

Trabalho de Conclusão de Curso Curso de Graduação em Geologia

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO TIETÊ, PORÇÃO
CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Priscila Rodrigues Correia da Silva

Orientador: Prof. Dr. Norberto Morales

Coorientador: Dr. Iata Anderson de Souza

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro

PRISCILA RODRIGUES CORREIA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO
TIETÊ, PORÇÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

S586c

Silva, Priscila Rodrigues Correia da

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO TIETÊ, PORÇÃO
CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO / Priscila Rodrigues Correia da Silva. --
Rio Claro, 2019

104 p. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual
Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Norberto Morales

Coorientador: Iata Anderson de Souza

1. Tectônica. 2. Reativação de Falhas. 3. Ambiente Intraplaca. 4. Tectônica
Transcorrente. 5. Lineamentos Continentais. I. Título.

PRISCILA RODRIGUES CORREIA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO
TIETÊ, PORÇÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Norberto Morales – DPM – IGCE (orientador)

Milena Cristina Rosa – PPG em Geociências e Meio Ambiente, IGCE

Saul Hartman Rifel - PPG em Geociências e Meio Ambiente, IGCE

Rio Claro, 18 de novembro de 2019

Assinatura do aluno

Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por toda oportunidade a mim concedida, por todas as bênçãos enviadas e por ter sido meu apoio nos momentos mais sombrios. Também agradeço a minha família pelo amor, cuidado e paciência, por nunca me abandonar nos momentos mais difíceis e se fazer presente mesmo a distância. Obrigada por acreditar em minha melhor versão, a meus pais Rosângela e Romulo, meu irmão Paulo Thiago, meus avós Ivana, Jonas e Maria, meus tios Paloma, Rosiane e Adriano, e sobrinhas Heloisa e Laura. Agradeço aos meus amigos que acreditaram em mim em todos os momentos que eu descreditei Karolliny Borssatto, Donalis Delgado, Bruna Prates, Jonathan Moura, Juliana Monteiro, Hiura Fernandes, Natan Trovó, André Ponce, Lara Agostini. A Ladyane Vieira, pelas palavras sábias, por saber como me acalmar, por me ouvir sempre que precisei desabafar, por trilhar lado a lado esse caminho e comemorar comigo cada pequena vitória. Um obrigada especial a minha república Isabela Aroli, Letícia Barbosa, Carla Roberta, Daniela Rocha, Ellen Soares, Beatriz Cavalheri, Fernanda Correia e Gisely Ribeiro, porque morar em grupo requer muita paciência e cuidado, com vocês encontrei um lar e me senti em casa. Ao José Gustavo pela oportunidade de estágio, dicas e conselhos. Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Norberto Morales pela oportunidade em desenvolver estudos junto a sua equipe, pela sabedoria transmitida, cautela em identificar os erros e paciência em me ensinar de novo e de novo, bem como para a orientação e revisão criteriosa do trabalho. Ao coorientador Dr. Iata Anderson de Souza por todas as dicas e discussões construtivas referente a pesquisa. À FUNDUNESP, pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não seria possível. Por fim, agradeço a todos que cruzaram meu caminho ao longo destes anos e de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento.

RESUMO

Na porção central do Estado de São Paulo são observados traços principais do substrato rochoso que marcam estruturas com orientação preferencial NW-SE. Entre estas estruturas, destaque para o Lineamento Tietê, com forte orientação NW-SE e estruturas marcadas desde o Planalto Ocidental até os terrenos pré-cambrianos do território paulista. O objetivo desta pesquisa foi investigar as estruturas em uma área compreendida entre as cidades de Piracicaba e Itu, buscando reconhecer a orientação principal dos planos de falhas e tipos de movimentos associados. Pela caracterização da geometria, atitudes dos planos de falhas e estrias, sentido de movimento e compartimentação em blocos, além das juntas, foi realizada a análise do fraturamento associado ao Lineamento Tietê. As estruturas relacionadas ao Lineamento Tietê têm os traços de orientação predominante NW-SE bem marcadas por feições geomorfológicas de relevo e de drenagem. Como resultado foram reconhecidas falhas e juntas com predomínio de orientação também NW-SE, que na região de Itu se ajustam a um sistema transcorrente dextral com segmentos transtensivos e transpressivos associados. Na região de Saltinho, os traços se ajustam a um sistema de falhas normais relacionadas a estruturas regionais, como grabens e horstes. A projeção dos traços de falhas do embasamento para o interior da Bacia do Paraná é um forte indicativo do papel dessas estruturas na evolução tectônica regional, indicando possíveis reativações. O quadro estrutural geral obtido com o trabalho aponta para a existência de importante zona de fraturas associada ao Lineamento Tietê.

Palavras-chaves: Tectônica. Reativação de Falhas. Ambiente Intraplaca. Tectônica Transcorrente. Lineamentos Continentais.

ABSTRACT

In the central portion of the São Paulo State there are major features of the rocky substrate that mark structures with preferential orientation NW-SE. Among these structures, the highlight is the Tietê Lineament, with strong NW-SE orientation and marking the landscape from the Western Plateau to the precambrian basement rocks of São Paulo territory. The objective of this research was to investigate the structures into an area comprised between the cities of Piracicaba and Itu, seeking to recognize the main orientation of faults and associated movement types. Using the characterization of the geometry, attitudes of the faults planes and striations, sense of movement and block compartmentation, besides the joints, the fracturing analysis associated with the Tietê Lineament was performed. Structures related to the Tietê Lineament have the NW-SE predominant orientation well marked by relief and drainage geomorphological features. As a result, faults and joints with a NW-SE predominance of orientation were also recognized and in the Itu region fit into a dextral transcurrent system with associated transtensive and transpressive segments. In the Saltinho region, recognised structures fit to a normal faults system related to regional structures such as grabens and horsts. The projection of basement fault traces into the Paraná Basin is a strong indication of the role of these structures in regional tectonic evolution, indicating possible reactivations. The general structural framework obtained with this work points to the existence of an important fracture zone associated with the Tietê Lineament.

Palavras-chaves: Tectonics. Fault Reactivation. Intraplate Environment. Transcurrent Tectonics. Continental Lineaments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudos evidenciada e vias de acesso principais da região	15
Figura 2. Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano	18
Figura 3. Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro / Limeira / Piracicaba (SP)	19
Figura 4. Traços de falhas regionais do Pré-Cambriano que incidem sob a Bacia do Paraná na região de Itu e Salto – SP	27
Figura 5. Mapa de contorno estrutural do topo do Grupo Itararé, com indicação dos principais altos estruturais	28
Figura 6. Área de estudo evidenciada e o Alinhamento Tietê segundo Coimbra et al. (1997), Riccomini, (1995) e Saad, (1977)	30
Figura 7. Mapa sombreado, com iluminação de 45°, elevação de 45°, resultado da aplicação do filtro Butterworth para fontes com profundidades maiores que 1500 metros. Em amarelo encontram-se os traçados dos lineamentos gravimétricos	32
Figura 8. Localização das seções escolhidas para elaboração de modelos gravimétricos. Os traços azuis representam os lineamentos estruturais que incidem na área de estudo	32
Figura 9. Modelagem gravimétrica da seção CD de direção NE-SW	33
Figura 10. Relação entre os alinhamentos locais e o alto estrutural interpretado para a área de estudo	33
Figura 11. Encaixe dos canos PVC para montagem da “tela” móvel. A) Confecção da tela móvel; B) Tela móvel sobre linha 1 pronta para o início da aquisição fotográfica	37
Figura 12. Representação esquemática do caminhamento feito com a tela em campo ao longo do afloramento	38
Figura 13. Coleta de dados estruturais com o uso da bússola Clar	38
Figura 14. A) Detalhe para Granitos (LN_PRI_05); B) Xenólitos em Granitos (LN_PRI_05)	40

Figura 15. Ortognaisses migmatíticos pertencentes ao Complexo Varginha de-Guaxupé. A) Afloramento de ortognaisses migmatíticos cerca de 7m de altura (LN_PRI_02); B) e C) Detalhe para bandamento composicional de ortognaisses migmatíticos (LN_PRI_02)	41
Figura 16. A) Esfoliação esferoidal em Granitos Alcalinos do tipo A (LN_PRI_01); B) Epidotização em granito cataclasado em zona de falha (LN_ITU_06)	42
Figura 17. Afloramentos do Grupo Itararé. A) Ritmito na base, em contato com diamictito e arenito grosso maciço no topo, matacão de granito com cerca de 50 cm no centro; (LN_ITU_05); B) Detalhe para facie diamictito com seixo facetado de granito, imerso em matriz arenosa (LN_PRI_10); C) Detalhe para arenito conglomerado, seixo arredondado com auréola de oxidação no centro (LN_ITU_25)	43
Figura 18. Afloramentos do Grupo Itararé. Arenito grosso com estratificação cruzada acanalada em vermelho camada de seixos arredondados (LN_PRI_32)	43
Figura 19. Afloramentos do Grupo Itararé. Arenito médio com estratificação cruzada acanalada (LN_PRI_11)	44
Figura 20. Afloramento do Grupo Itararé. A) Ritmito localizado no Parque do Varvito em Itu (LN_ITU_01); B) Argilito de coloração amarelo avermelhada (LN_PRI_08); C) Siltito de coloração creme a cinza esverdeada, com estratificação plano-paralela, totalmente pastilhados. No topo a cima da linha amarela, horizonte saprolítico (LN_ITU_02)	44
Figura 21. Localização da área de estudo, Parque Estadual do Varvito	45
Figura 22. Calhau de Quartzito deformando camadas e lâminas do Varvito	46
Figura 23. Arenito fino a grosso mal selecionado pertencente ao Grupo Guatá Formação Tatuí (LN_PRI_28)	47
Figura 24. Localização da área de estudo, Pedreira Calcário Amaral Machado Mineração	48
Figura 25. Cava da Pedreira Calcário Amaral Machado Mineração (LN_CAL_01), frente de lavra com cerca de 9 metros de altura	48

Figura 26. A) Afloramento de diabásio do Grupo São Bento com cerca de 7 metros de altura (LN_PRI_26); B) Processo de cloritização (LN_PRI_26)49

Figura 27. Afloramento da Formação Itararé, com diamictito na base, em contato com siltito avermelhado e recoberto por depósitos cenozoicos no alto do afloramento (LN_PRI_15). A) Camada de cascalhos dispersos na superfície e mal selecionadas; B) Contato entre diamictito e siltito; C) Superfície de laterização50

Figura 28. Mapa de curva de nível e drenagem 53

Figura 29. Diagrama de roseta produzidos com auxílio do software AutoCad e CorelDraw X6 a partir de estruturas lineares obtidas em MDT55

Figura 30. Traços de falhas regionais com direção principal NW-SE e NE-SW e altos estruturais localizados na área de estudos56

Figura 31. Estereograma referente a medidas realizadas no embasamento cristalino); A) Projeção ciclográfica de 92 falhas; B) Projeção estereográfica polos de 217 medidas de juntas (projeção no hemisfério inferior)58

Figura 32. Afloramento do embasamento pré-cambriano. A) Foliação milonítica em granito; B) Plano de falha marcado por estrias em granito; C) Bandamento composicional fraturado com deslocamento milimétrico; D) Plano de falha marcado por estrias em ortognaisses migmatíticos59

Figura 33. Estereogramas das falhas normais, inversas, transcorrentes dextral e sinistral e suas respectivas estrias, do embasamento. A) Projeção ciclográfica da falha normal e respectiva estria; B) Projeção ciclográfica das falhas inversas e respectivas estrias; C) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes dextral e respectivas estrias; D) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral e respectivas estrias60

Figura 34. Estereogramas referente a medidas realizadas no Grupo Itararé (projeção no hemisfério inferior); A) Projeção estereográfica representando polos de 195 falhas; B) Projeção estereográfica representando polos de 655 medidas de juntas61

Figura 35. Estereogramas das falhas normais, inversas e transcorrentes dextral, e suas

respectivas estrias, referentes as medidas realizadas na Bacia do paraná. A) Projeção ciclográfica das falhas normais e respectivas estrias; B) Projeção ciclográfica das falhas inversas e respectivas estrias; C) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes dextrais e respectivas estrias62

Figura 36. Medidas extraídas de fraturas que formam uma estrutura tipo flor negativa em paredão do Varvito64

Figura 37. Imagem panorâmica da Linha 1 (direita) e 2 (esquerda) onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso65

Figura 38. Linha 1, onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso. A direita, esquema. de moviment  o do levantamento sistemático com a tela em campo66

Figura 39. A) e B) Arranjo geométrico das fraturas observadas em superfície, falhas secundárias (em preto) associadas a falha principal (em amarelo), formando estruturas em echelon e sigmoides; C) em vermelho preenchimento de calcita em falha principal; D) Medidas extraídas de sigmoide (em preto) associadas à falha principal (em amarelo)67

Figura 40. Linha 2, onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso. Detalhe para fraturas escalonadas em arranjo échelon, representadas por pequenas falhas normais associadas a zona transcorrente dextral. Abaixo a esquerda exemplo de moviment  o do levantamento sistemático com a tela em campo68

Figura 41. A) e B) Vistas de falha principal em superfície, destaque para estrias (em vermelho); C) e D) Preenchimento de calcita em falha principal (em vermelho)69

Figura 42. Estereogramas com polos dos planos de fratura e seus contornos. A) Flor negativa em paredão do Parque do Varvito, com orientação preferencial N45W/subvertical; B) e C) Linha 1 e 2 respectivamente, referentes às medidas de fraturas da superfície no piso, orientação preferencial N45W/subvertical, variando de N50W a N41W associado a outra família secundária NE-SW e uma terceira E-W70

Figura 43. Paredão rochoso com Plano de Falha N52W (Formação Irati na base em contato

<i>com Formação Corumbataí no topo)</i>	71
Figura 44. <i>Paredão rochoso com Plano de Falha N52W (Formação Irati na base em contato com Formação Corumbataí no topo)</i>	72
Figura 45. <i>Talude principal da cava, com acentuado fraturamento subvertical e falha normal de pequeno rejeito, inclinada para o lado esquerdo da foto (Falha N38W/65NE). No topo, Formação Corumbataí e cobertura arenosa</i>	73
Figura 46. <i>A) Detalhe do plano de falha no talude principal e B) Zona de brecha ao longo do plano de falha</i>	73
Figura 47. <i>A) e B) Hidrocarboneto em fraturas na região de falha</i>	74
Figura 48. <i>A) Frente de lavra, afloramento da Formação Irati – Membro Assistência; B) Falha 2, com 3m de rejeito, colocando lado a lado rochas com idades diferentes; C) Lente de silexito; E) Hidrocarbonetos em planos de fraqueza; D) Brecha milonitizados de calcário dolomítico</i> da Formação Irati	75
Figura 49. <i>Caracterização esquemática da Falha 2. A) Detalhe da falha principal com 3 metros de rejeito; B) Detalhe de zona brechada com 10 cm de espessura; C) Detalhe para Brecha e Zona de Fratura impregnada de Hidrocarboneto; D) Detalhe para Zona de Fratura</i>	76
Figura 50. <i>A) Estereograma referente a 52 medidas de planos de falhas, com orientação preferencial N45W/60SE e N20W/72SW; B) Estereograma referente a 169 medidas de plano de fraturas, com orientação preferencial N40W/vertical</i>	77

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	13
2.2.	<i>Gerais</i>	13
2.3.	<i>Específicos</i>	13
3.	JUSTIFICATIVA.....	14
4.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	14
4.1	<i>Contexto Fisiográfico</i>	14
4.2.1	<i>Vias de Acesso</i>	15
4.2.2	<i>Rede de Drenagem</i>	16
4.2.3	<i>Tipos de Relevo</i>	16
4.2.4	<i>Solo</i>	17
5.	CONTEXTO REGIONAL	17
5.1	<i>Contexto Geológico Regional da Bacia do Paraná</i>	17
5.2	<i>Contexto Estratigráfico Regional</i>	19
5.2.1	<i>Embasamento</i>	20
5.2.2	<i>Grupo Itararé</i>	20
5.2.3	<i>Grupo Guatá</i>	20
5.2.4	<i>Grupo Passa Dois</i>	21
5.2.5	<i>Grupo São Bento</i>	22
5.2.6	<i>Depósitos Cenozóicos</i>	24
5.2.7	<i>Depósitos Cenozóicos Indiferenciados</i>	24
5.2.8	<i>Depósitos Quaternários</i>	25
5.3	<i>Contexto Estrutural Regional</i>	25
5.4	<i>Quadro Tectônico Regional dos Altos Estruturais de Pau d' Alho, Jibóia e Anhembi</i>	27
5.4.1	<i>Lineamento Tietê</i>	29
5.4.2	<i>Síntese de Levantamentos e Estudos Gravimétricos</i>	31
5.4.3	<i>Considerações sobre o quadro neotectônico</i>	34
6.	MÉTODOS E ATIVIDADES.....	34
6.1	<i>Etapa pré-campo</i>	34
6.1.1	<i>Preparação de mapas base</i>	35
6.1.2	<i>Digitação, georreferenciamento dos mapas em base ARCGIS</i>	35
6.1.3	<i>Mapa de drenagem e topográfico</i>	35
6.1.4	<i>Mapa de lineamentos</i>	35
6.1.5	<i>Mapa geológico</i>	36
6.1.6	<i>Confecção dos Estereogramas</i>	36
6.2	<i>Etapa de Campo</i>	36

6.2.1	<i>Materiais utilizados durante a visita ao Parque Estadual do Varvito – ITU</i>	37
6.3	<i>Etapa Pós-Campo</i>	39
6.3.1	<i>Monografia</i>	39
6.3.2	<i>Produção Científica</i>	39
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
7.1	<i>Unidades litoestratigráficas da área estudada</i>	39
7.1.1	<i>Embasamento Cristalino Pré-Cambriano</i>	40
7.1.2	<i>Grupo Itararé</i>	42
7.1.3	<i>Grupo Guatá</i>	46
7.1.4	<i>Grupo Passa Dois</i>	47
7.1.5	<i>Grupo São Bento</i>	49
7.1.6	<i>Depósitos cenozoicos</i>	49
7.2	<i>Elementos Geomorfológicos-Estruturais Da Paisagem</i>	51
7.1.2	<i>Rede de Drenagem e Topografia</i>	51
7.1.2	<i>Análise dos Lineamentos</i>	54
7.1.3	<i>Análises do Mapa Estrutural Integrado</i>	55
7.3	<i>Contexto Geológico Estrutural Local</i>	57
7.3.1	<i>Domínio Pré-Cambriano</i>	57
7.3.2	<i>Domínio Fanerozoico</i>	60
7	CONCLUSÃO	79
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE I		Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE II		Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE III		Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE IV		Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE V		Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE VI		Erro! Indicador não definido.

1. INTRODUÇÃO

Na porção central e sudeste do Estado de São Paulo são encontradas feições estruturais que apresentam orientação principal NW-SE nos terrenos pré-cambrianos, nas bacias paleozoica, mesozoica e nas coberturas cenozoicas. Estas feições estão refletidas no substrato rochoso e são representadas por estruturas fortemente condicionadas por traços morfotectônicos regionais, como por exemplo, o alto estrutural de Pitanga e o Horst Pau D'Alho; os domos de Jibóia e Ártemis; além de relevos topograficamente alinhados, rios estruturalmente condicionados e capturas de drenagens (FULFARO & SUGUIO, 1968; RICCOMINI, 1992).

Segundo Melo *et al.* (1985) durante o Mesozoico destaca-se intenso tectonismo que reativou as zonas de cisalhamento pré-cambrianas, essa reativação ocorreu com diferentes movimentos e sentidos ao longo da história evolutiva da Bacia do Paraná. A reativação desta zona de cisalhamento teve resposta nos terrenos pré-cambrianos, nas bacias paleozoica e no controle das bacias cenozoicas, o que permitiu a intrusão de diques de diabásio, fortemente controlados pela estrutural da área (RICCOMINI, 1989; ZALÁN *et al.*, 1987).

Estruturas rúpteis associadas a este quadro deformaram os conjuntos estratigráficos de idade mais antiga a ele na Bacia do Paraná, criando forte controle estrutural na morfologia do estado de São Paulo. Entre estas feições estruturais, destaca-se o Lineamento Tietê, foco deste trabalho, com forte orientação NW-SE e traços marcados desde o Planalto Ocidental até os terrenos pré-cambrianos do território paulista (RICCOMINI, 1995).

2. OBJETIVOS

2.2. Gerais

O objetivo deste trabalho é reconhecer zonas de fraturas regionais e continentais associadas a direção principal NW-SE e ao traço do Lineamento Tietê, visando caracterizar o quadro estrutural geométrico destas estruturas regionais e possíveis feições de reativação associadas.

2.3. Específicos

A pesquisa visa identificar e documentar as feições estruturais planares e lineares, como planos de falhas, estrias e sentido de movimento, classificá-las de acordo com critérios de análise estrutural, reconhecer rochas de zonas de falhas e demais traços estruturais associados.

Além disso, o trabalho buscou reconhecer e caracterizar a evolução tectônica para a região compreendida entre Piracicaba, Jundiaí, Salto e Itu, localizadas no centro e sudeste do estado de

São Paulo, desde a sua implantação até os seus estágios mais recentes.

3. JUSTIFICATIVA

O estudo proposto fornecerá inúmeros subsídios para diversas frentes de atividade, como a estabilidade geológica regional, visto que a área em análise está localizada entre centros urbanos, podendo fornecer subsídios na implantação de grandes obras de engenharia.

A escolha do estudo e caracterização do Lineamento Tietê se deve a representatividade tectônica e sedimentar da região, dispondo de considerável acervo bibliográfico a respeito do controle estrutural de diques, analisados por diversas metodologias, porém com pouca investigação referente a falhas (foco do estudo), sua geometria, cinemática e dinâmica evolutiva.

A caracterização do quadro tectônico deverá contribuir para o entendimento da evolução geológica, enfatizando o comportamento das rochas da região nos estágios iniciais do ambiente distensivo que levou à quebra e separação continental.

Do ponto de vista do estudo das reativações de falhas, fornecerá subsídios para o entendimento de como a crosta se comporta em suas porções mais superficiais. Referente ao ambiente intraplaca atual, possui sítios de sedimentação cenozoicos na forma de bacias controladas por falhas normais, além do ajuste topográfico para a implantação da rede de drenagem e das formas de relevo.

Quanto à formação científica da aluna, está fará contato com as diversas técnicas de mapeamento geológico e estrutural, com reconhecimento de litologias e estruturas em campo, tipologia e métodos de obtenção de dados. Em escritório, contato e treinamento com técnicas específicas de tratamento de dados estruturais, de modo que sua formação será amplamente privilegiada, culminando com a preparação de artigos para publicação em eventos científicos.

Tal estudo resultará em contribuição para o entendimento da evolução tectônica regional em ambiente intraplaca, considerando a riqueza de feições presentes na área.

4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

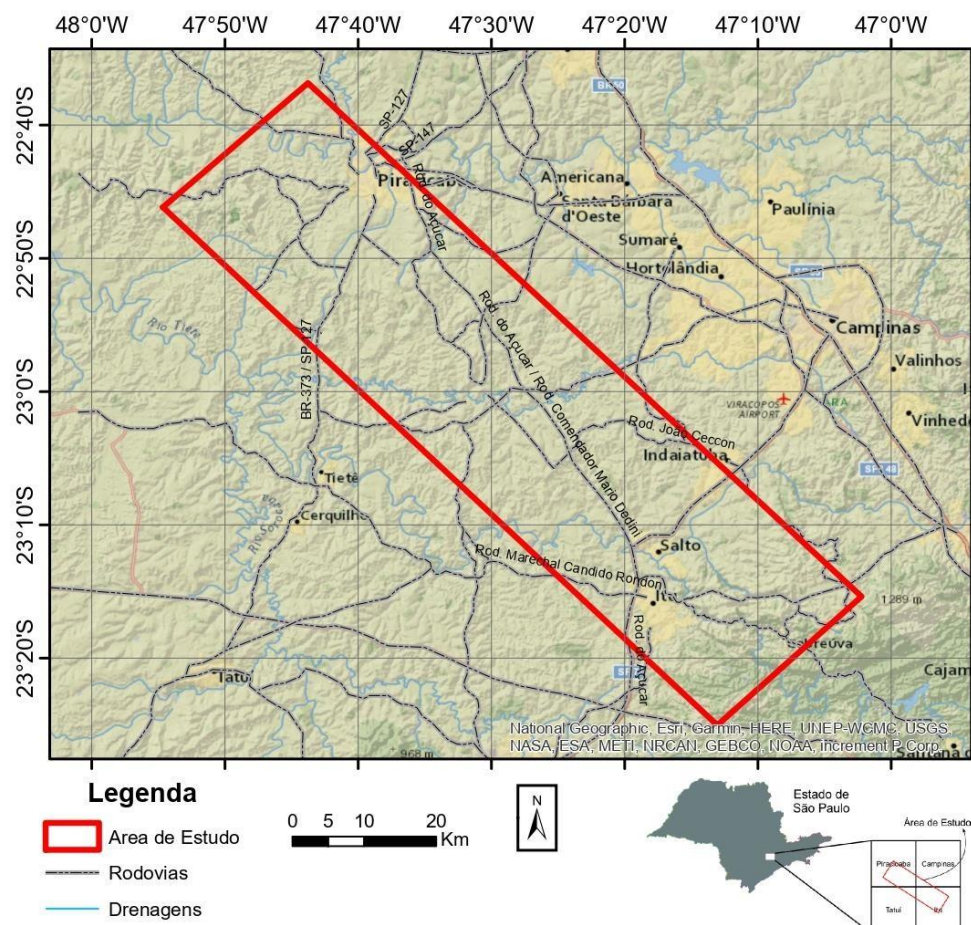
4.1 Contexto Fisiográfico

A área de abrangência dos estudos está localizada na borda centro-leste da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo assim compreende a porção territorial pertencente às bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ).

