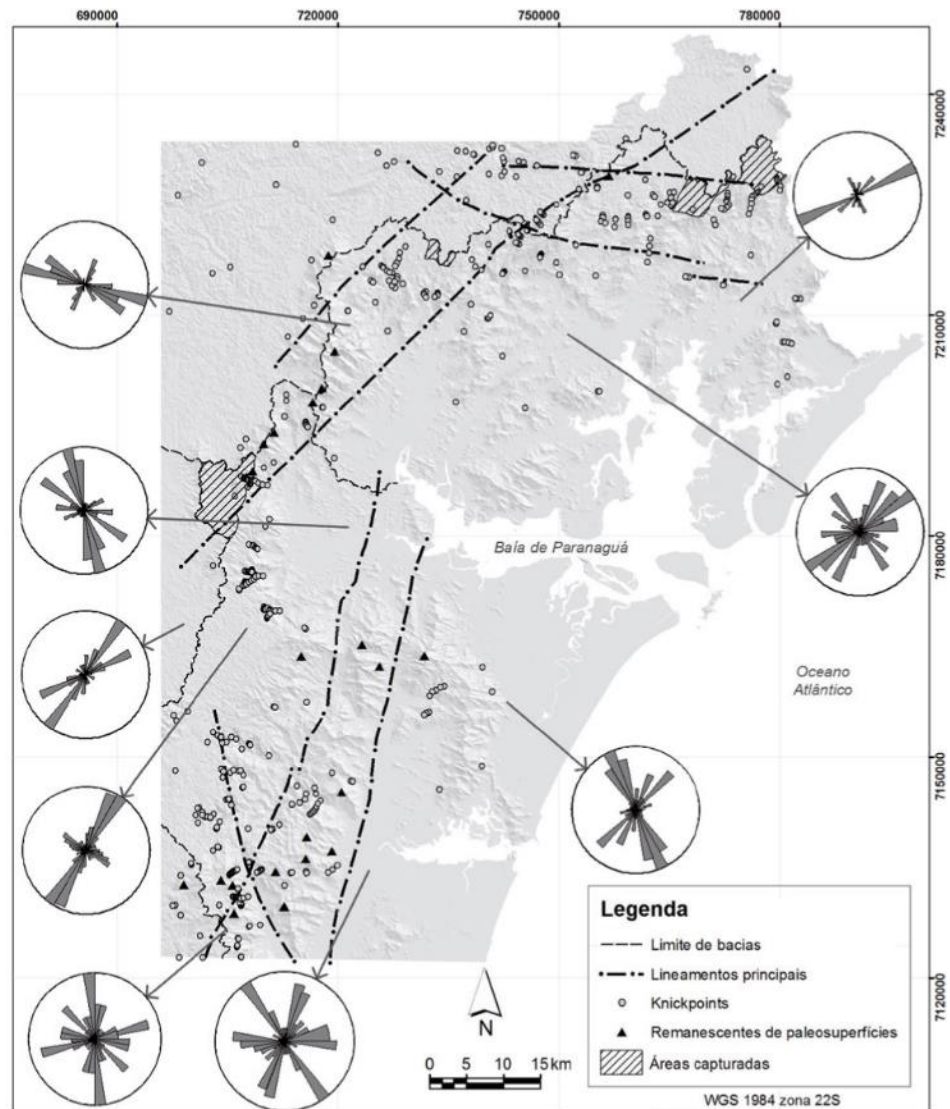


Figura 23: Feições morfométricas descritas por Nascimento *et al.* (2013). Fonte: Nascimento *et al.* (2013).

Nascimento *et al.* (2013) também apontam as diferentes características da estruturação do relevo de acordo com a unidade geológica afetada. Os autores apontam que nos terrenos graníticos da Serra do Mar as drenagens apresentam menor densidade e maior controle direcional segundo os diques, em contraste das unidades paleoproterozoicas do Terreno Curitiba que apresentam menor densidade de drenagens de direções variadas.

Na análise de tensores foram encontradas três orientações principais para  $\sigma_1$ , duas direções variando entre WNW-ESE com reativações de falhas transcorrentes NE e NW com cinemática dextral e sinistral. A segunda direção de  $\sigma_1$  se concentra em NNE-SSW com reativação das falhas NE sinistrais e NW dextrais.

A análise cinemática apresentada por Farias *et al.* (2022), foram definidos quatro pulsos tectônicos correlacionados à reativações de estruturas do Arco de Ponta Grossa: a) extensão NW com  $\sigma_1$  empinado a vertical e reativação de falhas normais NE-SW; b) compressão NE-SW a EWE-WSW reativando transcorrências dextrais e WNW-ENE sinistrais; c) NNW-SSE compressão associada a falhas sinistrais NE-SW, e dextrais NW-SE e WNW-ESSE; d) WNW-ESSE compressão associada com falhas dextrais NE-SW e NW-SE sinistrais. Os pulsos II, III e IV correspondem às três direções encontradas na análise apresentada no presente trabalho. As idades que os autores definem para os pulsos são Oligo-Mioceno, Plio-pleistoceno e Pleistoceno-Holoceno, respectivamente.

Na análise de Nascimento *et al.* (2013) a direção de tensão principal: NW-SE e NNW-SSE em regime transcorrente com reativação de falhas N70E. Os autores definem os pulsos tectônicos durante o Neógeno, reativando as falhas NE em regime de transtensão dextral e transtensão sinistral.

Em estudos realizados na região do Arco de Ponta Grossa na região do município de Telêmaco Borba, além do limite oeste desta área de estudo, Strugale *et al.* (2007) e Rivas *et al.* (2019) analisaram a morfometria e estruturas associadas ao Arco de Ponta Grossa. Strugale *et al.* (2007) define duas paleotensões atuantes como transtensionais caracterizadas por falhas transcorrentes, com  $\sigma_1$  em N10W do primeiro pulso e  $\sigma_1$  em N75E e N40W e bandas de deformação em arenitos de direção N50W no segundo pulso. Rivas *et al.*, (2019) descreve, também, dois pulsos deformacionais, o primeiro com  $\sigma_1$  em N10W de idade pós-cretácea e de característica transtensiva, e o segundo pulso com  $\sigma_1$  em E-W, também transtensivo e de idade entre o Neógeno e Pleistoceno.

Outros autores também apontam para as mesmas direções de paleotensões na região do leste paranaense. Chavez-Kus & Salamuni (2008) e

Salamuni (1998) também descrevem as paleotensões com  $\sigma_1$  orientado em NS e EW durante o Neógeno.

## 6. CONCLUSÕES

A região do Arco de Ponta Grossa, entre os lineamentos São Jerônimo Curiúva e Rio Alonzo mostram que o relevo regional é condicionado por lineamentos estruturais de direções NNE-SSW e NNW-SSE e diques de direção NW. Estes lineamentos apresentam frequências principais orientadas para N40-60W e N40-60E, com menor frequência de estruturas orientadas para NS e EW. Em termos de geomorfologia são responsáveis pela orientação do relevo da área de estudo sendo os lineamentos NE as direções principais de estruturação principalmente na região leste da área de estudo, no domínio da Serra do Mar. As direções NW são a direção de orientação de drenagens de menor ordem, e de formação de feições trapezoidais e erosivas no relevo. É visível a compartimentação da região de estudo em unidades morfométricas, nas quais as expressões das estruturas apresentam diferentes características. Nas unidades Serra do Mar e Planície Costeira o controle estrutural sobre o relevo da região é intensamente orientado para NE e NW, enquanto nos Terrenos Curitiba e Apiaí os lineamentos NE apresentam maior influência no relevo, enquanto diques são as estruturas NW de maior expressividade.

A partir da análise estrutural utilizando-se dados de falhas transcorrentes, fraturas e falhas normais, foi possível caracterizar os três pulsos de deformação transtensionais na área de estudo:  $\sigma_1$  em WNW-ESE reativando falhas NE dextrais e falhas NW sinistrais;  $\sigma_1$  em NNE-SSW reativando falhas NE sinistrais e falhas NW dextrais;  $\sigma_1$  em WNW-ESE reativando falhas NE dextrais e falhas NW sinistrais. Associando os pulsos encontrados com os descritos pela literatura é possível definir que as reativações de falhas ocorreram durante o Neógeno.

Considerando as feições analisadas do relevo e análise de tensores realizados é possível perceber que a região do Arco de Ponta Grossa é uma região de grande acomodação de esforços tectônicos recentes, pós-cretácicos, com influência na morfologia do terreno, expressas de acordo com as características reológicas da região.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F.M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 241:36.
- Almeida F.F.M., Amaral G., Cordani U.G., Kawashita K. 1973. The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River In: Nairn E.M., Stehli F.G. (eds.). The Ocean basins and margins. New York, Plenum, p. 411-446. DOI:10.1007/978-1-4684-3030-1\_11
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth-Science Reviews, 17(1/2):1-29. DOI:10.1016/0012-8252(81)90003-9
- Almeida, F. F. M. de; Brito N., Benjamim B. de; Dal Ré Carneiro, C. The origin and evolution of the South American Platform, Earth-Science Reviews, v. 50, n. 1, p. 77–111, 2000. DOI: 10.1016/s0012-8252(99)00072-0
- Atlas geomorfológico do Estado do Paraná Escala base, 1:250.000 modelos reduzidos 1:500.00 / Minerais do Paraná - MINEROPAR; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.; il.
- Banco de dados ALOS PALSAR – DEM 2007. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acessado em 25 de junho de 2022.
- Basei M.A.S., Siga Jr. O., Machiavelli A., Mancini F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR - SC). Revista Brasileira de Geociências,22(2):216-221.
- Campanha, G.A.C. & Sadowski, G.R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiáí Domain). Precambrian Research, v. 98, p. 31-51, 1999. DOI:10.1016/S0301-9268(99)00027-3
- Chavez-Kus, L.; Salamuni E. 2008., Evidência de tensão N-S intraplaca no Neógeno, Complexo Atuba- região de Curitiba. Revista Brasileira de Geociências. 38(3):439-454. DOI:10.25249/0375-7536.2008383439454