4.2.1 Vias de Acesso

O acesso principal foi referenciado partindo do município de Piracicaba, por proximidade: iniciando pelo município de Piracicaba, o acesso é feito através da Rodovia Fausto Santomauro (SP-127), localizada a noroeste da área. Para Saltinho o acesso pode ser feito através da mesma rodovia, via BR-373 até Rodovia Cornélio Pires (SP – 127). No caso do município de Salto, assim como Piracicaba e Saltinho, utiliza-se a Rodovia Fausto Santomauro (SP-127), seguindo para Rodovia Ernesto Paterniani e Rodovia do Açúcar (SP-308) até Av. Getúlio Vargas em Salto. Este mesmo percurso pode servir para acessar o município de Itu, ao chegar na Rodovia do Açúcar (SP-308) seguindo até R. Santa Rita em Vila Padre Bento em Itu. Foram descritos os menores trajetos até a área de estudo, porém o acesso pode ser feito por outras rodovias como BR-050. Todas as rodovias aqui mencionadas atravessam a área de estudo (Figura 1), entretanto no interior da área a locomoção se dá principalmente através de estradas secundárias, pavimentadas ou não.

Figura 1. Área de estudos evidenciada e vias de acesso principais da região.



Fonte: Autora.

4.2.2 Rede de Drenagem

A área de estudos encontra-se entre as Bacias PCJ compreendendo a porção territorial pertencente ao estado de São Paulo, correspondentes à parte das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, todos afluentes do Rio Tietê.

O Rio Piracicaba é o maior afluente em volume de água do rio Tietê, um dos mais importantes rios paulistas e responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana de Campinas e parte da Grande São Paulo. Possui diversos meandros e águas calmas, sendo apto para a navegação de embarcações de pequeno porte após a cidade de Piracicaba. O Rio Piracicaba nasce da junção dos rios Atibaia e Jaguari, no município de Americana. Após atravessar a cidade de Piracicaba, percorre 115 km da nascente a foz no rio Tietê entre os municípios de Santa Maria da Serra e Barra Bonita.

O Rio Capivari é afluente da margem norte do Rio Tietê. Sua nascente situa-se no município de Jundiaí, próximo à rodovia estadual SP-360, passando por Louveira, Vinhedo, Valinhos, Campinas, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard, desaguando no Rio Tietê, na cidade homônima. Seus principais afluentes são o Ribeirão Sapesal, Córrego Piçarrão, Areia Branca, Rio Capivari-mirim e Córrego Água Choca.

O Rio Jundiaí nasce na Serra da Pedra Vermelha, no município de Mairiporã e desagua na cidade de Salto, onde se une ao Rio Tietê, sendo um de seus inúmeros afluentes. Possui uma extensão de 123 km, percorrendo oito municípios: Mairiporã, Atibaia, Campo Limpo Paulista, Várzea Paulista, Jundiaí, Itupeva, Indaiatuba e Salto.

4.2.3 Tipos de Relevo

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981a), a área de estudos está localizada na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê. Sua topografia é predominantemente marcada por colinas baixas, com interflúvios extensos e aplainados, sem divisor de águas definido (ZAINÉ & PENTEADO-ORELLANA, 1994), colinas médias e morrotes alongados e, ainda, relevos sustentados por maciços básicos, representando morros testemunhos isolados com topos aplainados e vertentes retilíneas, muitas vezes com exposição de rocha. Constitui uma faixa com aproximadamente 50 km de largura, embutida entre as Cuestas e o Planalto Atlântico, sendo formada por rochas sedimentares e expressivas áreas de intrusões basálticas que interferem nas feições de relevos, além de contarem com grandes falhamentos que perturbam as suas camadas.

A Bacia do rio Piracicaba apresenta um desnível topográfico de cerca de 1.400 m em uma extensão da ordem de 370 km, desde suas cabeceiras na Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais,

até sua foz no Rio Tietê. Na Bacia do rio Capivari, o desnível topográfico é pequeno, não ultrapassando 250 m em um percurso de 180 km, desde as suas nascentes na Serra do Jardim. O Rio Jundiáí, com suas nascentes a 1.000 m de altitude na Serra da Pedra Vermelha (Mairiporã), apresenta desnível topográfico total em torno de 500 m, em uma extensão aproximada de 110 km (CETEC, 2018).

4.2.4 Solo

Dos principais solos que recobrem a área, os dominantes são definidos como latossolo vermelho amarelo (LVA) do tipo distrófico, latossolo vermelho (LV), ocorrendo nas variantes vermelho-escuro distroférico, distrófico e acriférico, argissolo vermelho-amarelo (PVA) distrófico e eutrófico; (ZAINÉ, 1994), derivados da alteração da Formação Rio Claro. Ainda ocorrem latossolo roxo de textura argilosa a muito argilosa, solos hidromórficos e litólicos.

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – IAC (OLIVEIRA *et al.*, 1999), na região se encontram argissolos, latossolos, neossolos, gleissolo, cambissolo, planossolo os quais são separados em unidades mais concisas de acordo com a classificação de solos da EMBRAPA, mas não são pertinentes para este trabalho.

5. CONTEXTO REGIONAL

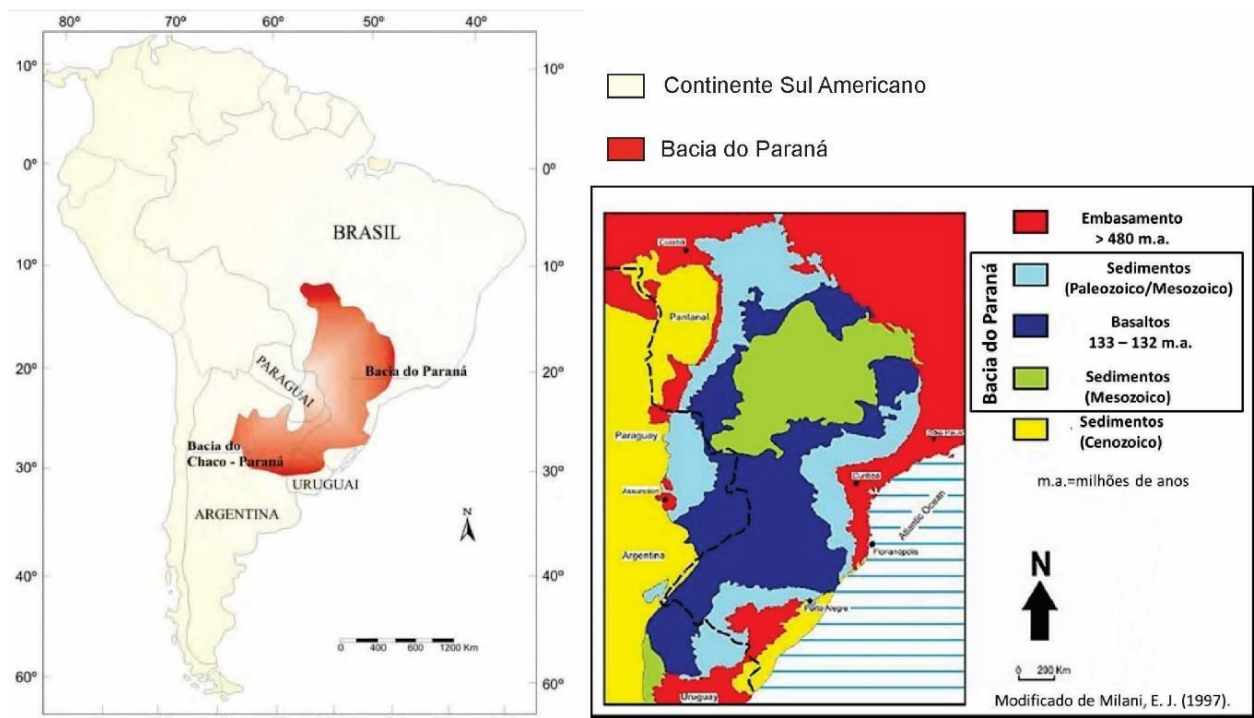
5.1 Contexto Geológico Regional da Bacia do Paraná

A Bacia Sedimentar do Paraná constitui uma extensa área intracratônica sul-americana desenvolvida completamente sobre crosta continental (ALMEIDA, 1967). Possui uma superposição de rochas sedimentares e intrusões vulcânicas, datadas do Ordoviciano ao Cretáceo, caracterizada como do tipo sinéclise de forma ovalada com o eixo maior para NNE-SSW, 1750 km de comprimento e 900 km de largura (ZALÁN *et al.*, 1987). Está localizada na região sudeste do continente sul-americano recobre cerca de 1,1 milhões de quilômetros quadrados do Brasil e cerca de 300 mil quilômetros quadrados do Paraguai, Argentina e Uruguai, como visto na Figura 2 (MILANI *et al.*, 2007). Em território brasileiro, a bacia compreende os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e partes de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.

O conteúdo litológico da Bacia do Paraná abrange um preenchimento sedimentar predominantemente siliciclástico capeado por um volumoso derrame de lavas basálticas com uma espessura máxima em torno dos 7 mil metros (MILANI *et al.*, 2007). Tal sequência representa uma superposição de pelo menos três bacias diferentes, temporalmente

individualizadas (QUINTAS, 1995), cujas geometrias e limites variam de uma para a outra, em decorrência do movimento das placas que conduziu a evolução do Gondwana no tempo geológico (ALMEIDA, 1980 e ZALÁN *et al.*, 1990), sendo considerada uma bacia policíclica cortada por rochas vulcânicas (MILANI *et al.*, 2007).

Figura 2. Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano.



Fonte: Adaptado de Machado (2009) e Milani, E. J. (1997).

A primeira bacia corresponde às sequências siluriana e devoniana (ZALÁN *et al.*, 1990), depositadas em um golfo aberto para o paleo-Oceano Pacífico; a segunda desenvolveu-se em mar interior, sendo correspondente à sequência permocarbonífera; a terceira e última é referente a fase de erupção de lavas. Seu contorno atual foi definido por limites erosivos que variam no tempo em função do movimento das placas que controlaram a evolução do Gondwana.

Segundo Milani (1997), existem seis supersequências registradas na Bacia do Paraná, sendo elas Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I (as quais abrangem idades do Ordoviciano ao Eotriássico), marcadas por ciclos de transgressões e regressões marinhas, gerando ciclos sedimentares relacionados às variações do nível eustático da Era Paleozoica. As supersequências Gondwana II, Gondwana III e Bauru (as quais variam do Mesotriássico ao Neocretáceo) são condizentes com pacotes sedimentares continentais associados a rochas de origem ígnea e vulcânicas.

5.2 Contexto Estratigráfico Regional

A principal parte da área de estudo está inserida na região nordeste da Bacia do Paraná. No contexto geológico do estado de São Paulo, onde se encontra apenas a Supersequência Gondwana I, com registros de formações mais recentes que o Carbonífero Médio. Essa supersequência é constituída pelas seguintes unidades geológicas: sendo a mais antiga o Grupo Itararé, seguido em direção ao topo pelas seguintes unidades: Grupo Guatá e Grupo Passa Dois constituindo o arcabouço paleozoico, além do Grupo São Bento e Grupo Bauru representando unidades mesozoicas. As coberturas cenozoicas são representadas por sequências sedimentares da Formação Rio Claro e outros indiferenciados, além dos depósitos aluvionares do Quaternário. As unidades estratigráficas correspondem aos litotipos sumarizados e apresentados na Figura 3 a seguir.

Figura 3. Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro / Limeira / Piracicaba (SP).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	Arenito pouco consolidado com lentes de argilas e níveis conglomeráticos na base (Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)	Continental: Planície aluvial e lacustre, Coluviões.
	NEÓGENO						
	PALEÓGENO						
MESOZOICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	ITAQUERI		100	Arenito conglomeráticos e Arenitos silicificados / ferricretes	Continental: Leques Aluviais, Fluvial e Lacustre.
			SERRA GERAL		100	Derrames de basaltos com lentes de arenito na base. Diques e soleiras de diabásio (Basalto e diabásio = matéria prima para brita).	Magmatismo Fissural
			BOTUCATU		100	Arenito bem selecionados com grão bem arredondados e bem esféricos, pouca argila.	Continental: Desértico
	JURÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	Arenito com grãos arredondados e esféricos. Diversos níveis de lamitos.	Continental: Fluvial e Desértico
	TRIÁSSICO						
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ		100	Siltito contendo lentes de arenitos finos. Argilitos, siltitos, arenitos finos, níveis de calcário dolomíticos e coquinas. (Argilitos = matéria prima para indústria de cerâmica da região de Rio Claro)	Continental: Lacustre. Transicional: Planície de Maré
		GUATÁ	IRATÍ		40	Folhelhos, siltitos, folhelhos pirobetuminosos, calcários dolomíticos (pedreiras de calcário na região de Assistência, Ipeúna e Piracicaba / Saltinho)	Transicional: Laguna Marinho Raso: Plataforma
			TATUÍ		50	Siltitos e siltitos arenosos	Transicional: Planície Costeira Marinho Raso: Plataforma
			Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		100	Arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos (alguns verdadeiros tilitos) (Arenitos = reservatórios de água subterrânea) Siltitos e siltitos arenosos em poços profundos da região	Continental (Glacial): Aluvial - Leques e Fluvial; Lacustre. Transicional: Deltas. Marinho (glácio-marinho): Plataformar
	CARBONÍFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			Granitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos,	

Fonte: Adaptado de Perinotto & Zaine (2008), modificado de Soares & Landim (1975).

5.2.1 *Embasamento*

O embasamento cristalino pré-cambriano é composto por rochas ígneas e metamórficas cujas idades radiométricas compreendem o período entre 700 e 450 Ma., correspondente ao Ciclo Orogênico Brasileiro (CORDANI *et al.*, 1984). O contato dos sedimentos com o embasamento é considerado erosivo a leste da bacia, onde atuou o soerguimento crustal relacionado ao rifteamento que deu origem a abertura do Atlântico Sul.

Baseados em dados de poços que atingiram o embasamento (CORDANI *et al.*, 1984) e dados gravimétricos (QUINTAS, 1995 e MANTOVANI *et al.*, 2005), foi possível confirmar a existência e os limites de um núcleo cratônico no centro da bacia, denominando-o de Bloco Paranapanema, com uma área de grande anomalia gravimétrica positiva, ao redor do qual se desenvolveram as faixas móveis brasileiras (ALMEIDA *et al.*, 1976).

5.2.2 *Grupo Itararé*

No estado de São Paulo o Grupo Itararé é indiviso, apresenta uma sequência sedimentar de idade permocarbonífera e sua espessura pode chegar até 900 metros. Possui grande complexidade faciológica, sendo constituído principalmente por corpos arenosos. Também ocorrem diamictitos, ritmitos, siltitos e folhelhos com eventuais lentes conglomeráticas. Suas características litológicas e sedimentares indicam um clima glacial e ambientes deposicionais abrangentes entre continental fluvial á lacustre e o marinho sob influência glacial, segundo Zaine & Perinotto (1996). Em São Paulo, o Grupo Itararé está limitado na base por uma superfície de erosão entalhada em rochas cristalinas pré-silurianas e ainda por uma discordância no topo (ALMEIDA *et al.*, 1981).

5.2.3 *Grupo Guatá*

O Grupo Guatá é representado no estado de São Paulo tradicionalmente pelas unidades litológicas da Formação Tatuí (FULFARO *et al.*, 1984). A Formação Tatuí de idade permiana, varia entre 30 e 40 metros de espessura no flanco nordeste da Bacia do Paraná (SOARES & LANDIM, 1973). Seções estratigráficas entre Tietê e Piracicaba, levantadas por Fulfaro *et al.* (1984) indicam que o pacote estratigráfico é separado em duas sequências por cores dominantes e é constituído predominantemente de clásticos finos. Na parte basal, predominam siltitos e arenitos verde avermelhados, com estratificação plano- paralela, e associados a calcários cinzas, lenticulares. As camadas de calcário e sílex variam desde poucos milímetros até 30 centímetros de espessura. Na porção superior, observam-se arenitos finos avermelhados com estratificações cruzadas que gradam para arenitos esverdeados de granulação média aparentemente maciços, em

contato com siltitos argilosos (FULFARO *et al.*, 1984). O conteúdo fossilífero da Formação Tatuí é representado por fragmentos de ossos, dentes e coprólitos de peixes, além de caules vegetais, pelecípodes, gastrópodes, bivalves e palinórfos. Suas características litológicas e sedimentares indicam um ambiente deposicional transicional, entre planície costeira marinha rasa e plataforma continental (ASSINE *et al.*, 2003).

O contato entre o topo da Formação Tatuí e a base da Formação Irati é marcado por uma mudança brusca de litologia, denominada de Fácies Ibicatu (MEZZALIRA, 1957; BARBOSA & GOMES, 1958; STEVAUX *et al.*, 1986) ou Camada Ibicatu (HACHIRO, 1991), corresponde a um horizonte que pode variar de centímetros até metros, e de ampla expressão regional. Com feições erosivas e concentrações de arenitos conglomeráticos contendo seixos arredondados subangulares de sílex, fosseis e bioclastos (ASSINE, *et al.*, 2003). Os mesmos autores classificam segundo as características litológicas e sedimentares como sendo de ambiente deposicional associado a leques aluviais costeiros formados em sistemas de mar alto.

5.2.4 Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois compreende as formações Irati (unidade inferior) e Corumbataí (unidade superior).

5.2.4.1 Formação Irati

A Formação Irati existente nas partes centrais da bacia, conhecido através de sondagens, possui espessura heterogênea, variando de 10 a 50 metros. Estudos palinológicos indicam idade do Permiano Superior (DAEMON & QUADROS, 1970). Subdivide-se em membros Taquaral, na base, e Assistência, no topo (SCHNEIDER *et al.*, 1974). A maioria dos autores aceita esta classificação, embora Hachiro *et al.* (1993) tenham redefinido esta unidade como subgrupo e seus dois membros (Taquaral e Assistência) como formações, classificação adotada também por RICCOMINI (1995).

O Membro Taquaral é constituído por uma sequência de folhelhos cinza-esverdeados escuros e siltitos argilosos acinzentados com laminações plano paralela, alcançando espessuras de 3 a 10 metros e faz contato concordante com o Membro Assistência (ZAINE, 1994). Como conteúdo fossilífero possui restos de peixes e crustáceos dos gêneros *Clarkecaris*, *Paulocaris* e *Liocaris* (SIMÕES & FITTIPALDI, 1992). Suas características litológicas e sedimentares indicam deposição em ambiente marinho raso, abaixo do nível de ação das ondas (PERINOTTO & ZAINE, 2008).

O Membro Assistência é constituído por calcários dolomíticos maciços na base, de

espessura métrica, recobertos por associação heterolítica de folhelhos pretos pirobetuminosos com laminações plano paralela e ricos em matéria orgânica intercalados com camadas centimétricas de calcários e silexitos. O Membro Assistência possui conteúdo fossilífero é formado por restos de répteis *Mesosaurus brasiliensis* e *Stereosternum tumidum*, crustáceos *Paulocaris* e *Clarkecaris* além de estromatólitos, restos de peixes, fragmentos vegetais (caules de *Lepidodendrales*) e palinórfos (SIMÕES & FITTIPALDI, 1992). Está associada a um paleoambiente misto de laguna e plataforma marinho raso (PERINOTTO & ZAINE, 2008).

5.2.4.2 Formação Corumbataí

Com base em palinórfos a Formação Corumbataí, foi datada no final do Permiano Superior ao início do Triássico (DAEMON & QUADROS, 1970). Landim (1970) subdivide em base (cerca de 30 metros) onde é constituída por um pacote sedimentar de argilitos e siltitos de cor cinza, e topo (cerca de 100 metros), constituído de folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados com estratificação plano-paralela, laminação *flaser*, fendas de ressecamento, laminação cruzada e marcas de ondas (ZAINE, 1994). Para o topo, os pelitos são intercalados com bancos de arenitos muito fino, com laminação cruzada descontínua, por vezes, ricos em oólitos e fragmentos de conchas (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Há presença de lentes de arenito fino nos siltitos e diques clásticos. (PERINOTTO *et al.*, 2008). Sua assembleia fossilífera apresenta lamelibrânquios, bivalves, conchostráceos, ostracodes, peixes ósseos, licófitas, gimnospermas e megásporos (SCHNEIDER *et al.*, 1974). As características litológicas e sedimentares da porção inferior da formação indicam ambiente deposicional associado a planícies de maré, interpondo-se, esporadicamente, a depósitos de "offshore", sendo admitidas condições mais próximas do continente para o topo (GAMA JR., 1979).

5.2.5 Grupo São Bento

As formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral são representantes do Grupo São Bento e correspondem aos três períodos da era mesozoica.

5.2.5.1 Formação Piramboia

A Formação Piramboia possui espessura máxima de 300 metros e idade triássica (PERINOTTO & ZAINE, 2008), caracteriza-se por uma sucessão de espessos bancos arenosos, avermelhados ou rosados, de granulação fina a média, possuindo maior proporção de fração argilosa na porção inferior, exibindo estratificação plano-paralela, cruzada planar e acanalada, intercalando camadas de lamitos arenosos de cores que variam entre tons claros a amarelo, roxo,

vermelho e verde (LANDIM *et al.*, 1980). Segundo Simões & Fittipaldi (1992) o conteúdo fossilífero é pouco abundante, constituído essencialmente por conchostráceos e ostracodes de água doce. As características litológicas e sedimentares desta unidade indicam sedimentação continental fluvial, com depósitos de rios meandantes e pequenas lagoas associadas a condições oxidantes (SIMÕES & FITTIPALDI, 1992), podendo apresentar, por vezes, influência eólica, sendo esta mais característica no topo da unidade, de acordo com Brighetti (1994).

5.2.5.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu ocorre por toda a bacia e atinge no máximo a espessura de 100 metros (SCHNEIDER *et al.*, 1974; CAMPOS, 1889), datada como juro-cretácea (SCHNEIDER *et al.*, 1974; IPT 1981b). É formada por arenitos avermelhados, médios a finos, normalmente bimodais, friáveis, grãos de elevada esfericidade e aspecto fosco, suas estruturas sedimentares são estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, estratificação plano-paralela e cruzada acanalada (SOARES, 1973; SCHNEIDER *et al.*, 1974). As características litológicas e sedimentares da Formação Botucatu indicam deposição eólica em paleoambiente desértico, com baixa influência fluvial restrita às porções basais da sequência. As características dos sedimentos desta formação indicam condições de elevada aridez, tendo o cavalcamento de dunas e interdunas como o principal processo de acumulação. (SCHNEIDER *et al.*, 1974; CAETANO-CHANG & WU, 1995).

5.2.5.3 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, ocorre por toda a Bacia do Paraná com espessura de até 1500 metros, compreendendo sequência de rochas vulcânicas, representadas, predominantemente, por derrames de lavas basálticas toleíticas, diques e soleiras de diabásio, destacando-se as soleiras intercaladas nas formações Irati e Tatuí, que ultrapassam os 130 metros de espessura na cidade de Piracicaba (ALMEIDA & BARBOSA, 1953).

Em termos petrológicos, possui textura afanítica a fanerítica, coloração cinza escuro a preto, amigdaloidal no topo dos derrames e com desenvolvimento de juntas verticais e horizontais, intercalando com lentes e camadas de arenitos finos a médios, com estratificação cruzada tangencial, como os da Formação Botucatu, principalmente na parte basal (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Dados geocronológicos apontam a época das manifestações vulcânicas para o Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior, ou seja, este evento vulcânico ocorreu há 132±1 Ma. Possui contato superior e discordante com a Formação Itaqueri (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Segundo Soares (1973), trata-se de um magmatismo fissural que ocorreu nas condições desérticas da

Formação Botucatu, na primeira fase da Reativação Wealdeniana, associada ao processo de ruptura do Supercontinente Gondwana.