Coutinho, José Moacyr Vianna, Enxame de diques da junção tríplice do Paraná, Brasil meridional, Geologia USP. Série Científica, v. 8, n. 2, p. 28–52, 2008. DOI:10.5327/Z1519-874X2008000200003

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Folha de Curitiba – SG22-X-D. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acessado em 10 de agosto de 2022.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Levantamento Magnetométrico Folha Curitiba-SG-22-X-D. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acessado em 10 de agosto de 2022.

Cury L.F. 2009. Geologia do Terreno Paranaguá. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 202 p. DOI:10/11606/t.44.2009.tde-06072009-113335

Delvaux, D., Sperper, B. Tensor program: WinTensor. Disponível em <https://damiendelvaux.be/Tensor/References/references.html>. Acessado em: 20 de junho de 2022.

Ferreira, F.J.F., 1982b. Alinhamentos Estruturais – Magnéticos da Região Centrooriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico – Reavaliação da Potencialidade e Prospectividade em Hidrocarbonetos. Consórcio CESP-IPT, pp. 144–166. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2008000300002>

Fiori, A.P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. São Paulo, 1990. 261p. Tese (Livre Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1990. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v23i0p55-74>

Franco-Magalhães, A.O.B.; Hackspacher, P.C.; Glasmacher, U.A.; Saad, A.R. 2010. Rift top pos-rift Evolution of a “passive” continental margin: the Ponta Grossa Arch, SE Brazil. Int J Earth Sci (Geol Rundsch). 99:1599–1613. DOI 10.1007/s00531-010-0556-8.

Nascimento. E.R., Salamuni, E., Queiroz, G.L., Silva, P.A.H., Fiori., A.P. 2013. Evidências de determinação morfotectônica e neotectônica no relevo da Serra do Mar

no Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geomorfologia, V14, n. 3. (jul-set), p.287-299.

Renne, P.; Deckart, K.; Ernesto, M.; Feraud, G.; Piccirillo, E. Age of the Ponta Grossa dyke swarm (Brazil) and implications to Paraná flood volcanism. Earth and Planetary Science Letters, v. 144, p. 199-211, 199. DOI:10.1016/0012-821X(96)00155-0

Riccomini, C.; Assumpção, M. 1999. Quaternary Tectonics in Brazil. Episodes, 22 (3):221-225. DOI:10.18814/epiiugs/1999/v22i3/010

Riccomini, C.; Sant'Anna, L. G.; Ferrari, A. L., 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R.; Brito Neves, B. B. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca. 383-405.

Sade, R. Salamuni, E., Françoso I.2019. Análise estrutural rúptil na zona de influência do Arco de Ponta Grossa: estudo de caso na área da UHE-Mauá – PR. Revista Geociências, v.38, n. 4, 9. 853-869. DOI:10.5016/geociencias.v38i4.14232

Salamuni, E.; Edert, H.D.; Borges, M, S.; Hasui, Y.; Costa, J.B.S.; Salamuni, R., 2003. Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, South of Brazil. South American Earth Sciences, EUA. 15 (8): 901- 910. DOI:10.1016/S0895-9811(03)00013-0

Strugale, M., Rostirolla, S.P., Mancini, F., Portela Filho, C.V., Ferreira, F.J.F., Freitas, R.C. 2007. Structural framework and Mesozoic-Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 24:203-227. DOI:10.1016/j.jsames.2007.05.003

Zalán, P.V.; Wolff, S.; Conceição, J.C.; Vieira, I.S.; Astolfi, M.A.M.; Appi, V.T., Zanotto, O.A., 1987. A divisão tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências. 7(3): 242-252.

Zalán, P. V. e Oliveira, J. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. Boletim de Geociências da PETROBRAS. 13(2):269-3

# ANEXO I: Mapa de declividade e hipsométrico