5.2.6 Depósitos Cenozóicos

Os Depósitos Cenozóicos distribui-se descontinuamente na região interiorana do estado de São Paulo, atingindo espessura máxima da ordem de 40 metros (ZAINÉ, 1994), ocorrendo nas bacias dos rios Corumbataí, Piracicaba, Moji-Guaçu e Tietê (ANDRADE & SOARES, 1971). Segundo Zaine (1994) é constituída por sedimentos mal selecionados, com espesso solo arenoso e domínio de litotipos arenosos, esbranquiçados, amarelados a avermelhados, variando de areia fina a grossa, podendo ter estratificação cruzada, como arenitos arcoseanos, arenitos conglomeráticos, cascalhosos e argilitos vermelhos (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Zaine (1994) caracterizou os sedimentos desta unidade no município de Rio Claro - SP, destacando o papel das feições estruturais e tectônicas na sua deposição, identificou depósitos de condições energéticas (fluxos torrenciais e fluxos de massas) e um sistema fluvial mais organizado como canais espalhados e lagoas restritas. Fulfaro & Suguio (1968) associam as características litológicas e sedimentares da unidade a um ambiente deposicional continental em que predominou um clima semiárido com presença de canais fluviais.

5.2.7 Depósitos Cenozóicos Indiferenciados

Estes depósitos ocupam a planície de inundação dos atuais vales dos rios, como no caso dos rios Corumbataí, Piracicaba e Tietê (SOUSA, 2002). Sua espessura atual atinge poucos metros, podendo localmente ter alcançado 60 metros. Penalva (1971) caracteriza como sedimentos de natureza essencialmente clástica, como cascalhos, areias e argilas, com camadas de sedimentos texturalmente imaturos e são interpretados como testemunhos de discreta sedimentação fluvial pretérita, no caso dos terraços alçados, com raros restos orgânicos e leitos limonitizados. Este autor aponta para uma sedimentação relativamente restrita, com pouco transporte, em ambiente sedimentar caracterizado por planícies aluviais alagadiças. Os processos climáticos tiveram grande importância na sua consolidação, influenciando tanto no tipo de material detrítico, como no regime de transporte e ambiente de sedimentação (HASUI *et al.*, 1978). Moraes Rego (1930) fez referências a baixos terraços associados a cascalhos, correlacionando-os à última oscilação climática sincrônica de estágio glacial. Ponçano (1981) argumenta que níveis de terraços com cascalhos testemunham fases de climas mais secos, com alargamento dos vales fluviais, processados por intensa remoção de detritos e formação de terraços e pedimentos em sincronismo com os estádios glaciais.

5.2.8 Depósitos Quaternários

Os depósitos quaternários constituem as coberturas coluvionares e aluviais originadas pelo processo de intemperismo e transporte a curta distância, sem atuação de corrente canalizada.

Os depósitos coluviais e/ou eluviais são caracterizados como sedimentares inconsolidados constituídos por fragmentos de quartzo e quartzito e, esporadicamente, fragmentos de rochas alteradas e de crostas lateríticas, material argilo-arenoso de coloração avermelhada (ESPÍNDOLA & GALHEGO, 1980). Ocorrem em encostas de relevo suave e raramente em terrenos mais acidentados. Possuem espessuras variadas, desde de centímetros a 1,5 metros. Segundo Neves (1999), esses depósitos recobrem o embasamento cristalino, o Grupo Itararé e os depósitos Paleogeno e Neogeno. Registram estruturas sedimentares do tipo *stone lines*, e níveis lateríticos dispersos onde os grãos estão geralmente dispostos de forma desordenada e com granulometria variada podendo chegar a matacões. Teriam se originado através do retrabalhamento das rochas subjacentes, com pouco ou nenhum transporte e provavelmente com atuação de alternâncias climáticas.

Os depósitos Aluviais são compostos por areias inconsolidadas de granulometria variada, argilas e cascalheiras fluviais subordinadas (BISTRICHI *et al.*, 1981). Esses depósitos ocupam as planícies aluviais dos canais de drenagem e são fortemente controlados por estruturas geológicas (NEVES, 1999).

5.3 Contexto Estrutural Regional

A área de estudo está inserida no contexto tectônico da borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, que tem sua evolução relacionada à estabilização da Plataforma Sul-Americana no Supercontinente Gondwana, ao final do Ciclo Brasileiro.

Durante a evolução da Bacia do Paraná sua geomorfologia foi condicionada por arqueamentos, flexuras e lineamentos estruturais do embasamento, dispostos marginais ou transversalmente à bacia, influenciando sua compartimentação e acumulação sedimentar, com importante reflexo no substrato basáltico que acomodou os sedimentos Bauru (ZALÁN *et al.*, 1987; RICCOMINI, 1995 e 1997; MILANI, 1997).

O interior da bacia é dominado por elementos tectônicos lineares regionais, que formam uma malha de zonas de fraqueza orientada na direção principal NW-SE, que constitui tanto falhas simples como extensas zonas de falhas (ZALÁN *et al.*, 1990), distribuindo as unidades litoestratigráficas na forma de blocos soerguidos e abatidos, o que leva unidades mais jovens a aflorarem ao lado de rochas mais antigas (SOUSA, 2002).

Os lineamentos NW-SE são estruturas que passam a ter grande importância a partir do

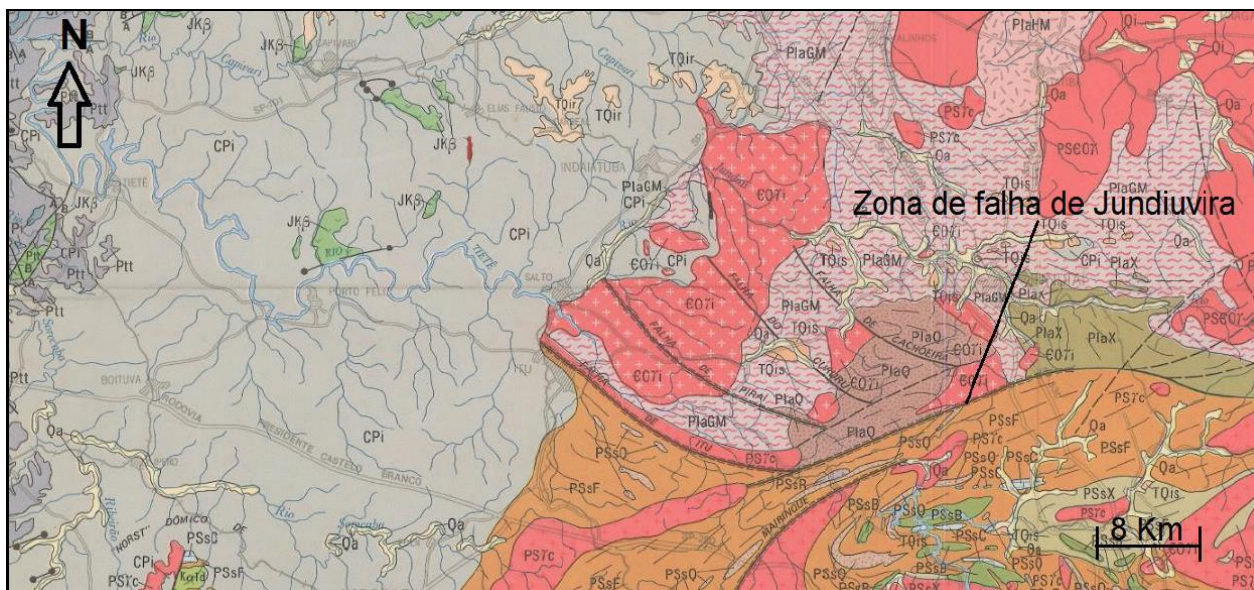
Jurássico Superior, através da reativação Wealdeniana, onde ocorreu o magmatismo Serra Geral, evento tectônico mais intenso dentre aqueles que afetaram a Bacia do Paraná (SOUSA & MORALES, 1999). O mesmo reativou vigorosamente as falhas NW preexistentes criando várias outras paralelas a esta direção promovendo o condicionamento de corpos ígneos intrusivos e derrame de lavas basálticas referentes à Formação Serra Geral, estes corpos ígneos em forma de diques ou *sills* ocorrem principalmente nos altos estruturais de Pitanga, Pau D'Alho e Jibóia (RICCOMINI, 1992; SOUSA, 2002). Segundo Pires Neto (1996) falhas com direção NW-SE podem refletir feições mais antigas do embasamento, como as falhas de Itu, Pirai, Cururu e Cachoeira (Figura 4). Os elementos de orientação NE-SW tem baixa densidade e estão associados a estruturas brasileiras da borda Leste da Bacia do Paraná como as falhas de Jacutinga e Guaxupé (SOARES *et al.*, 1982; CORDANI *et al.*, 1984; HASUI *et al.*, 1989; ZALÁN *et al.*, 1990; MELO, 1995 e SOUSA, 2002).

Estes elementos tectônicos lineares influenciaram na rede de drenagens e na sedimentação da Bacia do Paraná, evidenciando reativações recorrentes de natureza vertical e horizontal, de pequena magnitude, mas suficiente para controlar depocentros, altos intrabaciais e a distribuição das fácies sedimentares, inclusive com reversões nas suas movimentações, propiciando a migração ou inversão dos depocentros para altos e vice-versa (ZALÁN *et al.*, 1987).

Riccomini (1995) apontou dez lineamentos no Estado de São Paulo que atuam na distribuição das unidades sedimentares, nos focos de magmatismo alcalino e nos altos estruturais. Os principais deles são: Rio Paranapanema, Rio Mogi-Guaçu e Ibitinga-Botucatu, Lineamento Tietê, todos de direção aproximada NW-SE, e o prolongamento da zona de Falha de Jacutinga (Figura 4), de direção NE-SW, entre eles, destaque para o Lineamento Tietê, foco deste estudo. Além disso, pela proximidade da área de estudos em relação aos altos estruturais, a mesma pode ter sido influenciada tectonicamente pela disposição das estruturas de Pitanga, Horst Pau D'Alho e pelos domos de Jibóia, Anhembi-Piapara, Artemis.

Soares (1974) apresenta duas hipóteses para a origem destes altos estruturais, uma tectônica e outra atectônica. A primeira teria como base os esforços horizontais ou verticais ocorridos em paralelo ou logo após o vulcanismo básico associado à Reativação Wealdeniana. A última sugere o arqueamento das estruturas provocado por compactação diferencial e por rochas intrusivas concordantes.

Figura 4. Traços de falhas regionais do Pré-Cambriano que incidem sob a Bacia do Paraná na região de Itu e Salto – SP.



Fonte: Modificado de IPT (1981).

5.4 Quadro Tectônico Regional dos Altos Estruturais de Pau d' Alho, Jibóia e Anhembi

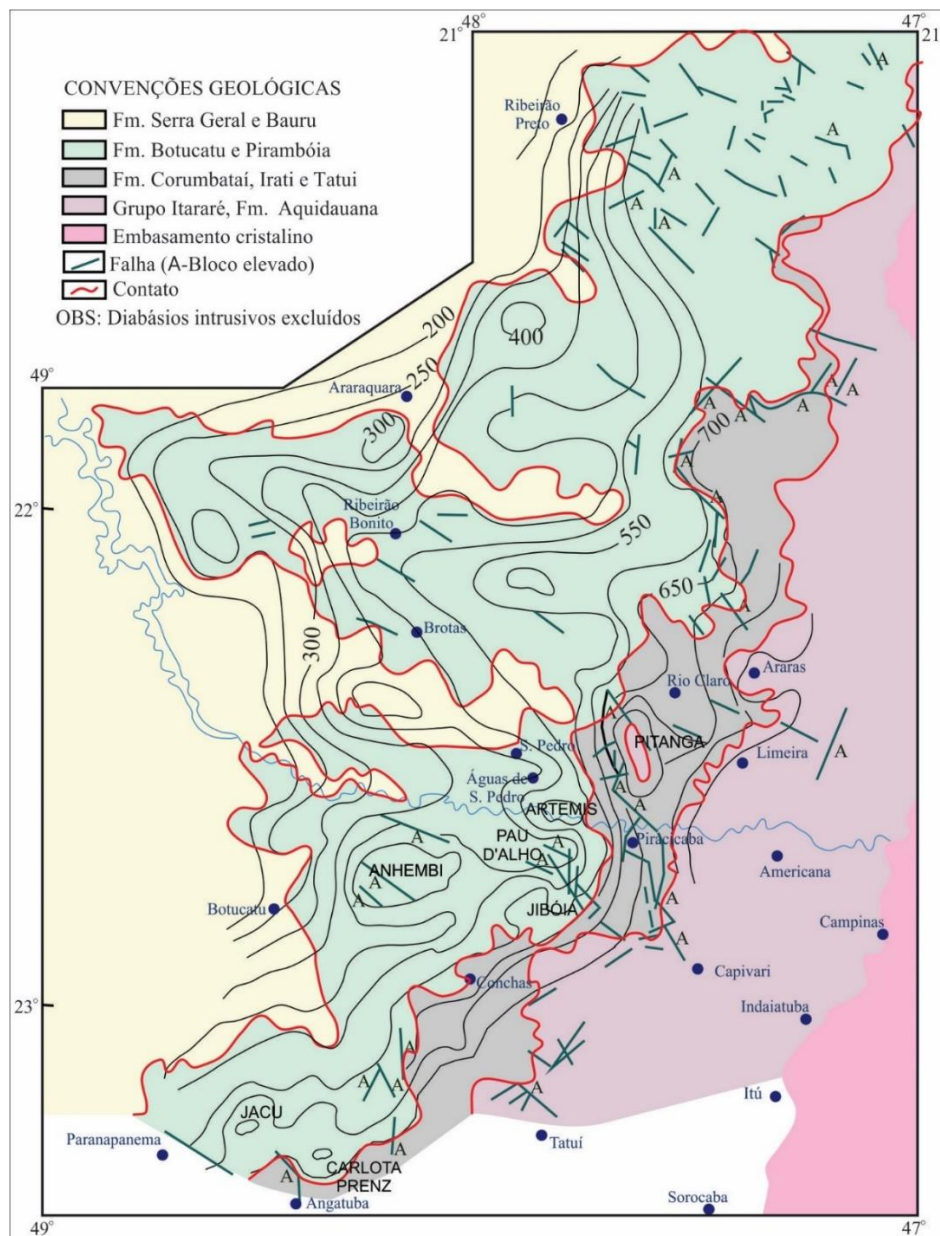
Com o objetivo de auxiliar no entendimento da evolução tectônica desta região, os Altos Estruturais citados serão caracterizados a seguir quanto às suas origens e relação com os principais lineamentos.

A borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo é marcada por vários altos estruturais, como os Altos Estruturais de Pau d' Alho, Jibóia e Anhembi (Figura 5) que expõem sedimentos mais antigos em suas porções centrais. Desde os anos 20 estas estruturas têm sido motivo de estudos por parte de geólogos que objetivavam pesquisa de petróleo (SOUSA, 2002).

O Alto Estrutural do Pau d' Alho, ou Horst de Pau D'Alho (Figura 5), é caracterizado por Castro (1973) como um alto estrutural formado por um sistema de falhas normais de orientação NW que gerou deslocamentos e basculamentos de blocos, do tipo *horst* e *graben*, influenciando inclusive nas feições geomorfológicas. Está localizado no divisor de águas Piracicaba e Tietê com falhas de direção principal N40-50W (SOARES, 1974). A maioria destas falhas encontra-se preenchida por rochas básicas da Formação Serra Geral (SOUSA, 2002). Quando os falhamentos são escalonados os blocos centrais da estrutura compostos por rochas da Formação Corumbataí, são alçados ao mesmo nível de rochas da Formação Piramboia (CASTRO, 1973).

O Alto Estrutural de Jibóia, ou Domo de Jibóia (Figura 5), localizado 20 km a sudoeste de Piracicaba - SP, ocorre a SE das falhas do Alto Estrutural do Pau d' Alho, representando uma “extensão” desta estrutura, caracterizado como um bloco soerguido a sul do Monte Branco e ao norte da falha de Monte Branco (SOARES, 1974). Seu arcabouço estrutural principal é constituído por falhas normais paralelas com orientação em torno de N45W que a limitam a SW e NE fazendo com que formações de diferentes idades ocorram ao mesmo nível topográfico (SOARES, 1974).

Figura 5. Mapa de contorno estrutural do topo do Grupo Itararé, com indicação dos principais altos estruturais.



Fonte: Soares (1974), modificado por Sousa (2002)

O Alto Estrutural de Anhembi (Figura 5), denominado Domo de Anhembi por Soares (1974), foi associado ao Lineamento Tietê por Cavallaro (2013). Foi caracterizado pelo IPT (2005) como uma dobra de arrasto, sendo associada a uma falha transpressional de direção N50-60E, mergulhando para SE. É constituído por sistemas escalonados do tipo dominó, que consiste em três blocos, com eixo principal de direção N50W, na direção N30-50W e N20-30E, onde as cotas topográficas variam de 450 m a 600 m (SOARES, 1974). Esta feição registra dois eventos importantes na evolução da Bacia do Paraná: o primeiro evento marca uma intensa atividade hidrotermal ocorrida no Permiano Superior registrada por meio de cones silicosos, ou geiseritos (YAMAMOTO *et al.*, 2005), o segundo evento está relacionado ao vulcanismo da Formação Serra Geral, que manifesta-se na forma de arenito betuminoso (ARAÚJO *et al.*, 2006).

5.4.1 Lineamento Tietê

Trabalhos anteriores mencionam Alinhamento Tietê, porém neste trabalho adotou-se a nomenclatura Lineamento, por se tratar de uma feição linear mapeável, que é representada por elementos topográficos retilíneos do relevo (linhas ou segmentos de escarpa, alinhamentos de cristas, vales, trechos de rios e lagos, linhas de costa alongadas, depressões e feições lineares) que separam terrenos de diferentes texturas, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY *et al.*, 1976). Os lineamentos são quase sempre correlacionados estruturalmente com fraturas, falhas, zonas de falhas, zonas de cisalhamento e juntas.

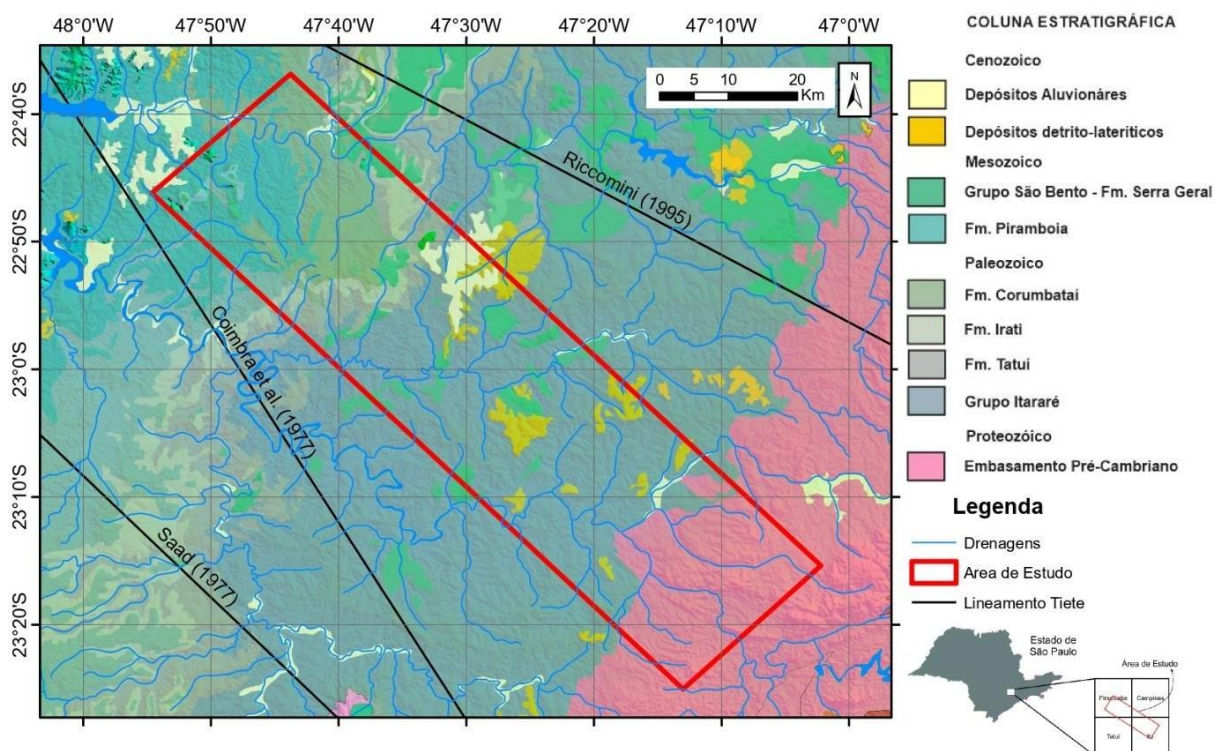
Saad (1977) classifica o Lineamento Tietê como áreas tectonicamente negativas, com feições estruturais alongadas e alinhamento de direção NW-SE. Ele está localizado a norte do Lineamento do Paranapanema (Figura 6), de idade Pré-cambriana, e apresenta sucessivos indícios de reativações que ocorreram do Paleozoico ao Cenozoico com comportamentos tectônicos variados durante todo esse período. Marca uma longa fase de deposição sedimentar do Supergrupo Tubarão na Bacia do Paraná. Baseado nos mapas de isópacas do Grupo Itararé e do ciclo Irati-Serra Alta, o autor relatou que o Lineamento Tietê passou por um episódio de inversão tectônica, deixando de ser uma calha deposicional num primeiro instante, passando a ser uma região soerguida, cuja origem envolve a atuação de falhas normais.

Coimbra *et al.* (1977) descreve o Lineamento Tietê, como uma feição proeminente na região durante todo o Mesozoico, que se comportou como uma sela de menor negatividade em relação as áreas situadas a norte e a sul. Estende-se pelo baixo curso do rio de mesmo nome, passando por Ibitinga, pela região de Rio Claro, São Carlos e Piracicaba, chegando a Ilha de São

Sebastião, todos no Estado de São Paulo (Figura 6), este alinhamento é sítio dos altos estruturais de Pitanga, Artêmis, Pau D'Alho e Jibóia. Segundo o autor a região teria passado por intensa atividade tectônica anterior, contemporânea e possivelmente também posterior à deposição do Grupo Bauru, seria a responsável pelas falhas normais, escarpas e basculamentos de blocos, identificáveis sobretudo nas unidades pré-Bauru, na área dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira

Segundo Riccomini (1995), uma das principais estruturas desta região da bacia é o Lineamento Tietê (NW-SE), caracterizado por possuir feição linear mapeável, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo (Figura 6). Riccomini (1989) reafirmou o papel das falhas de direção NW-SE na separação das drenagens dos rios Tietê e Paraíba do Sul, considerando que o soerguimento e erosão dos sedimentos terciários, que hoje restam como ocorrências descontínuas sobre o Alto Estrutural de Arujá, teria sido resultado de um regime transpressivo com compressão de direção NE-SW.

Figura 6. Área de estudo evidenciada e o Alinhamento Tietê segundo Coimbra et al. (1997), Riccomini, (1995) e Saad, (1977).



Fonte: Autora.

Cavallaro (2013) aplicou magnetometria na região do Alto Estrutural de Anhembi e identificou uma anomalia positiva de direção NW-SE, sobreposta ao rio Tietê, a qual o autor associou ao Lineamento Tietê, considerando uma feição geológica positiva em subsuperfície,

indicando que o soerguimento e abatimento de blocos são resultados da atuação de eventos tectônicos ao longo do tempo.

5.4.2 *Síntese de Levantamentos e Estudos Gravimétricos*

Montanheiro (2015) aplicou o método geofísico de gravimetria na região de Laranjal Paulista, Anhembi, Santa Bárbara d'Oeste, Porto Feliz e Torre de Pedra, porção central do Estado de São Paulo, com o objetivo de obter novos dados acerca da anomalia gravimétrica de interesse desta região.

Os resultados tiveram como base a integração dos dados gravimétricos com os dados de perfis litológicos de poços perfurados para exploração de petróleo e/ou captação de água, sondagens elétricas verticais, dados estruturais de lineamentos rúpteis e caracterização geológica a partir de seções e mapas diversos.

O mapa da Anomalia Bouguer apresentado pela autora reflete a relação entre a distribuição das estruturas tectônicas, a estratigrafia e os gradientes gravimétricos. Com isto a autora definiu de forma precisa as principais características da anomalia, tais como: localização, forma e amplitude. Foi caracterizada uma anomalia gravimétrica positiva de fechamento aparentemente circular, ligada a fontes rasas, com direção tendendo para NW-SE e limites bem demarcados por feições contrastantes e lineares, associando a um alto estrutural do embasamento da bacia.

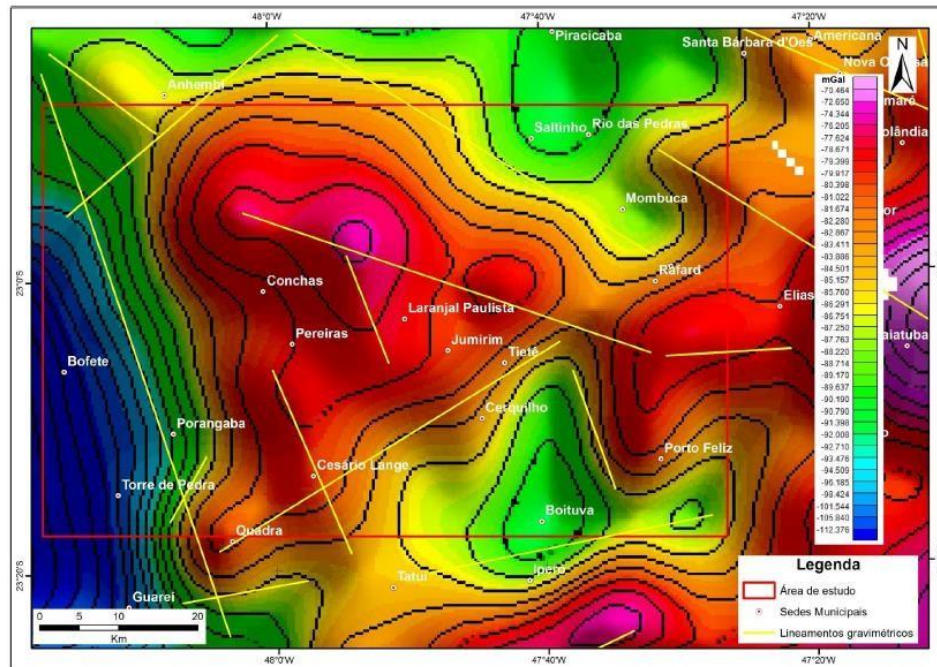
A anomalia gravimétrica é controlada pelas estruturas de direção NW e NE, entre as regiões de Porangaba e Saltinho, Anhembi e Cerquilha (Figura 7), resultante do contraste gravimétrico entre as rochas sedimentares e o embasamento cristalino, sugerindo a atuação de falhamentos herdados do embasamento cristalino.

As seções para modelagens gravimétricas, construídas sobre o mapa de Anomalia Bouguer (Figura 8) mostram os modelos estruturais em subsuperfície.

A seção CD de direção NE-SW mostra a disposição do alto do embasamento (Figura 9), apresentando os blocos altos e baixos com pequenos deslocamentos controlados por falhas que se refletem na faixa de afloramentos das rochas sedimentares nesta região, interpretadas pela autora como ocasionadas pela subida do embasamento devido à reativação de falhas preexistentes. Os traços são apresentados como associados aos lineamentos estruturais Tietê e Sorocaba, evidenciados por falhas, preenchidas ou não por diabásio.

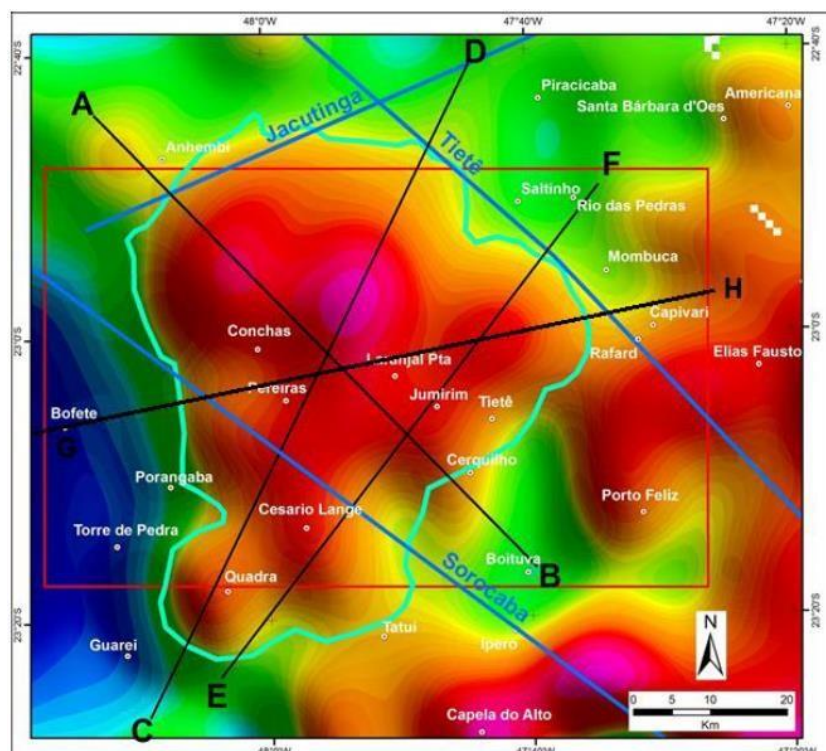
A autora reconheceu a importância dos lineamentos que incidem no alto estrutural, o Lineamento Tietê, o Lineamento Sorocaba e a Zona de Falha de Jacutinga, conforme a Figura 10. Destacando estes traços estruturais como feições importantes no quadro estrutural da região.

Figura 7. Mapa sombreado, com iluminação de 45°, elevação de 45°, resultado da aplicação do filtro Butterworth para fontes com profundidades maiores que 1500 metros. Em amarelo encontram-se os traçados dos lineamentos gravimétricos.



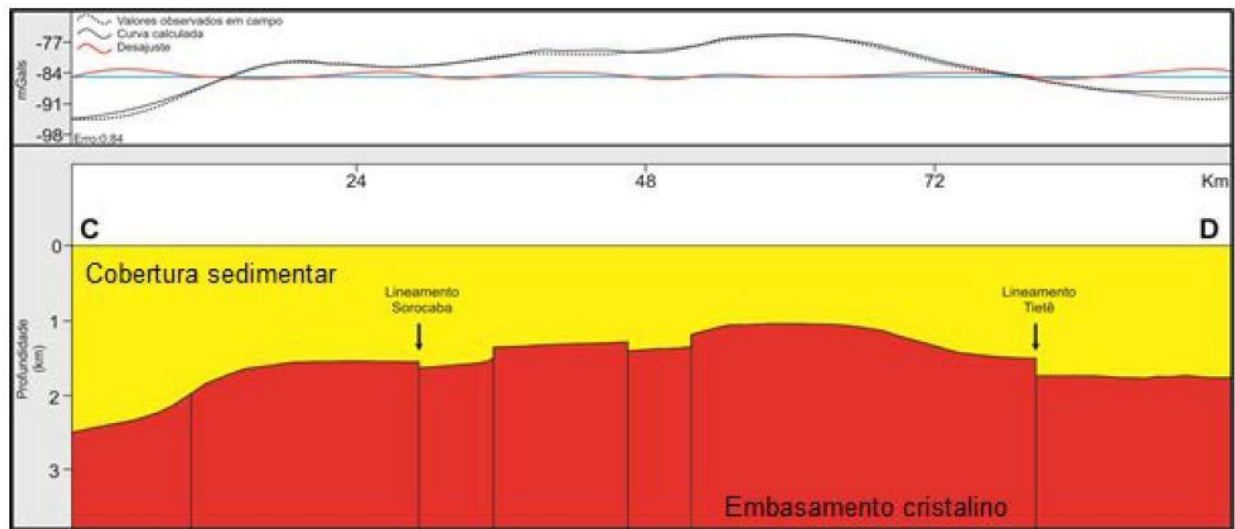
Fonte: Montanheiro (2015).

Figura 8. Localização das seções escolhidas para elaboração de modelos gravimétricos. Os traços azuis representam os lineamentos estruturais que incidem na área de estudo.



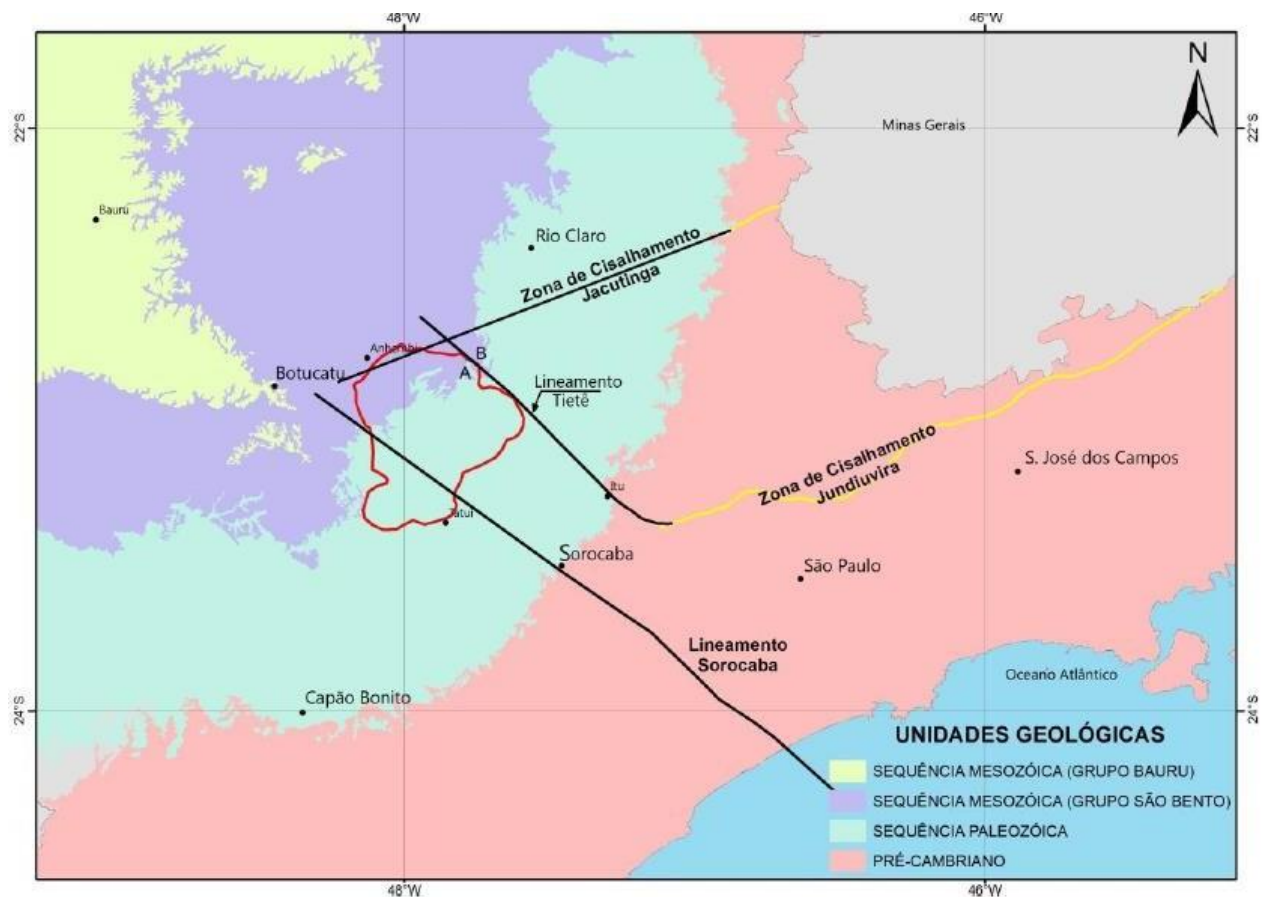
Fonte: Montanheiro (2015).

Figura 9. Modelagem gravimétrica da seção CD de direção NE-SW.



Fonte: Montanheiro (2015).

Figura 10. Relação entre os alinhamentos locais e o alto estrutural interpretado para a área de estudo.



FONTE: Montanheiro (2015).

5.4.3 Considerações sobre o quadro neotectônico

Hasui & Costa (1996) adotam que o início dos eventos neotectônicos (23 Ma. até o recente) se deu a partir do período Neogeno (Mioceno - Plioceno), sendo marcado pela mudança de um regime distensivo associado ao processo de abertura do oceano Atlântico Sul para um regime transcorrente intraplaca (HASUI *et al.*, 1999). Esse último regime tectônico teria se instalado após a sedimentação da Formação Barreiras, que é considerada a última fase de sedimentação das bacias costeiras brasileiras e também após o fim das últimas manifestações magmáticas (HASUI & COSTA, 1996).

Segundo Almeida *et al.* (1976), o Plioceno é marcado como o período de maior atividade neotectônica, onde ocorreram muitas falhas com componente transcorrente que cortam os sedimentos das bacias de São Paulo e Taubaté, contribuíram para o quadro da evolução geomorfológica regional, promovendo a compartimentação morfotectônica de vários setores do território paulista.

6. MÉTODOS E ATIVIDADES

Para alcançar os objetivos propostos, as investigações foram conduzidas em três etapas principais:

6.1 Etapa pré-campo

Nessa etapa foi realizada a revisão bibliográfica, a aquisição e interpretação de mapas temáticos e organização de toda documentação existente, reunindo informações para revisão do quadro regional e planejamento da logística dos trabalhos de campo.

Foram feitas também análise de relatórios e artigos para caracterizar o contexto fisiográfico da área de estudo, contando como fonte, principalmente, trabalhos publicados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), incluindo o Relatório Final do Plano das Bacias PCJ e os relatórios de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias PCJ, cujos mapas estão disponibilizados em <<http://www.comitepcj.sp.gov.br>>.

Foi feita a integração dos mapas geológico/estrutural das folhas de Piracicaba, Tatuí, Campinas e Itu obtidos pela CPRM / DNPM, 1984, na escala 1:100.000 e a folha Rio de Janeiro (CPRM, 2004, escala 1:1.000.000). Efetuou-se as interpretações dos mapas citados e elaboração de um Mapa Base Pré-Campo, contendo a seleção de áreas a serem visitadas.

Considerando as áreas de conhecimento prévio obtido em pesquisas realizadas nos últimos anos pelos próprios autores deste projeto (Projeto Rifte 2012, Projeto Mapa Neotectônico do

Brasil 2016) e dados disponíveis na literatura (ZALÁN, 1987; RICCOMINI, 1995; NEVES, 1999; SOUSA, 2002).

6.1.1 *Preparação de mapas base*

Com o intuito de auxiliar na etapa de campo, foi confeccionada uma base cartográfica utilizando mapas da rede de drenagem, mapa topográfico, mapas geológicos e mapas estruturais a partir dos dados obtidos na literatura.

6.1.2 *Digitação, georreferenciamento dos mapas em base ARCGIS*

Para a digitalização e georreferenciamento dos mapas citados acima, os dados foram carregados no programa ARCGIS 10.5 e utilizou-se como referência o com datum SIRGAS 2000. Os mapas foram vetorizados a partir das folhas cartográficas, utilizando os arquivos .shp com as estradas, rodovias, topografia, drenagens e os limites dos municípios. Toda informação disponibilizada pelo site do GEOBANK <<http://geosgb.cprm.gov.br/>> é para posterior sobreposição aos mapas de interesse.

6.1.3 *Mapa de drenagem e topográfico*

O mapa de curva de nível e drenagem foi confeccionado utilizando a folha cartográfica: Rio de Janeiro – SF-23, em escala 1:1.000.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (CPRM, 2004), obtida no site do GEOBANK <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. A aquisição pode ser feita na forma de arquivos em formato .pdf, .tiff e .shp, com pastas que contém arquivos específicos para cada um dos *layers* de interesse, como drenagem, topografia, infraestrutura (estradas, municípios, áreas urbanas, entre outros). Estes *layers* também foram utilizados na composição dos demais mapas.

6.1.4 *Mapa de lineamentos*

Para obter uma ampla visualização dos lineamentos regionais, utilizou-se de uma composição de imagens SRTM com resolução de 30 metros, onde se buscou destacar os traços retilíneos que podiam estar associados as feições estruturais de relevo e as anomalias na rede de drenagem, a partir do qual foi construído um mapa de estruturas lineares (Apêndice I).

A interpretação dos traços foi feita utilizando programa ARCGIS 10.5, por meio da observação de imagens SRTM atribuindo os seguintes ângulos de posição do Sol: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°. Tais imagens foram obtidas com o auxílio do *software* Global Mapper 20.0.

A partir das estruturas lineares extraídas de imagens SRTM, utilizando *software* ArcGIS 10.5 foram confeccionados os diagramas de roseta de frequência acumulada e comprimento acumulado, para a obtenção das direções principais apresentadas no mapa de estruturas lineares.

6.1.5 *Mapa geológico*

A confecção do Mapa Geológico foi baseada na compilação dos mapas geológico/estrutural das folhas de Piracicaba – SF-23-Y-A-IV – MI-2736, Tatuí – SF-23-Y-C- I – MI-2765, Campinas – SF-23-Y-A-V – MI-2737 e Itu – SF-23-Y-C-II – MI-2737, em escala 1:100.000 do Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná (CPRM / DNPM, 1984), adquiridos na Biblioteca da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – IGCE - UNESP, Rio Claro, e digitalizados no Centro de Análise e Planejamento - CEAPLA.

Foi utilizada também a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Rio de Janeiro – SF-23, na escala 1:1.000.000 da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM, 2004), obtidas no site do GEOBANK <<http://geosgb.cprm.gov.br/>> em formato .pdf, .tiff e .shp, contendo arquivos específicos para cada um dos *layers* de interesse geológico, como: falhas, fraturas, diques, litologia, entre outros. Estes *layers* também foram utilizados na composição dos demais mapas.

As bibliografias consultadas também foram adquiridas na Biblioteca da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP - RC disponíveis para download no site da biblioteca (www.athena.biblioteca.unesp.br). Foram utilizadas bibliografias que se referem aos mapas geológicos dos trabalhos de Conclusão de Curso de Batista (2002) e Santos (2009), das dissertações de Mestrado de Sousa (1997); Neves (1999); Lúcio (2015) e de teses de Doutorado de Sousa (2002) e Neves (2005).

O Mapa Estrutural Integrado (Apêndice II), une estruturas como falhas, juntas e diques identificadas em nos mapas da CPRM (1984 e 2004), além de estruturas identificadas nas bibliografias consultadas que abrangem a área de estudo.

6.1.6 *Confecção dos Estereogramas*

Os dados estruturais coletados em campo foram tratados estatisticamente com o auxílio do programa Stereonet 10, para a representação e obtenção das orientações preferenciais. Foram construídos estereogramas para representar as juntas, as falhas e as estrias.

6.2 *Etapas de Campo*

Os trabalhos de campo foram direcionados ao longo da área de estudo para abranger os

possíveis traços estruturais relacionado ao Lineamento Tietê e para realizar um detalhamento das principais características litológicas e estruturais, com ênfase nas discontinuidades dos corpos rochosos, como falhas e juntas, na ocorrência de diques de rochas básicas, das coberturas sedimentares, dos perfis de alteração e das feições geomorfológicas associadas, além da coleta de amostras e obtenção de documentação fotográfica.

A caracterização lito-estrutural consistiu na descrição de 41 afloramentos de rocha. Os dados estruturais coletados serviram como base principal durante as análises e interpretações do trabalho. Os pontos visitados nas saídas de campo podem ser vistos no mapa de afloramentos (Apêndice III).

6.2.1 Materiais utilizados durante a visita ao Parque Estadual do Varvito – ITU

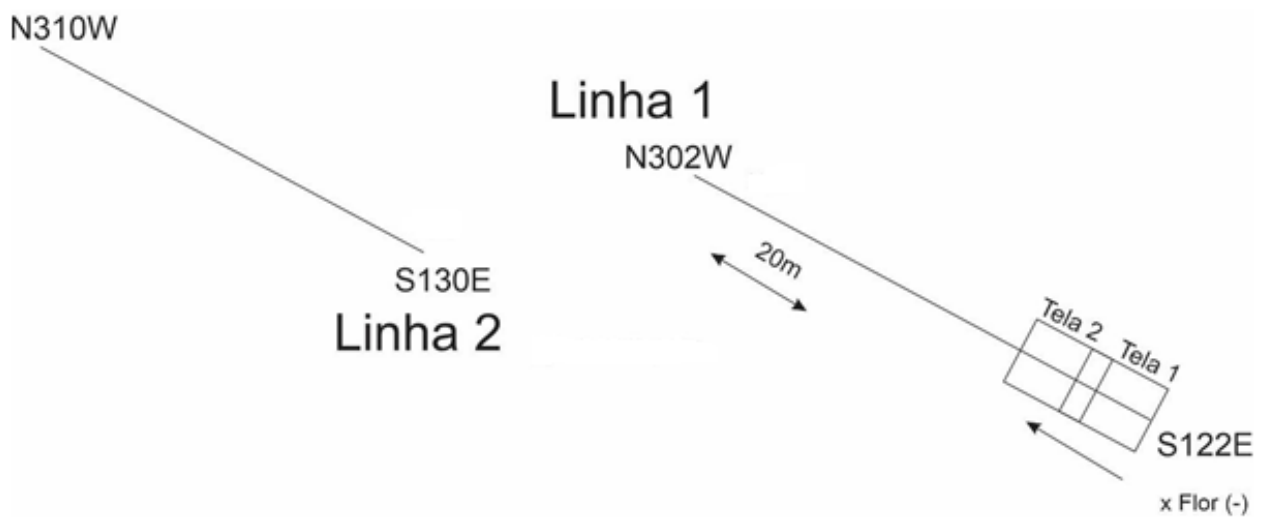
Para o estudo, caracterização, registro fotográfico e coleta sistemática das falhas e juntas localizadas no piso central do Parque Estadual do Varvito, utilizou-se de uma “tela” móvel retangular de 140x110cm, confeccionada de canos PVC e malhas de barbante compondo quadrados de 30x30cm (Figura 11). O levantamento de dados estruturais foi feito de forma sistemática com o deslocamento da tela ao longo do afloramento, seguindo duas linhas principais de fraturas (Figura 12). O arranjo permitiu a preparação de um mosaico, montando um esquema geral do afloramento e, a partir da documentação fotográfica, uma “reconstrução” ou a “captura” do mesmo de uma forma fidedigna. Os dados foram obtidos através de medidas realizadas com bússola Clar (Figura 13).

Figura 11. Encaixe dos canos PVC para montagem da “tela” móvel. A) Confeção da tela móvel; B) Tela móvel sobre linha 1 pronta para o início da aquisição fotográfica.



Fonte: Autora.

Figura 12: Representação esquemática do caminhamento feito com a tela em campo ao longo do afloramento.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 13: Coleta de dados estruturais com o uso da bússola Clar.



Fonte: Autora.

6.3 Etapa Pós-Campo

Envolveu trabalhos de escritório, reuniões com a equipe de trabalho, visando obter uma padronização dos conceitos e a forma de obtenção dos dados multidisciplinares, enfatizando aqueles que seriam mais importantes para entender os processos envolvidos na reativação de falhas, cronologia relativa e atividades dentro do regime tectônico vigente. Foram feitos também o tratamento, integração e interpretação dos dados levantados, com a elaboração de mapas, perfis e estereogramas.

6.3.1 Monografia

O desenvolvimento da monografia acompanhou as etapas pré-campo, campo e pós campo. Durante a etapa pré-campo foram feitas as pesquisas bibliográficas, com o objetivo de preparar a revisão inicial. Durante a etapa de campo, ocorreu a compilação dos dados. Na etapa pós campo houve a integração e interpretação dos dados finais e redação da monografia.

6.3.2 Produção Científica

A partir dos dados coletados em campo, ocorreu a divulgação parcial dos resultados em eventos, tendo sido preparados dois resumos científicos (Apêndice V) e encaminhados para o 16º GEOSUDESTE (Simpósio de Geologia do Sudeste). O evento ocorreu nos dias 19 a 23 de outubro de 2019 no Centro de Convenções da UNICAMP em Campinas – SP.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho em questão tem foco no estudo das estruturas geológicas rúpteis que caracterizam o Lineamento Tietê, os resultados obtidos serão apresentados com base no quadro geológico regional e na descrição estrutural das informações tanto em escala de mapas como de afloramentos.

7.1 Unidades litoestratigráficas da área estudada

A partir da integração das informações do mapa geológico regional e da verificação dos afloramentos durante as campanhas de campo, foram identificados os diferentes litotipos pertencentes às seguintes unidades litoestratigráficas, respectivamente da base para o topo, que estão contidas na coluna estratigráfica da Bacia do Paraná de Perinotto & Zaine (2008), começando pelo embasamento cristalino pré-cambriano, Grupo Itararé, Grupo Guatá (Formação Tatuí), Grupo Passa Dois (Formação Irati e Formação Corumbataí), Grupo São Bento (Formação Serra Geral), e ainda os depósitos cenozoicos, estes últimos menos frequentes. Tais unidades são

descritas a seguir, conforme as principais características vistas em campo, complementando as informações bibliográficas. O mapa de afloramentos, referente as descrições feitas a seguir estão em Apêndice III ao final da monografia.

7.1.1 *Embasamento Cristalino Pré-Cambriano*

Na porção sudeste da área afloram rochas do embasamento cristalino pré-cambriano. Essas rochas foram reconhecidas em 9 dos 41 pontos descritos. E fazem contato erosivo a nordeste com rochas do Grupo Itararé e estão representados predominantemente por granitos. Os granito tem coloração rosada, possuem em sua composição fenocristais euedrais com tamanhos que variam em média entre 2 a 4 cm e cor rosa (feldspato potássico); matriz equigranular composta de minerais: anedrais, transparente (quartzo); minerais anedrais de cor branco leitoso (feldspato alcalino) e minerais de cor preta com brilho vítreo (biotita) em menor quantidade (Figura 14A). Em alguns pontos ocorrem xenólitos associados aos granitos (Figura 14B), proximo as zonas de cisalhamento ocorrem granitos milonitizados, onde a textura de deformação dos minerais é pervasiva. A foliação é marcante nestes casos, sendo comum a ocorrência de minerais de epidoto. Em zonas de fratura, e onde ocorre uma forte foliação protomilonítica a milonítica. Cabe ressaltar que a sul da Zona de Falha de Jundiuvira ocorrem rochas sedimentares metamorfizadas, constituídas de metapelitos e metapsamitos rítmicos, entretanto estas unidades não foram encontradas nos pontos de afloramentos visitados.

Figura 14. A) Detalhe para Granitos (LN_PRI_05); B) Xenólitos em Granitos (LN_PRI_05).



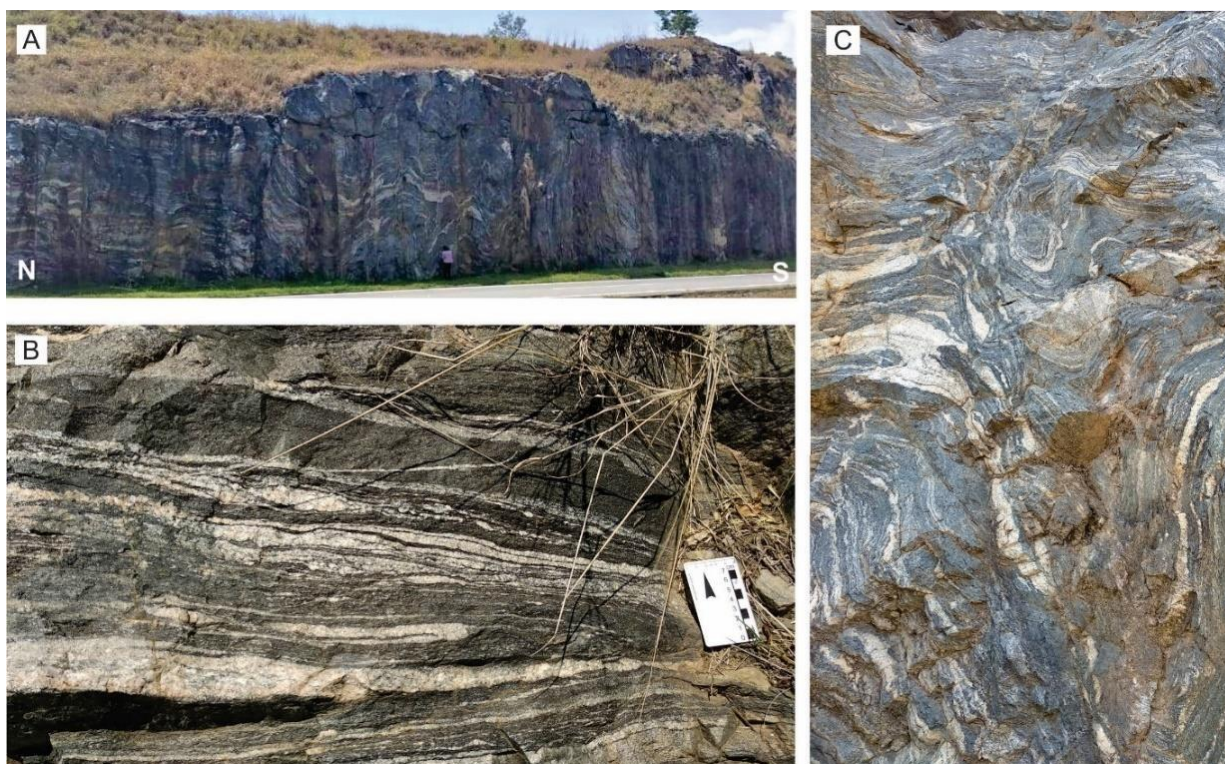
Fonte: Autora.

São comuns ortognaisses migmatíticos com diferentes estágios de migmatização marcados por diferentes proporções de paleossoma vs. neossoma. Estas rochas são compostas pela

intercalação de bandas decimétricas cinza escuro de melanossoma, contendo minerais máficos como biotita, piroxênio, anfibólio e epidoto; bandas centimétricas de leucossoma cinza claro a rosa claro, rica em quartzo e feldspato (Figura 15). É frequente a ocorrência de veios de quartzo com pirita e calcopirita, de espessura centimétrica, que cortam os ortognaisses migmatíticos em altoângulo e direção predominante NW-SE.

Todos os afloramentos descritos para as litologias citadas exibem baixo a moderado grau de intemperismo, marcado por esfoliação esferoidal e pedogênese em superfícies parcialmente caulinizadas nos granitos (Figura 16A) e intenso fraturamento e superfícies que estão sofrendo processo de epidotização como é o caso dos milonitos (Figura 16B).

Figura 15: Ortognaisses migmatíticos pertencentes ao Complexo Varginha de-Guaxupé. A) Afloramento de ortognaisses migmatíticos cerca de 7m de altura (LN_PRI_02); B) e C) Detalhe para bandamento composicional de ortognaisses migmatíticos (LN_PRI_02).



Fonte: Autora.

Figura 16. A) Esfoliação esferoidal em Granitos Alcalinos do tipo A (LN_PRI_01); B) Epidotização em granito cataclasado em zona de falha (LN_ITU_06).



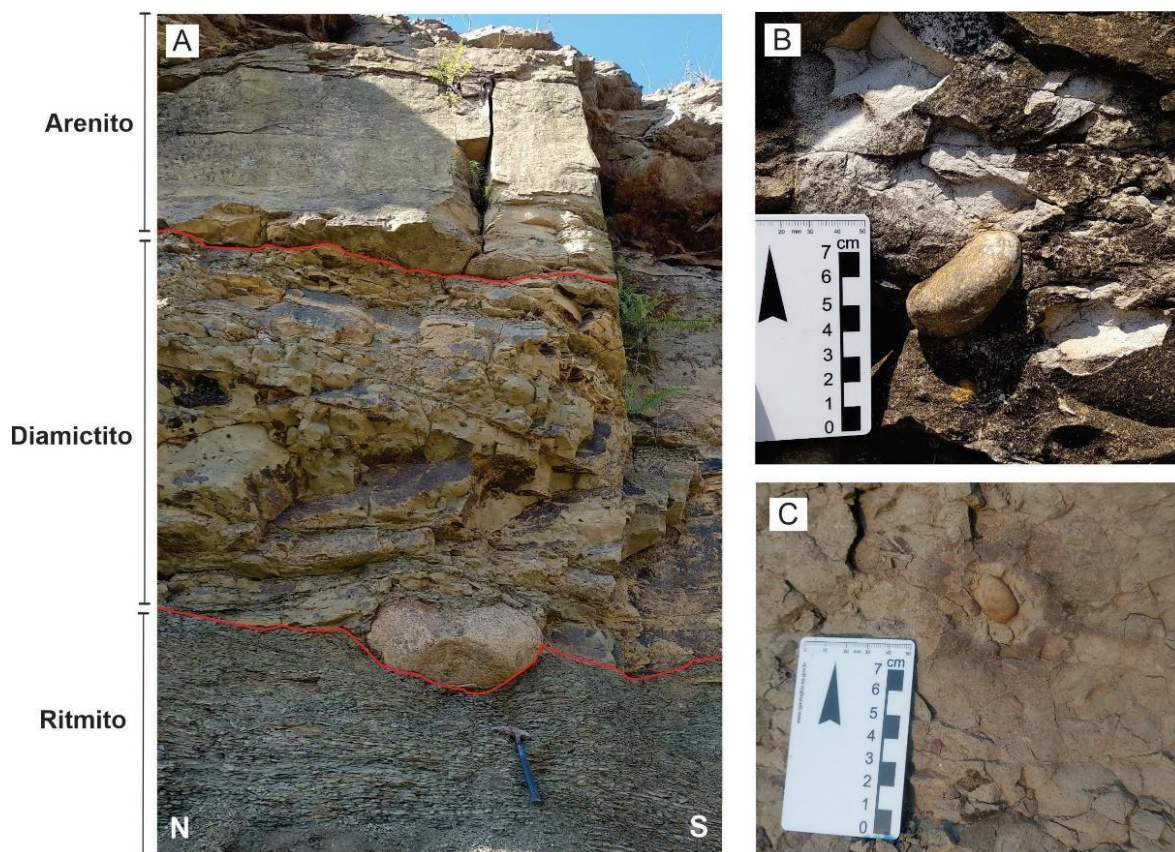
Fonte: Autora.

7.1.2 Grupo Itararé

As rochas do Grupo Itararé ocorrem na porção central da área de estudo, entre os municípios de Capivari, Itu e Salto, tais litotipos estão em contato com o embasamento cristalino e possuem contato discordante com o Grupo Guatá que ocorre estratigraficamente acima. Foram descritas em 25 dos 41 pontos levantados.

Foram identificadas seis litologias: *diamictito* de coloração creme e vermelho acinzentado, maciços com presença de grânulos, seixos e calhaus de quartzitos e granitos dispersos em matriz areno-argilosa, arredondados a angulosos ou facetados, o que pode indicar abrasão por efeito glacial (Figura 17A e B); *arenito conglomerado*, mal selecionado, com estratificação plano paralela ou cruzada de baixo ângulo, formando camadas decimétricas a métricas. Os seixos e clastos são arredondados, por vezes polidos, com uma variada composição litológica, como quartzo, quartzito, granito, gnaiss, entre outros (Figura 17C). *Arenito grosso* composicionalmente maduro com estratificação cruzada acanalada e maciço (Figura 17A e 18); *arenito* de granulação média com estratificação cruzada acanalada (Figura 19); *ritmito*, destaque na região de Itu, descrito com maior detalhe a seguir (Figura 17A e 20A); *argilito* de coloração amarelo avermelhada (Figura 20B) e *siltito* de coloração creme a cinza esverdeada, com estratificação plano-paralela, totalmente pastilhados (Figura 20C). O grau de intemperismo destas unidades é moderado a alto e caracteriza o horizonte saprolítico, que são friáveis e apresentam coloração amarelada (Figura 20C), localmente são cobertos por uma couraça ferruginosa.

Figura 17. Afloramentos do Grupo Itararé. A) Ritmito na base, em contato com diamictito e arenito grosso maciço no topo, matacão de granito com cerca de 50 cm no centro; (LN_ITU_05); B) Detalhe para facie diamictito com seixo facetado de granito, imerso em matriz arenosa (LN_PRI_10); C) Detalhe para arenito conglomerado, seixo arredondado com auréola de oxidação no centro (LN_ITU_25).



Fonte: Autora.

Figura 18. Afloramentos do Grupo Itararé. Arenito grosso com estratificação cruzada acanalada em vermelho camada de seixos arredondados (LN_PRI_32).



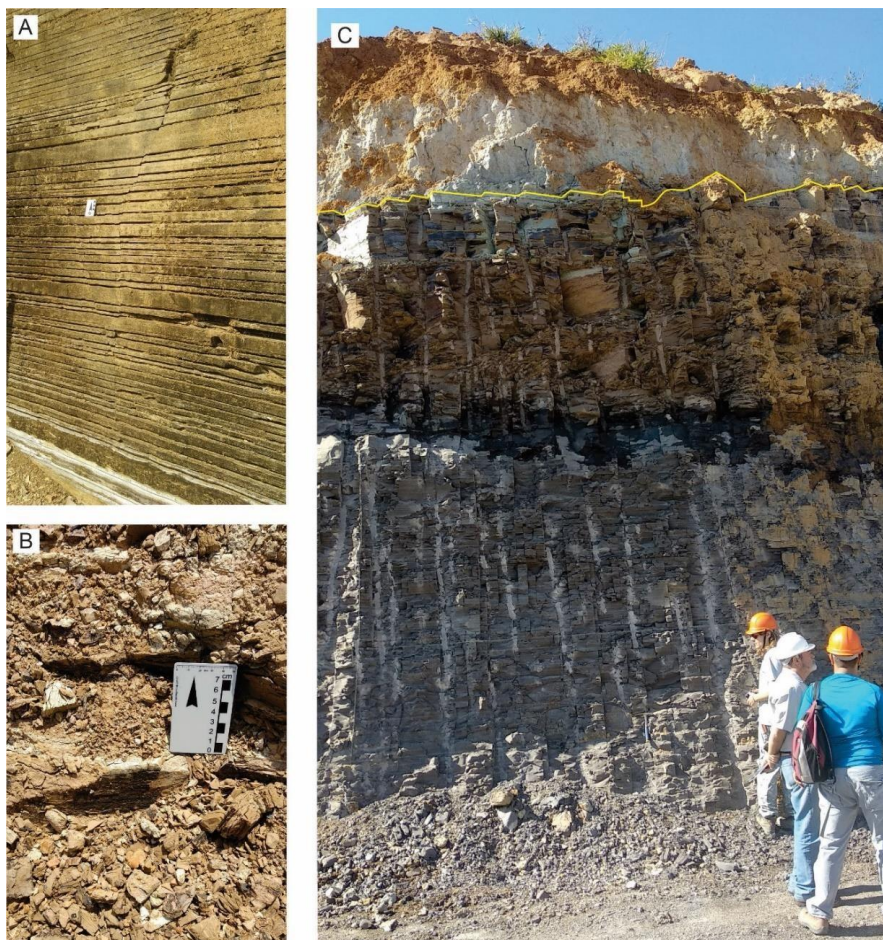
Fonte: Autora.

Figura 19. Afloramentos do Grupo Itararé. Arenito médio com estratificação cruzada acanalada (LN_PRI_11).



Fonte: Autora.

Figura 20. Afloramento do Grupo Itararé. A) Ritmito localizado no Parque do Varvito em Itu (LN_ITU_01); B) Argilito de coloração amarelo avermelhada (LN_PRI_08); C) Siltito de coloração creme a cinza esverdeada, com estratificação plano-paralela, totalmente pastilhados. No topo a cima da linha amarela, horizonte saprolítico (LN_ITU_02).



Fonte: Autora.

Para esta unidade destaca-se o Parque Estadual do Varvito, localizado na Rua Parque do Varvito nº 400, Itu - SP (Figura 21). No qual foram feitas visitas técnicas com o intuito de observar a antiga cava da Pedreira Itu, de onde eram extraídas lajes utilizadas para pavimentação de edifícios e calçadas da cidade de Itu, desde pelo menos o começo do século XVIII, hoje transformado em parque estadual temático.

Figura 21. Localização da área de estudo, Parque Estadual do Varvito.

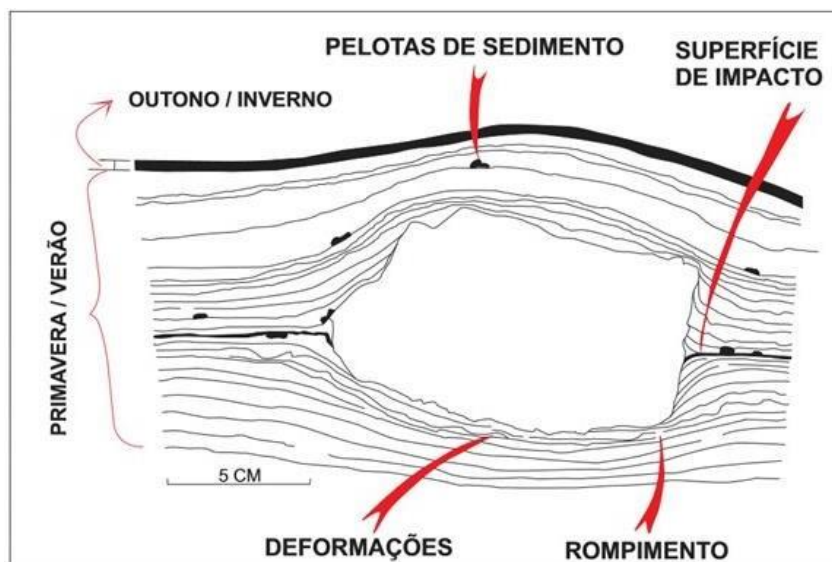
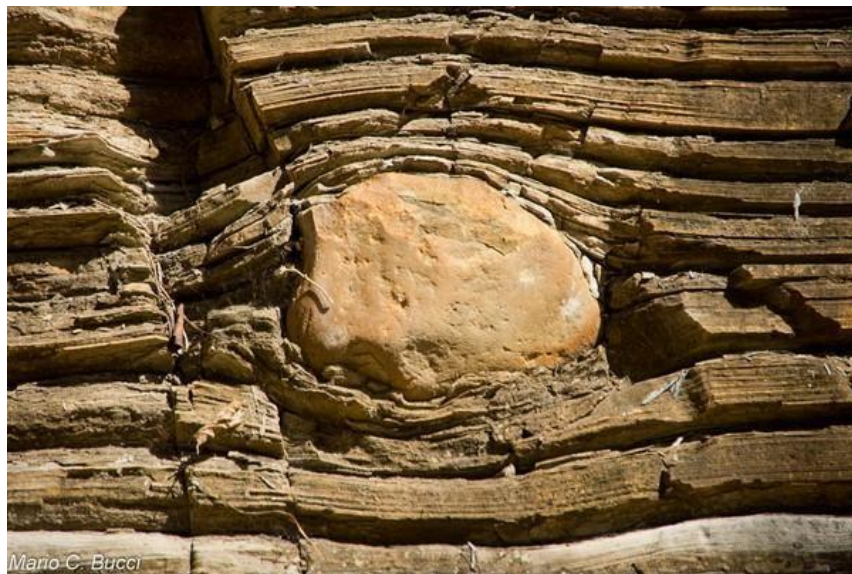


Fonte: Google Earth 07/07/2019

No Parque do Varvito (Figura 21) é possível observar rocha sedimentar do Grupo Itararé, ritmitos, formados por sedimentos depositados em lago de ambiente glacial próximo a uma terminação de geleira, chamada de “varvito”. Os sedimentos foram acumulados de forma rítmica durante as estações primavera/verão e outono/inverno. Nos períodos quentes, as águas de degelo transportaram partículas maiores (areia e silte) para dentro do lago, onde estes sedimentos se espalham através de enxurradas densas, resultando nas camadas ou lâminas mais espessas de cor cinza-claro. Nessa época, pedaços de gelo podem se soltar da frente da geleira, situada junto à margem do lago, e formar icebergs (gelo flutuante) que, por derretimento, liberam no fundo do lago possíveis detritos que carreguem, seixos, calhaus e matacões. A superfície sobre a qual o detrito cai provoca encurvamento, penetração (rompimento) e enrugamento das camadas interiores. Os sedimentos depositados a seguir também são deformados pela compactação causada pelo peso das camadas depositadas posteriormente (Figura 22). Nos períodos frios, as

águas de derretimento cessam e a superfície do lago congela, o que permite uma melhor deposição por decantação de sedimentos devido à ausência de fluxo. Nesse caso, em decorrência da ausência de fluxo, ocorre a deposição de partículas menores (silte e argila) por decantação no fundo do lago, formando as lâminas cinza-escuro.

Figura 22. Calhau de Quartzito deformando camadas e lâminas do Varvito.



Fonte: Adaptado de Mario C. Buchi.

7.1.3 Grupo Guatá

A Formação Tatuí, pertencente ao Grupo Guatá, distribui-se em forma de faixas alongadas e sinuosas na porção centro-norte da área de estudos, ocorre em 2 dos 41 pontos descritos, e faz contato abrupto com a Formação Irati. A unidade é representada por siltitos acamadados, com intercalações menos importantes de arenitos finos que gradam para granulação grossa mal

selecionado, coloração avermelhada com manchas brancas e estratificações plano paralela, aparentemente maciços (Figura 23). O grau de intemperismo destas unidades é moderado a alto. O produto de alteração consiste em solo arenoso avermelhado a solo de coloração bege- claro.

Figura 23. Arenito fino a grosso mal selecionado pertencente ao Grupo Guatá Formação Tatuí (LN_PRI_28).



Fonte: Autora.

7.1.4 Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois, aflora na porção nordeste, próximo à cidade de Piracicaba e o município de Saltinho, em 1 dos 41 pontos descritos, na Mineração de Calcário Amaral Machado. Foram realizadas visitas técnicas à mina, localizada na Rodovia SP 127 km 57,3 – Cidade: Saltinho / SP (Figura 24).

Na base da cava, representando a porção mais basal da unidade, ocorrem siltitos maciços a laminados do Membro Taquaral. Nas porções intermediárias, como principal camada explorada na mina, ocorre o banco de calcário dolomítico com cerca de 3 metros de espessura, sobreposto pelo pacote de ritmito da Formação Irati, constituída de intercalação de folhelho escuro com laminação plano paralela, e presença de concreções de sílex (indicando pertencer ao Membro Assistência da Formação Irati), com camadas de calcário dolomítico de coloração branca, formando bancaras com cerca de 7 metros de altura (Figura 25). Por possuir características químicas o calcário dolomítico tem sido utilizado na agricultura, para corrigir a acidez do solo no processo conhecido como calagem.

No topo, podendo alcançar até 3 metros de espessura, ocorrem pelitos cinza escuro e raramente arenitos finos da Formação Corumbataí (Figura 25), esse pacote de rochas é recoberto por material inconsolidado, formado por uma camada de solo arenoso (Figura 25).

Figura 24. Localização da área de estudo, Pedreira Calcário Amaral Machado Mineração.



Fonte: Google Earth 10/06/2019

Figura 25. Cava da Pedreira Calcário Amaral Machado Mineração (LN_CAL_01), frente de lavra com cerca de 9 metros de altura.

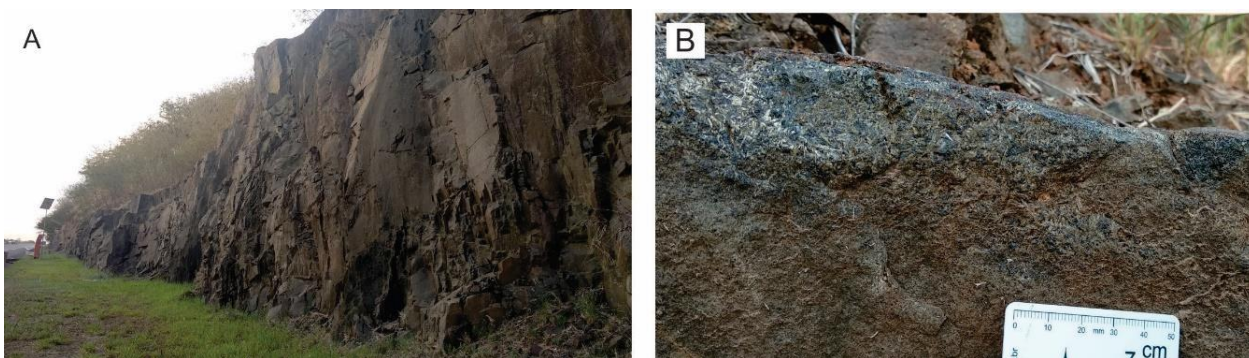


Fonte: Autora.

7.1.5 **Grupo São Bento**

O Grupo São Bento, é representado por rochas intrusivas básicas associadas à Formação Serra Geral. Ocorre ao longo da área de estudos em pontos isolados, reconhecidas em 2 dos 41 pontos descritos, faz contato intrusivo com as rochas encaixantes. São representadas por diques e sills de diabásio maciços (Figura 26A), de coloração cinza escuro a preto, com grãos bem finos, composto por minerais alongados, preto, com brilho vítreo, possivelmente piroxênio. Os afloramentos descritos para esta rocha exibem baixo a moderado grau de intemperismo, marcado por intenso fraturamento, formando corpos tabulares, com disjunções colunares, além do processo de epidotização e cloritização em sua superfície (Figura 26B).

Figura 26. A) Afloramento de diabásio do Grupo São Bento com cerca de 7 metros de altura (LN_PRI_26); B) Processo de cloritização (LN_PRI_26).

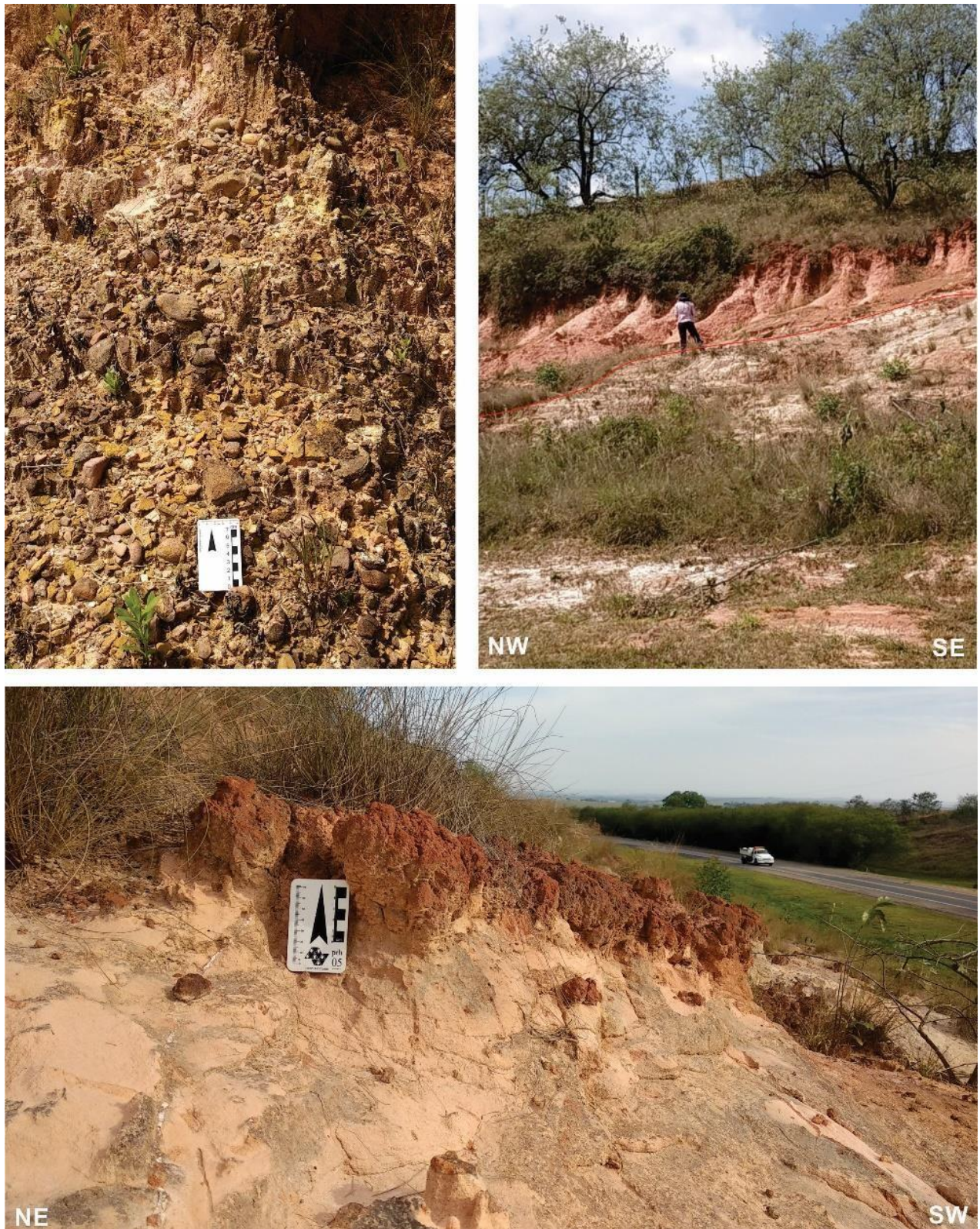


Fonte: Autora.

7.1.6 **Depósitos cenozoicos**

Os depósitos cenozoicos, descritos em 1 dos 41 pontos analisados, correspondem arenitos de granulação média a grossa, mal selecionados, com clastos e fragmentos angulosos, localmente conglomeráticos, com camadas cascalhosas mal selecionadas, compostos por clastos arredondados de quartzo nas frações grânulo a matacão (atingem até 30cm de diâmetro) inseridos em matriz argilosa e ou arenosa. Exibe um alto grau de intemperismo, marcado por ravinas, com espesso solo arenoso, esbranquiçados, amarelados a avermelhados e superfície laterizada de composição areno-argilosa, com concentrações ferruginosas esverdeadas (Figura 27).

Figura 27. Afloramento da Formação Itararé, com diamictito na base, em contato com siltito avermelhado e recoberto por depósitos cenozoicos no alto do afloramento (LN_PRI_15). A) Camada de cascalhos dispersos na superfície e mal selecionadas; B) Contato entre diamictito e siltito; C) Superfície de laterização.



Fonte: Autora.

7.2 Elementos Geomorfológicos-Estruturais Da Paisagem

A análise macroestrutural de estruturas geológicas com possível influência tectônica foi feita em escala de mapa através da observação indireta, com o foco na morfologia do terreno, como: escarpas alinhadas, variações bruscas de declividade e anomalias na rede de drenagem, que possui geometrias retilíneas características. A partir de bases cartográficas georreferenciadas das, foram preparados os mapas temáticos, descritos a seguir.

7.1.2 Rede de Drenagem e Topografia

A partir da análise do mapa topográfico e de drenagem (Figura 28), foram efetuados estudos da rede de drenagem e dos elementos de relevo associados, tais como a marcação dos padrões de drenagem e suas anomalias, feito uma busca de estruturas possivelmente controladas pela tectônica.

As principais bacias hidrográficas da área são representadas pelas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, todos afluentes do Rio Tietê. O Rio Piracicaba corre na porção norte da área, onde também ocorrem trechos do rio Corumbataí e seus afluentes da margem esquerda; já a porção Sul, é cortada pelo rio Tietê e seus tributários da margem direita, Ribeirão Jibóia, Rio Jundiaí e rio Capivari, este último com maior influência na porção central.

O curso do rio Piracicaba segue a direção principal E-W, entretanto ao longo de seu trajeto possuem várias inflexões e curvas controlados por fraturas nas direções N-S NW-SE e NE-SW. Apresenta uma forte assimetria de drenagem, marcada por longos tributários na sua margem direita, tendo como principal afluente o Rio Corumbataí. Os afluentes da margem esquerda do Rio Piracicaba são mais frequentes na área de estudos e, apresentam orientação geral próxima a N-S.

O rio Tiete tem seu curso principal direcionado para noroeste, e assim como o Rio Piracicaba apresenta uma forte assimetria de drenagem, indicando possível controle tectônico. Os afluentes da margem esquerda são longos e retilíneos, com forte controle estrutural, pois acompanham linhas de falhas. Os afluentes da margem direita são mais curtos, com exceção do Rio Capivari, que corre subparalelo ao rio Piracicaba, com direção principal E-W. Na região do município de Capivari, os afluentes da margem direita do Rio Capivari apresentam curvas bruscas e inflexões indicando anomalias estruturais, com trechos retilíneos de orientação N-S e NE-SW.

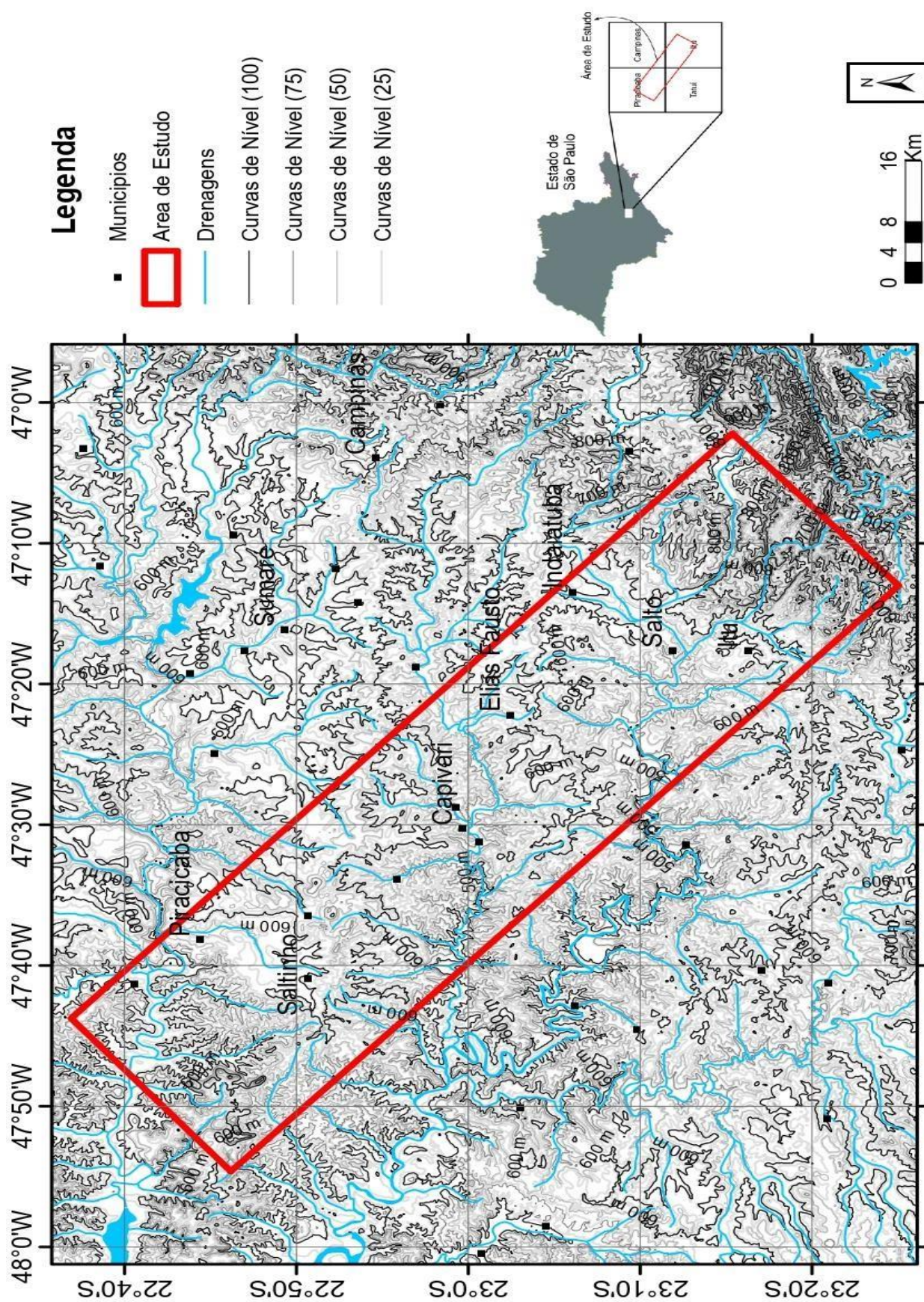
Dependendo da porção analisada e da escala de observação, são encontrados padrões de drenagem meandrante e anastomosado dendrítico, tendendo a paralelo e retangular angulado, possivelmente ali controlados por zonas de fraturas.

Os principais tipos de anomalias observadas são longos segmentos retilíneos, que estão alinhados segundo algumas direções principais, curvas anômalas, cotovelos e assimetria de drenagens, todos seguindo as direções preferenciais NW-SE e E-W, secundariamente as direções NE-SW e N-S. A rede de drenagem indica influência tectônica, pois acompanha grandes lineamentos estruturais, como no caso das falhas de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira que apresentam direção NW/SE, além da Zona de Cisalhamento de Campinas de direção NE/SW, localizadas na região sudeste da área, caracterizadas por Neves (1999 e 2005) e CPRM (1984 e 2004), além de fraturas mapeadas pela CPRM / DNPM (1984) localizadas na região central da área, próximo ao município de Capivari.

O estudo das curvas de níveis permitiu identificar também feições morfoestruturais. O relevo analisado possui sua morfologia condicionada por falhas e juntas, é caracterizado por basculamentos de blocos, escarpas alinhadas, quebra de relevo, canais de drenagens anômalos. Visualmente é possível observar um contraste textural entre os relevos da Depressão Periférica, que ocupa a maior parte da área, e do Planalto Atlântico, localizada na porção sudeste da área. Foi observado um limite bem marcado pela transição textural entre as duas províncias, este limite ocorre por uma transição ao longo da direção NE-SW localizado na região de Salto e Itu, coincidindo com a Zona de Cisalhamento de Campinas e com os contatos entre as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e as rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano.

Os depósitos de coberturas cenozoicas estão localizados na porção central da área, ao longo de drenagens e em alguns topos de serras aplainadas com altitude variando de 540 metros a 680 metros. As rochas sedimentares da Bacia do Paraná, ocupam a maior parte da área, cerca de 80%, sua altitude varia de 480 metros a 650 metros diminuindo para noroeste, e é caracterizada por colinas amplas de topos aplainados a convexos, alongados na direção NNE-SSW. A parte mais alta com altitude variando de 540 metros a 900 metros, está localizada na região de predomínio da litologia pré-cambriana porção sudeste da área e é caracterizada por relevo montanhoso com vales profundos, encostas retilíneas e convexas.

Figura 28: Mapa de curva de nível e drenagem.



Fonte: Autora

7.1.2 *Análise dos Lineamentos*

O mapa de estruturas lineares extraídas da imagem SRTM (Apêndice I) foi confeccionado após a análise dos traços principais que podem estar relacionados aos elementos tectônicos que influenciam na morfologia atual e nos padrões de redes de drenagem anômalos, como trechos retilíneos de canais de drenagens, cotovelos, inflexões, etc.

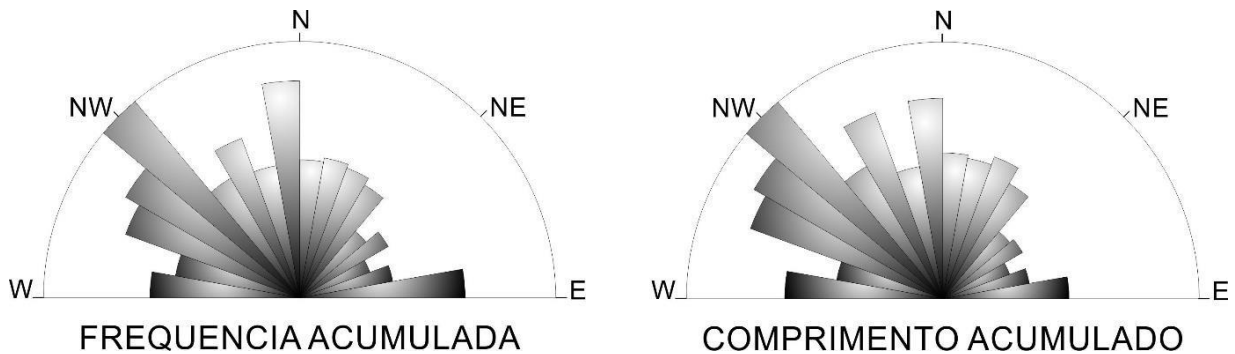
Os traços lineares identificados na imagem de satélite indicam que fraturas condicionam a morfologia da drenagem e influenciam o curso principal do rio Tietê, inflexões do Rio Piracicaba e rio Capivari, além de acompanharem os grandes traços representados pelas falhas que formam os altos estruturais de Pitanga, Pau d' Alho e Jibóia a nordeste da área, assim como as falhas de Itu, Piraí, Cururu, Cachoeira e Zona de Cisalhamento de Campinas, a sudeste da área. Os traços lineares também concordam com as fraturas mapeadas pela CPRM (2004).

Após análise pode se dizer que as orientações mais expressivas, em termos de frequência acumulada, estão na direção NW-SE (Apêndice I). A direção NE-SW, ocorrem associadas às inflexões dos rios Piracicaba, Tietê e Capivari. A direção E-W aparece bem marcada no vale do rio Piracicaba, rio Capivari e inflexões do Rio Tietê.

A Figura 29 mostra um diagrama de rosetas de Frequência Acumulada e Comprimento Acumulado, com intervalos angulares de 10°, referente a 564 traços lineares interpretados. Estes diagramas permitem o reconhecimento das principais direções referente ao comprimento e a maior frequência de ocorrência das estruturas marcadas e apresentadas no mapa de estruturas lineares extraídas do MDT (Apêndice I). O estudo do diagrama de roseta de Frequência Acumulada indica, maior frequência dos lineamentos na direção N45W (N40W - N50W), secundariamente N05W (NS - N10W) e menos expressivas N85E (N80E - N90E). No caso do diagrama de roseta de Comprimento Acumulado, os traços com maior comprimento, tem maior expressividade na direção N45W (N40W - N50W) assim como no diagrama anterior, secundariamente ocorrem N05W (NS - N10W), N25W (N20S - N30W), N55W (N50S - N60W) e menos expressiva a direção N65W (N60W - N70W).

Os traços estruturais reconhecidos no quadro macroscópico indicam a presença de um forte controle estrutural da direção NW—SE, marcando forte padrão de fraturamento, ocorrência dos segmentos de maior extensão e, principalmente, pela projeção dos lineamentos das rochas pré-cambrianas para dentro dos domínios das rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

Figura 29. Diagrama de roseta produzidos com auxílio do software AutoCad e CorelDraw X6 a partir de estruturas lineares obtidas em MDT.



Fonte: Autora.

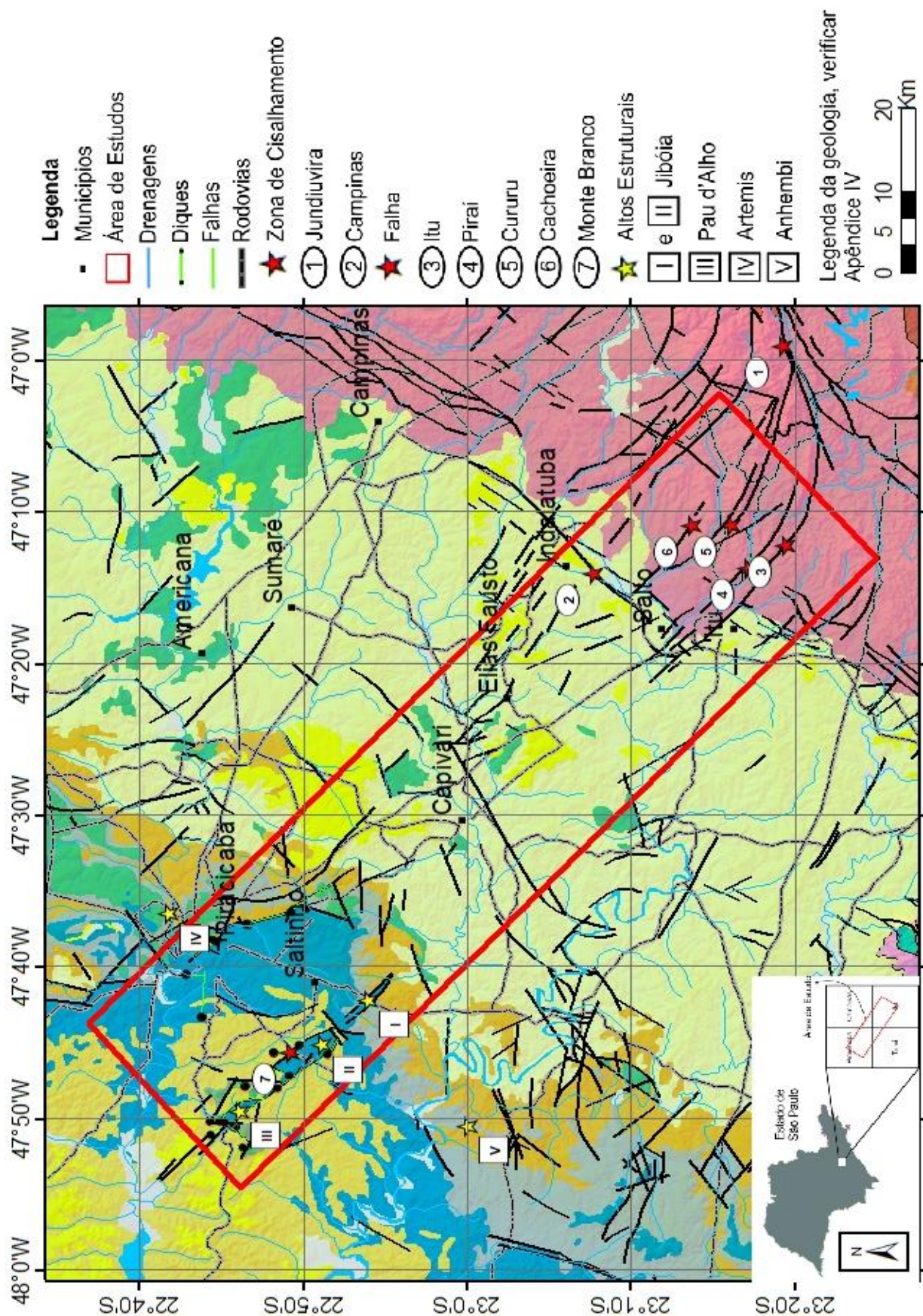
7.1.3 Análises do Mapa Estrutural Integrado

O Mapa Estrutural Integrado (Apêndice II) integra o traço das estruturas como falhas, juntas e diques e teve o objetivo de auxiliar no planejamento do trajeto de campo, e escolha dos locais com possíveis registros estruturais. A partir dos mapas obtidos na revisão bibliográfica e dos mapas da CPRM (1984 e 2004), foram lançados os traços das estruturas principais em uma única base. A análise e comparação dos dados estruturais destes mapas é feita a seguir:

Na porção noroeste da área de estudo ocorre maior concentração de intrusões ígneas, resultado do intenso magmatismo Serra Geral durante o Jurássico, no Mesozoico. As intrusões de diabásio ocorrem preferencialmente encaixada ao longo de falhas paralelas/subparalelas de direção NW-SE e secundariamente NE-SW, estas falhas estão associadas aos altos estruturais de Jibóia e Pau D'alho (Figura 30), caracterizado por Sousa (2002). Os diques referentes ao magmatismo Serra Geral, foram mapeadas pelo CPRM / DNPM (1984) e citadas por BATISTA (2002). As intrusões de diabásio apresentadas pelo CPRM / DNPM (1984) coincidem com falhas da CPRM (2004). Batista (2002) também acrescenta intrusões ígneas no alto estrutural de Jibóia, na região do Gráben da Fazenda. No entanto, os diques associados a falhas não são representados em todos os mapas.

Quanto à comparação das falhas encontradas nas bibliografias observa-se maior densidade de lineamentos na direção NW-SE. A Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral de Jundiuvira (Figura 30) a sudeste da área, é registrada como falha inferida em 1984, já em 2004 é considerada como zona de falha, pela CPRM. Neves (2005) também apresenta em seus trabalhos as zonas de falhas desta região, considerando as falhas de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira de direção NW-SE, além da Zona de Cisalhamento de Campinas de direção NE-SW (Figura 30). As falhas inferidas, marcadas durante mapeamento de 1984 são corroboradas pelo mesmo órgão CPRM (2004).

Figura 30. Traços de falhas regionais com direção principal NW-SE e NE-SW e altos estruturais localizados na área de estudos.



Fonte: Autora.

7.3 Contexto Geológico Estrutural Local

Este capítulo se refere ao estudo das estruturas geológicas rúpteis em escala macrorregional e macroscópica. Tais estruturas foram observadas em imagem SRTM, extraídas de bases cartográficas, em escala 1:100.000 e 1:1.000.000; as bibliografias consultadas, apresentam escala 1:100.000; e os dados coletados em campo, em escala de afloramento. A partir da análise destes dados, são definidos dois domínios estruturais na área, Domínio de rochas do embasamento e Domínio de rochas da Bacia do Paraná. Foram reconhecidas fraturas em rocha aflorante, considerando juntas com e sem espaçamento, preenchidas ou não; e falhas contendo planos com estrias, além de blocos soerguidos e abatidos, que colocam unidades litoestratigráficas mais recentes ao lado de unidades mais antigas.

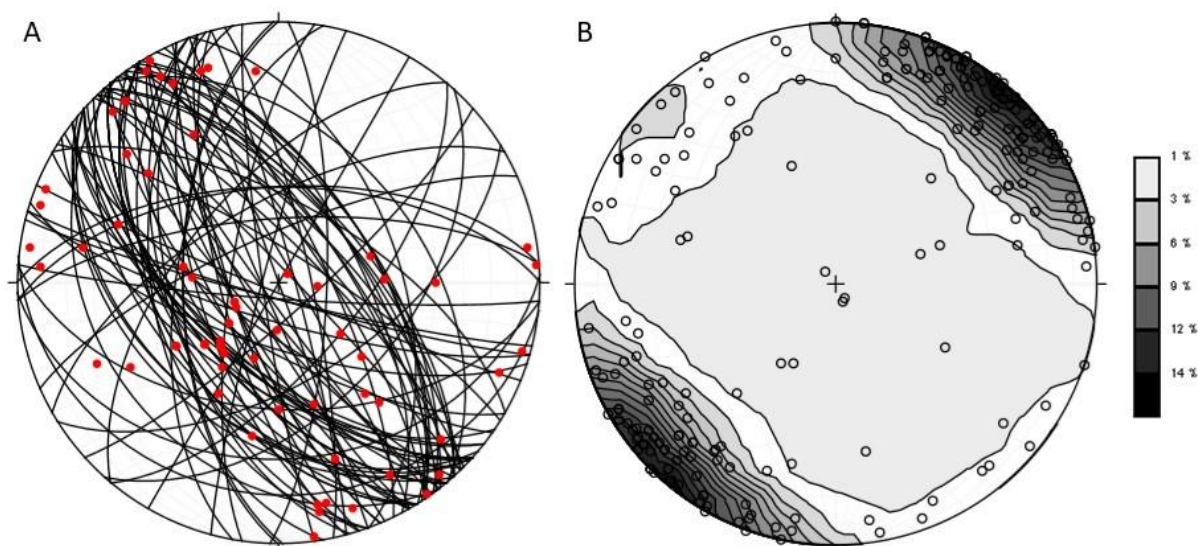
7.3.1 Domínio Pré-Cambriano

O Domínio de rochas do embasamento pré-cambriano ocorre na porção sudeste da área até seu contato com a Bacia Sedimentar do Paraná. Este limite também marca a transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica do estado de São Paulo.

Os traços estruturais principais são relacionados à foliação regional e às zonas de cisalhamento, que marcam fortemente a morfologia regional na direção NE-SW. Os lineamentos estruturais de direção NW-SE são bem marcados por altos topográficos e escarpas alinhadas, que correspondem às falhas de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira, que se ramificam sob a forma de um rabo-de-cavalo a partir da Zona de Falha de Jundiuvira, localizada na região de Jundiá. Importante destacar que no limite deste Domínio e do Domínio de rochas da Bacia do Paraná ocorre a Zona de Cisalhamento de Campinas com direção preferencial NE-SW. Estes lineamentos constam no Mapa Geológico do Estado, e não são o foco deste estudo.

No estereograma da figura 31A foram plotados em projeção ciclográfica as falhas medidas no embasamento pré-cambriano e suas respectivas estrias, observa-se uma grande dispersão de orientações, portanto os dados serão analisados a seguir separadamente, de acordo com os tipos de falhas. O padrão de fraturamento do embasamento mostra duas famílias principais com direção NW-SE, sendo seguida por outra de direção NE-SW. No estereograma da figura 31B foram plotados os polos referente as medidas de juntas do embasamento. Observa-se que as maiores frequências das medidas realizadas indicam orientações N45W e N45E com mergulho subvertical.

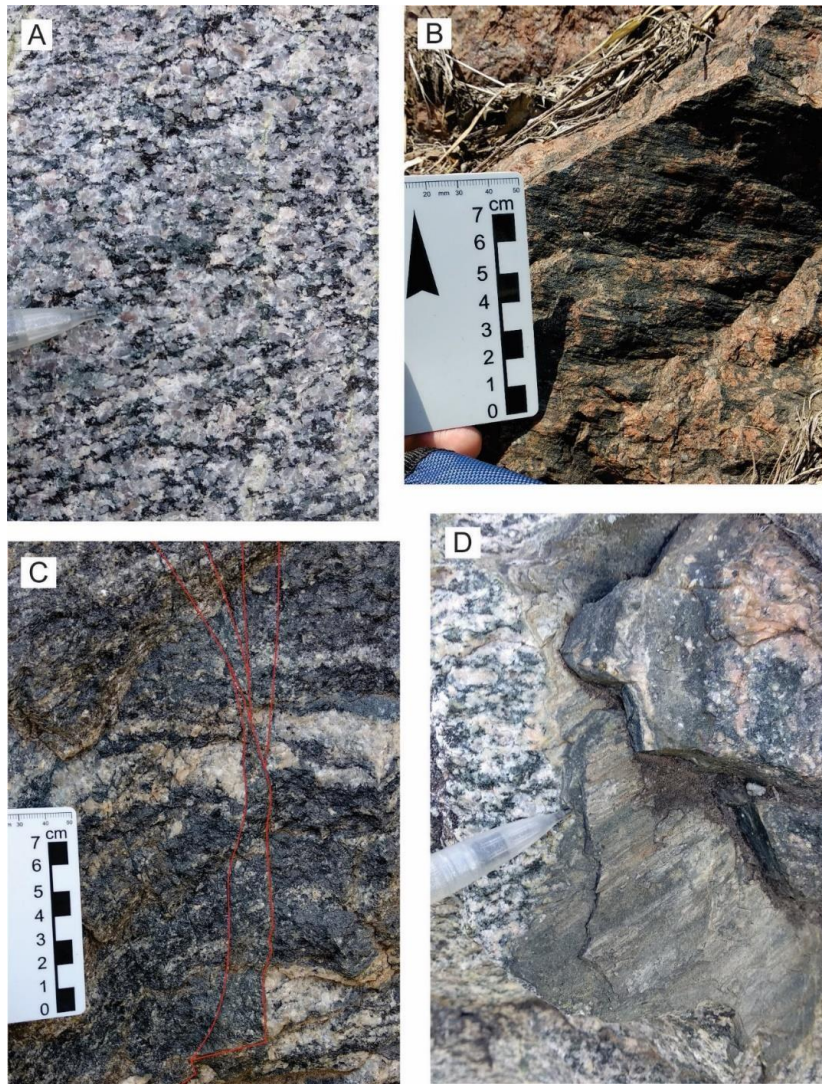
Figura 31. Estereograma referente a medidas realizadas no embasamento cristalino); A) Projeção ciclográfica de 92 falhas; B) Projeção estereográfica polos de 217 medidas de juntas (projeção no hemisfério inferior).



Fonte: Autora.

A zona de falha de Jundiuvira e suas ramificações as falhas de Itu, do Piraí, do Cururu e de Cachoeira se originaram através do regime transcorrente em estado dúctil e em todo seu percurso houve formação de intensa foliação milonítica que deformam os maciços graníticos, próximos a região do município de Itu (Figura 32A). Alguns destes granitos milonitizados são cortados por falhas transcorrentes, evidenciando uma deformação rúptil posterior com planos de falha bem marcados por estrias e alto ângulo de mergulho indicando movimento transcorrente dextral (Figura 32B). Ortognaisses Migmatíticos também registram estrias em planos de falhas e deslocamento milimétrico em bandamento composicional, evidenciando deformação rúptil (Figura 32C e D). As falhas que afetam este domínio são do tipo normal, inversa, transcorrente dextral e sinistral.

Figura 32. Afloramento do embasamento pré-cambriano. A) Foliação milonítica em granito; B) Plano de falha marcado por estrias em granito; C) Bandamento composicional fraturado com deslocamento milimétrico; D) Plano de falha marcado por estrias em ortognaisses migmatíticos.

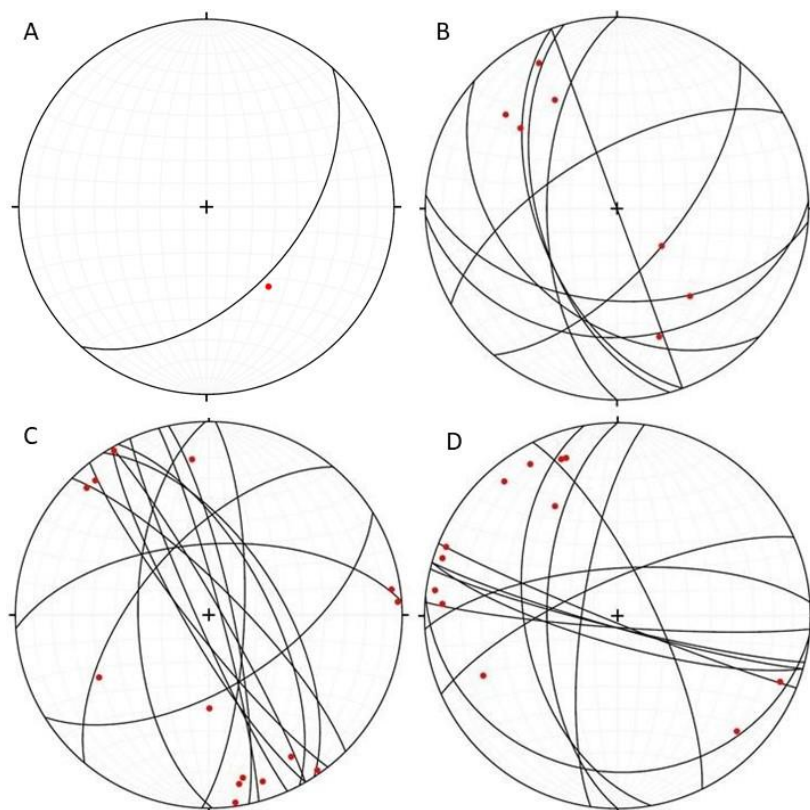


Fonte: Autora.

Nos estereogramas da figura 33 foram plotados em projeção ciclográfica as falhas normais (Figura 33A), inversas (Figura 33B), transcorrentes dextral (Figura 33C) e sinistral (Figura 33D) e suas respectivas estrias, referente as medidas realizadas no embasamento cristalino. Foi reconhecida apenas uma falha normal com orientação N45E/50SE. As falhas inversas apresentam um máximo principal de direção NNW-SSE e médio ângulo de mergulho e dois secundários E-W e NE-SW de baixo ângulo. Quanto às falhas transcorrentes dextrais, assim como o anterior, possui uma direção principal NNW-SSE com alto ângulo de mergulho e dois conjuntos N-S e NE-SW de baixo ângulo e menos frequentes. Já as falhas transcorrentes sinistrais

mostram uma dispersão maior, com dois conjuntos principais N-S e WNW-ESE com alto ângulo de mergulho.

Figura 33. Estereogramas das falhas normais, inversas, transcorrentes dextral e sinistral e suas respectivas estrias, do embasamento. A) Projeção ciclográfica da falha normal e respectiva estria; B) Projeção ciclográfica das falhas inversas e respectivas estrias; C) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes dextral e respectivas estrias; D) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral e respectivas estrias.



Fonte: Autora.

7.3.2 Domínio Fanerozoico

O Domínio de rochas da Bacia do Paraná ocorre desde a Zona de Cisalhamento de Campinas até os limites da área de estudos na porção noroeste e onde ocorrem as rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

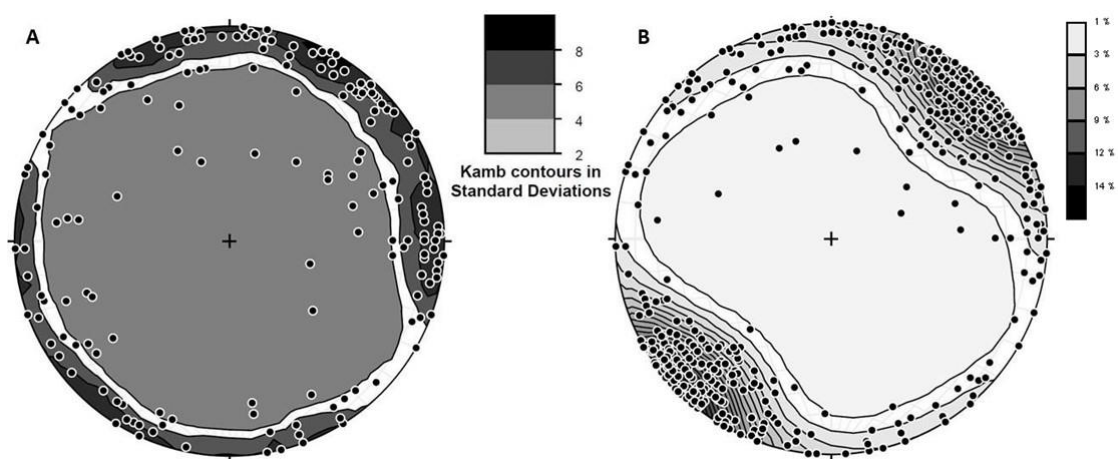
As unidades do Grupo Itararé registram deformações atectônicas, associadas aos processos sedimentares como dobras causadas por movimentação de geleiras e estrias em superfície, resultado do atrito entre os fragmentos de rochas transportados por geleiras e a superfície da rocha por onde passaram. Já existem trabalhos que detalham este tipo de deformação nas unidades citadas, porém este não é o foco deste estudo.

As falhas que afetam este domínio são do tipo normal, inversa e transcorrente dextral, de direção NW-SE com estrias bem marcadas nos planos de falhas. Foram reconhecidas deformações em unidades litoestratigráficas do Grupo Itararé e Grupo Passa Dois, na Formação Irati e Corumbatai. Dos afloramentos visitados em campo, referentes ao Grupo São Bento, não foram reconhecidas deformações nas unidades da Formação Serra Geral. Portanto não se pode afirmar que estas unidades sofreram deformação tectônica posterior as intrusões básicas no Cretáceo.

Além de acompanharem as fraturas regionais, os diques de diábasio da Formação Serra Geral, apresentam juntas de alívio de baixo ângulo, sub-horizontais, interpretadas como decorrentes da evolução topográfica, assim não consideradas.

Os dados coletados em campo indicam que o Grupo Itararé apresenta um padrão de falhas muito semelhante ao do embasamento cristalino apresentado no item anterior. A família de direção NW-SE é a mais importante, existindo também outra menos significativa orientada a NE-SW, ambas com alto ângulo de mergulho (Figura 34A). Percebe-se uma grande dispersão de orientações, portanto os dados serão analisados a seguir separadamente, de acordo com as juntas e o tipo de falha. O padrão de juntas observado no estereograma das medidas realizadas nas rochas da Bacia do Paraná segue a direção NW-SE (Figura 34B).

Figura 34. Estereogramas referente a medidas realizadas no Grupo Itararé (projeção no hemisfério inferior); A) Projeção estereográfica representando polos de 195 falhas; B) Projeção estereográfica representando polos de 655 medidas de juntas.



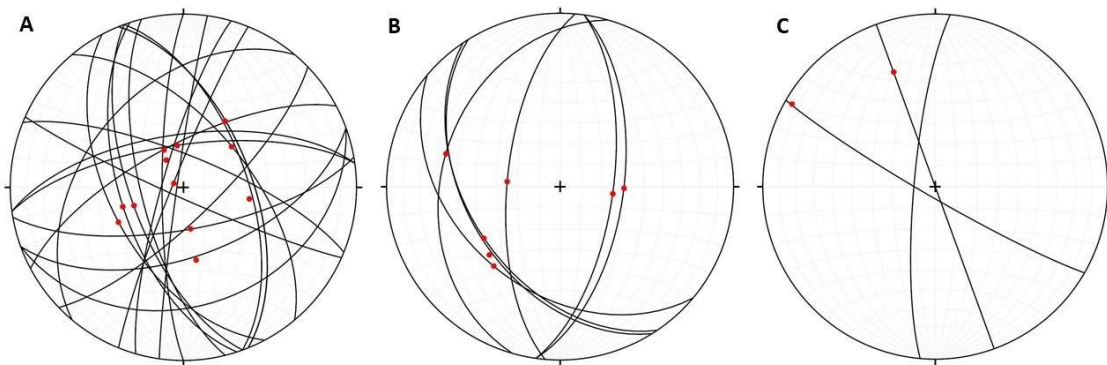
Fonte: Autora.

7.3.2.1 Grupo Itararé

Das estruturas encontradas no Grupo Itararé as falhas normais predominam sobre as falhas inversas e transcorrentes dextrais. Nas direções medidas para as falhas normais NW-SE, NNE-

SSW e ENE-WSW com médio a baixo ângulo de mergulho, se sobressaem das demais (Figura 35A). As falhas inversas possuem dois conjuntos de famílias com direção principal NW-SE e NNE-SSW com médio ângulo de mergulho (Figura 35B). As falhas transcorrentes dextrais, ocorrem em menor quantidade de forma dispersa, seguindo a direção NW-SE e NNE-SSW (Figura 34C).

Figura 35. Estereogramas das falhas normais, inversas e transcorrentes dextrais, e suas respectivas estrias, referentes as medidas realizadas na Bacia do paraná. A) Projeção ciclográfica das falhas normais e respectivas estrias; B) Projeção ciclográfica das falhas inversas e respectivas estrias; C) Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes dextrais e respectivas estrias.



Fonte: Autora.

7.3.2.2 Parque do Varvito

Pertencente ao Domínio dos depósitos da Bacia do Paraná, o Grupo Itararé merece destaque devido ao levantamento sistemático realizado no Parque Estadual do Varvito.

No piso de visitação principal, onde estão registrados os rastros dos seres bent nicos, e na parede lateral, são reconhecidas zonas de fraturas paralelas a subparalelas entre si, organizadas em arranjos complexos de feições transtensivas e transpressivas associadas a zonas transcorrentes. Na parede lateral, foi reconhecida uma estrutura transtensiva do tipo flor negativa. Foram feitas classificações e medidas estruturais de juntas, falhas e estrias e interpretações que as relaciona ao Lineamento Tiete.

Os dados coletados e apresentados na Tabela 1 (Apêndice VI) referem-se às medidas de fraturas que compõem a estruturas em flor negativa no paredão do parque (Figura 36). Já os dados coletados apresentados nas Tabelas 2 e 3 (Apêndice VI) referem-se às Linhas 1 e 2, respectivamente, extraídas da superfície no piso (Figura 37).

O afloramento possui uma zona de fraturas organizadas tanto em arranjo complexo de

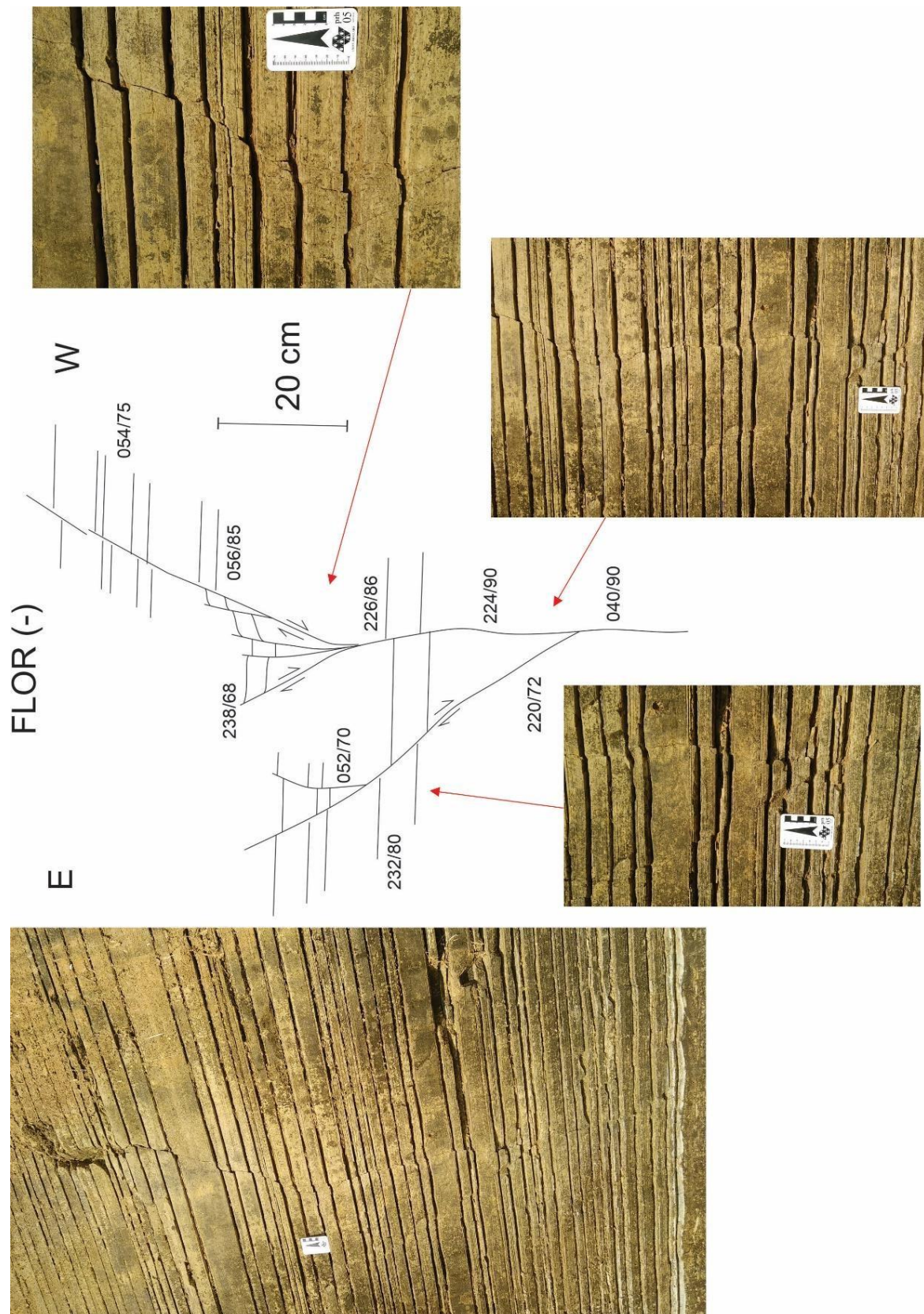
fraturas extensionais e compressivas, quanto em arranjo principal de zonas transcorrentes dextrais. A feição de transtensão é a mais expressiva, tendo várias pequenas falhas com pequeno rejeito, sendo possível reconhecer o preenchimento por calcita (*slickensides*) em duas delas. O levantamento sistemático foi descrito no capítulo 6.2.1, sendo que as primeiras medidas e aquisição fotográfica foi realizada na Linha 1, de NW para SE (Figura 11 e 12), esta tem cerca de 18,90 m de comprimento, e foi orientada segundo a direção N58W (Figura 38), apresentando falhas secundárias associadas formando estruturas em *échelon* e sigmoides (Figura 39). O segundo grupo de medidas realizados e aquisição fotográfica ocorreu também de NW para SE na Linha 2 (Figura 11 e 12) e registra em seus traços esquema escalonado com arranjo transtensivo bem marcado (Figuras 40). Possui cerca de 15,30 m de comprimento e segue a direção N50W (Figura 40). Vale ressaltar que são reconhecidas em alguns pontos falhas estriada e com preenchimento de calcita (Figura 41).

O tratamento preliminar dos dados levou ao reconhecimento de uma zona principal N40W subvertical com cinemática de transcorrência dextral. Os sigmoides associam-se a sistemas de dúplexes ou arcos distensivos, constituído por falhas e fraturas ora contínuas por segmentos métricos, ora escalonadas em segmentos centimétricos.

As falhas normais ocorrem em pequenos traços escalonados, em pequeno ângulo em relação aos traços transcorrentes, ajustados em leques (*splays*) do tipo rabo-de cavalo ou em sigmoides tipos dúplexes ou arcos distensivos. Têm orientação preferencial N30W com alto ângulo de mergulho para NE ou SW. Discretos arranjos sigmoidais formam altos, indicando feições de ejeção em dúplexes compressivos, associados a falhas inversas direcionadas N70- 80W, também de alto ângulo de mergulho.

Na parede, os traços se projetam em profundidade em pequenos rejeitos de falhas normais, caracterizando feição geral tipo flor negativa. Os traços destas falhas se ramificam com convergência em profundidade, associados a zonas de brechação nas proximidades da intersecção dos planos. A variação do ângulo de mergulho aparece associada à mudança das camadas, indicando refração. Em profundidade, os traços ficam verticalizados e, com a inversão local do mergulho do plano de falha, mostram rejeitos de falhas inversas. Os valores de rejeito não são homogêneos ao longo do perfil das falhas, indicando tanto zonas de terminação de falhas quanto participação de componente direcional da deformação, conforme reconhecido em planta. Considerando o arranjo de falhas transcorrentes dextrais, falhas normais e falhas inversas a configuração geométrica permite interpretar que as falhas são decorrentes de um regime de esforços compressivos na direção N30W, com partição da deformação em arranjos distensivos ou compressivos em função do plano de falha que acomodou a deformação local.

Figura 36: Medidas extraídas de fraturas que formam uma estrutura tipo flor negativa em paredão do Varvito



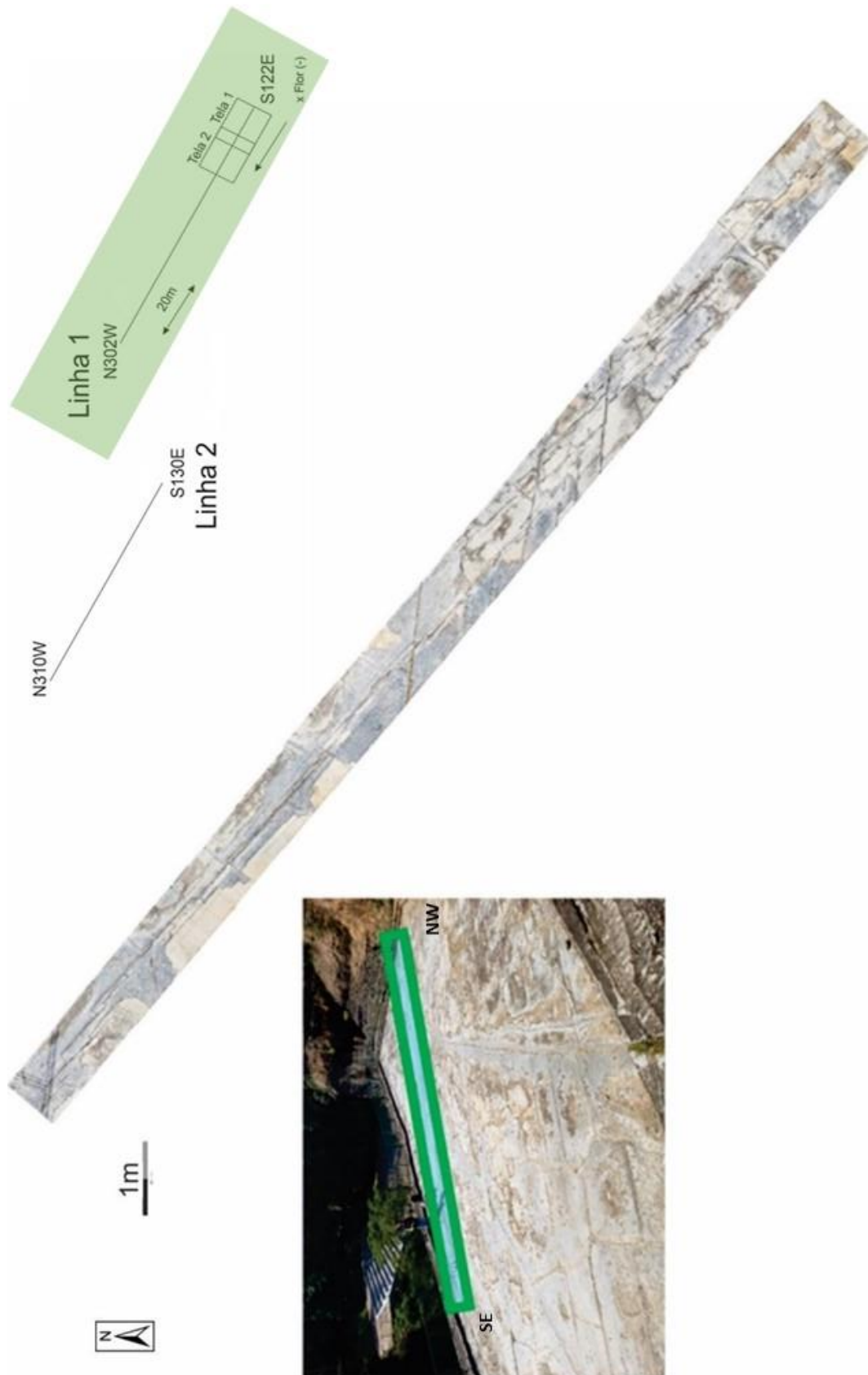
Fonte: Autora.

Figura 37: Imagem panorâmica da Linha 1 (direita) e 2 (esquerda) onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso.



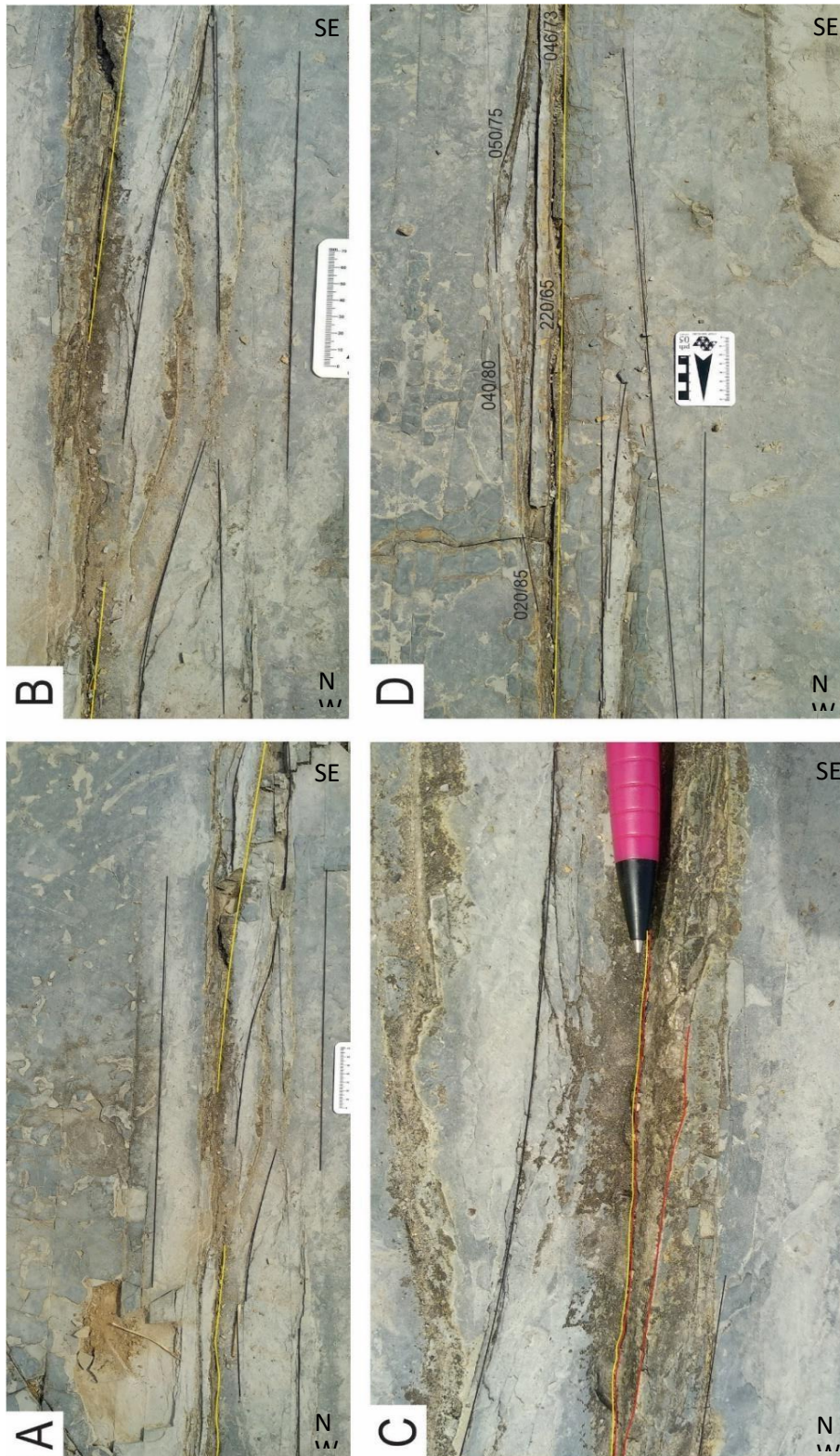
Fonte: Autora

Figura 38: Linha 1, onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso. A direita, esquema. de movimentação do levantamento sistemático com a tela em campo.



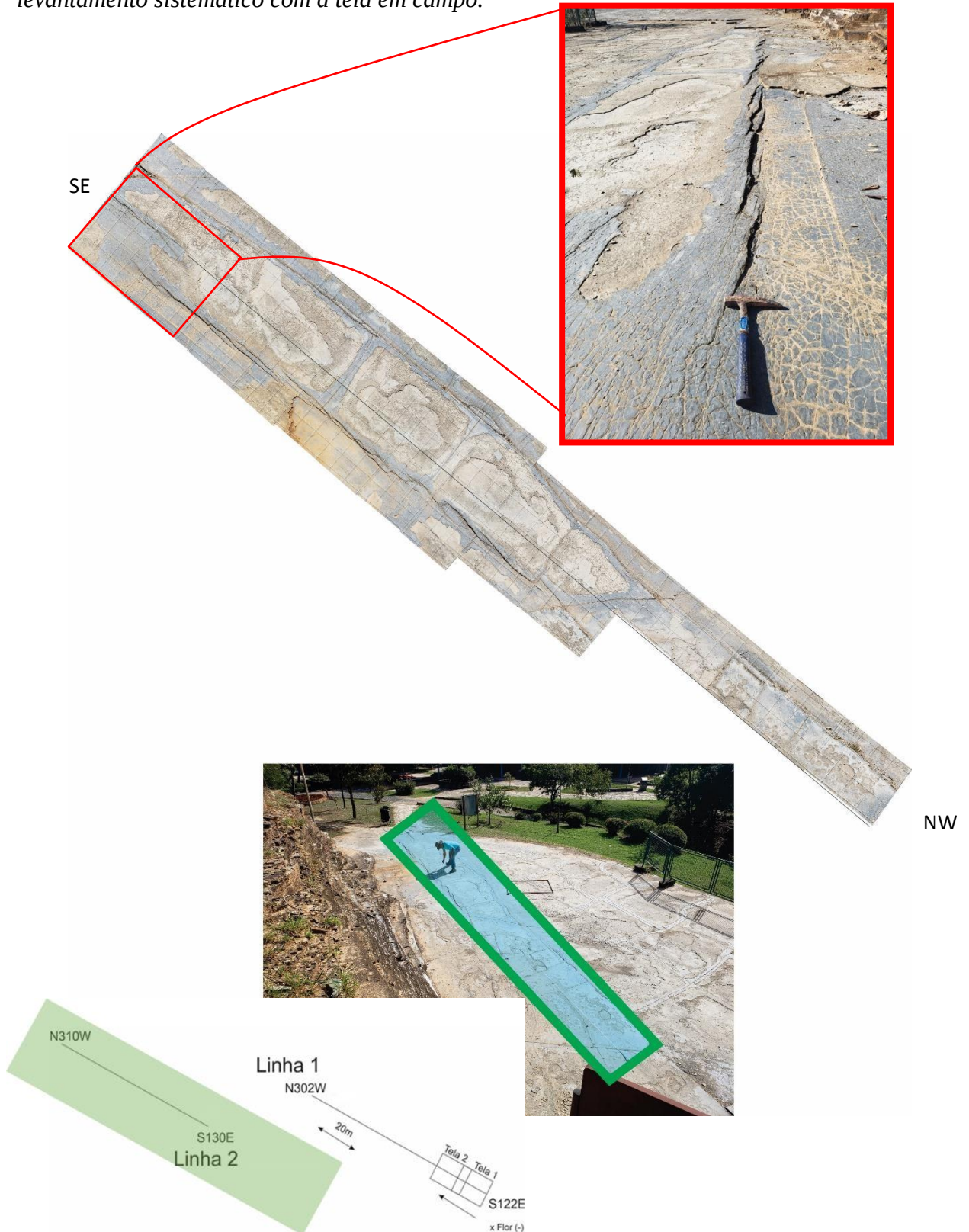
Fonte: Autora

Figura 39. A) e B) Arranjo geométrico das fraturas observadas em superfície, falhas secundárias (em preto) associadas a falha principal (em amarelo), formando estruturas em echelon e sigmoides; C) em vermelho preenchimento de calcita em falha principal; D) Medidas extraídas de sigmoide (em preto) associadas à falha principal (em amarelo).



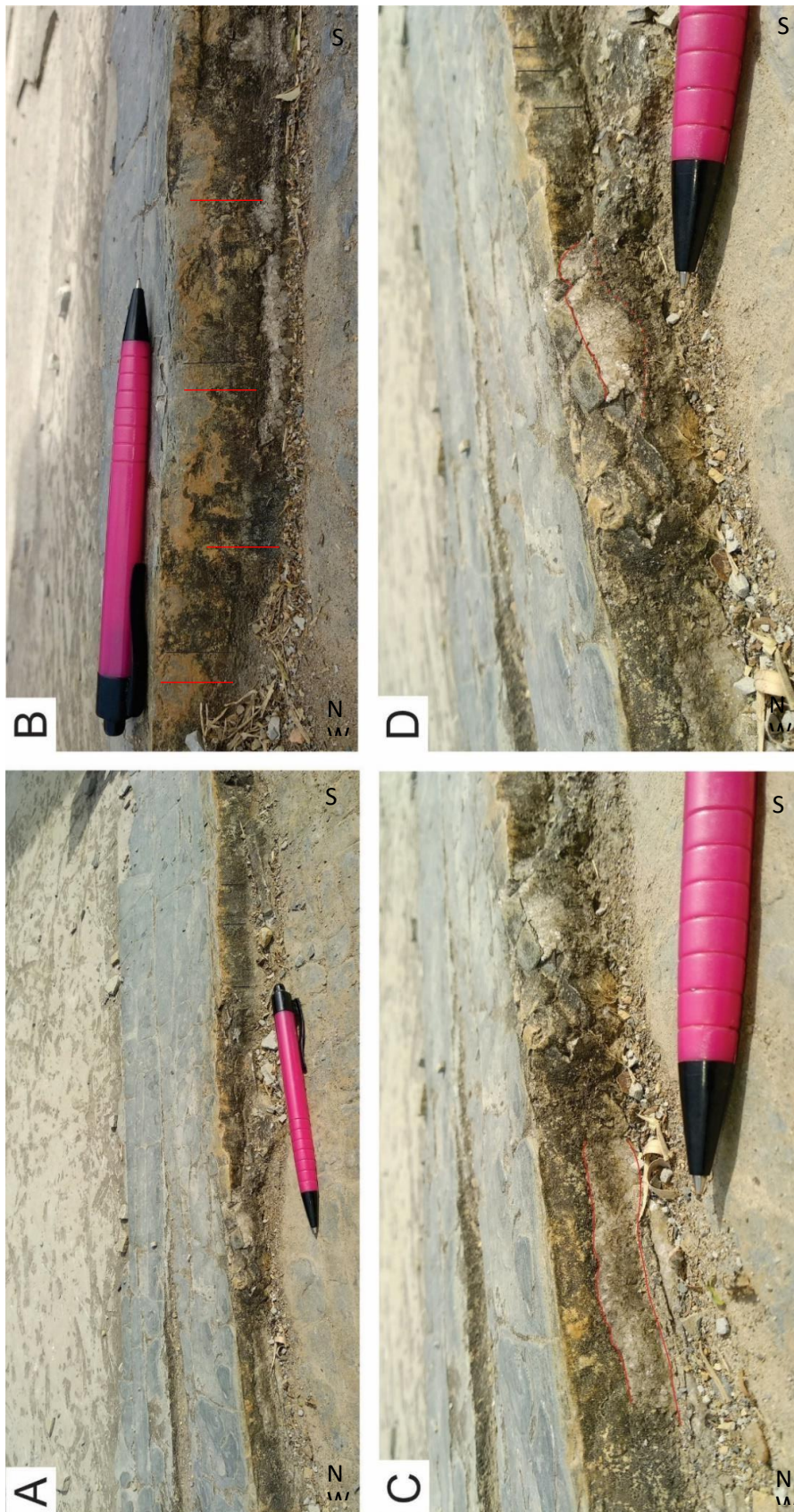
Fonte: Autora

Figura 40. Linha 2, onde foram extraídas medidas de fraturas da superfície no piso. Detalhe para fraturas escalonadas em arranjo échelon, representadas por pequenas falhas normais associadas a zona transcorrente destrá. Abaixo a esquerda exemplo de movimentação do levantamento sistemático com a tela em campo.



Fonte: Autora

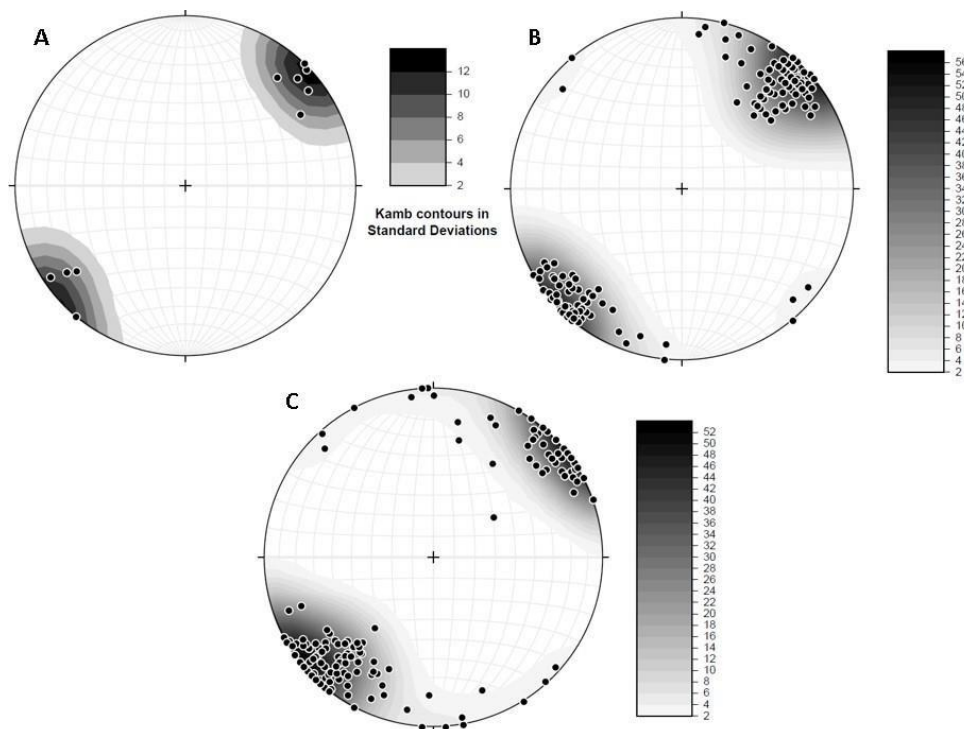
Figura 41. A) e B) Vistas de falha principal em superfície, destaque para estrias (em vermelho); C) e D) Preenchimento de calcita em falha principal (em vermelho).



Fonte: Autora

O primeiro estereograma gerado (Figura 42A) apresenta todas as medidas de fraturas que formam flor negativa em paredão do Varvito. Neste estereograma pode-se observar que há uma família com orientação preferencial N45W/subvertical bem marcada. O segundo e terceiro estereogramas (Figura 42B e C), referentes as medidas extraídas na Linha 1 e 2 respectivamente, apresentam os polos das fraturas e o contorno de concentração dos mesmos, indicando que no geral os planos possuem uma orientação preferencial N45W/subvertical, variando de N50W a N41W, associado a outra família secundária NE-SW e uma terceira E-W. Quanto ao mergulho, vale ressaltar que possui uma inclinação alta, próxima da vertical, podendo chegar a 50° com tendência a se inclinarem para NE e SW. A direção NE-SW referente ao mergulho coincide perpendicularmente à direção preferencial das falhas encontradas. Comparando com os dados observados em campo, conclui-se que tais medidas, em sua maioria, estão associadas a rotações e abatimentos dos blocos promovidos pelas falhas.

Figura 42. Estereogramas com polos dos planos de fratura e seus contornos. A) Flor negativa em paredão do Parque do Varvito, com orientação preferencial N45W/subvertical; B) e C) Linha 1 e 2 respectivamente, referentes às medidas de fraturas da superfície no piso, orientação preferencial N45W/subvertical, variando de N50W a N41W associado a outra família secundária NE-SW e uma terceira E-W.



Fonte: Autora

7.3.2.3 Grupo Passa Dois

Assim como o Grupo Itararé, o Grupo Passa Dois pertence ao Domínio dos depósitos da Bacia do Paraná e merece maior detalhamento comparado aos demais grupos, devido as estruturas encontradas na Mina de Calcário Amaral Machado.

O levantamento de campo foi realizado em três etapas, sendo que a primeira etapa foi realizada através de algumas visitas técnicas, permitindo a observação e descrição detalhada das litologias presentes no local, assim como, a caracterização e localização de uma falha principal (Falha 1). A segunda etapa permitiu caracterizar a Falha 2, em uma nova frente de Lavra. Já a terceira etapa, possibilitou realizar medidas estruturais em oito pontos estratégicos dentro da cava da mina, com a intenção de associar os dados coletados com lineamentos conhecidos regionalmente, além de caracterizar uma terceira falha (Falha 3) visível após avanço de extração do minério com nova frente de lavra.

Os dados coletados durante primeira etapa referem-se às medidas estruturais (Tabela 4 em Apêndice VI) realizadas em paredão rochoso dentro da cava que possui cerca de 12 m de altura. As medidas são referentes às falhas e juntas expostas durante período de expansão da mina Calcário Amaral Machado para extração do minério. O afloramento abrange rochas sedimentares das formações Irati e Corumbataí (Figura 43).

Figura 43. Paredão rochoso com Plano de Falha N52W (Formação Irati na base em contato com Formação Corumbataí no topo).



Fonte: Autora

A falha principal (Falha 1) possui cerca de 10 m de rejeito, direção N52W com mergulho de 70° para SW (Figuras 44, 45 e 46A), marcada por 2 ou mais planos de falhas normais secundárias. Zonas de fraturas associadas estão preenchidas por hidrocarboneto ou calcita, em alguns casos o hidrocarboneto também está presente no acamamento. O plano da Falha 1 é sinuoso, com estrias paralelas ao mergulho da falha, bem marcadas com orientação 232/70. É possível observar zonas de brecha, marcadas por fragmentos de calcário em pacote irregular, em contato com uma camada de rocha dura de cor preta “cozida”, em sua superfície ocorrem precipitações e recristalização de calcita (Figura 46B). Na pilha de rejeito foram encontrados diversos blocos com presença de hidrocarbonetos, indicando a sua presença associada a esta zona de falha (Figura 47).

Figura 44. Paredão rochoso com Plano de Falha N52W (Formação Irati na base em contato com Formação Corumbataí no topo).



Fonte: Autora

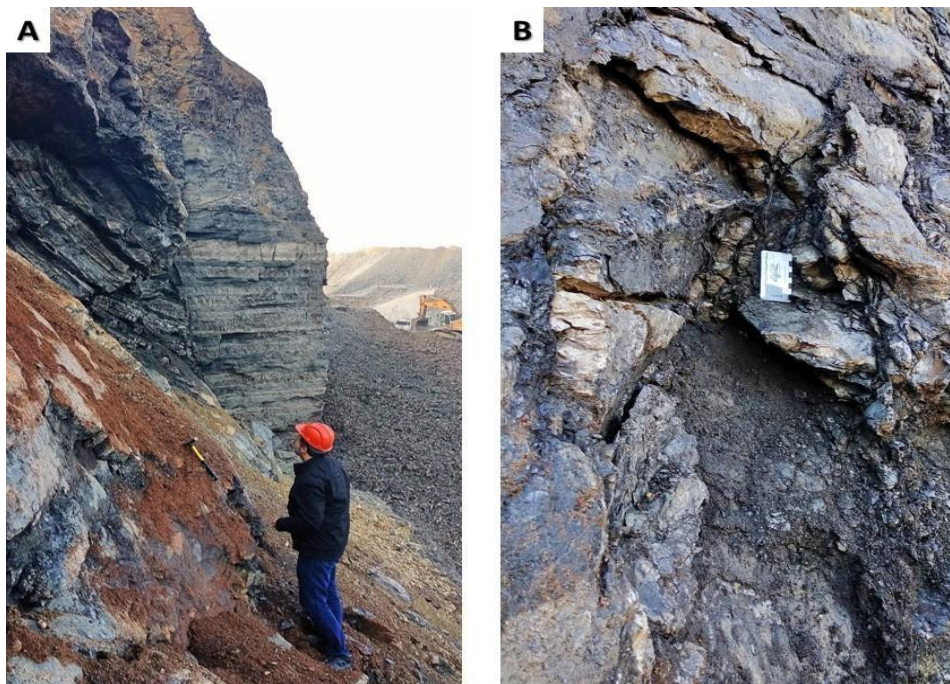
A segunda etapa de campo realizada na mina Calcário Amaral Machado, teve o objetivo de explorar e caracterizar uma nova falha (Falha 2), que corta sedimentos da Formação Irati, associada à anteriormente descrita (Falha 1). Esta caracterização só foi possível após expansão da mesma para extração do Calcário Dolomítico, onde foi aberta nova frente de lavra, permitindo seu reconhecimento. Os dados coletados referentes às medidas estruturais obtidas nesta frente de lavra, estão expostos na Tabela 4 em Apêndice VI.

Figura 45. Talude principal da cava, com acentuado fraturamento subvertical e falha normal de pequeno rejeito, inclinada para o lado esquerdo da foto (Falha N38W/65NE). No topo, Formação Corumbataí e cobertura arenosa.



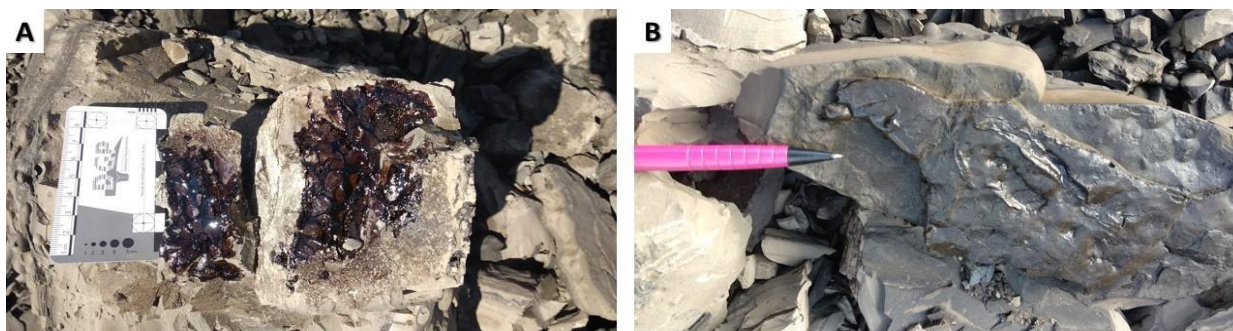
Fonte: Autora

Figura 46. A) Detalhe do plano de falha no talude principal e B) Zona de brecha ao longo do plano de falha.



Fonte: Autora

Figura 47. A) e B) Hidrocarboneto em fraturas na região de falha.



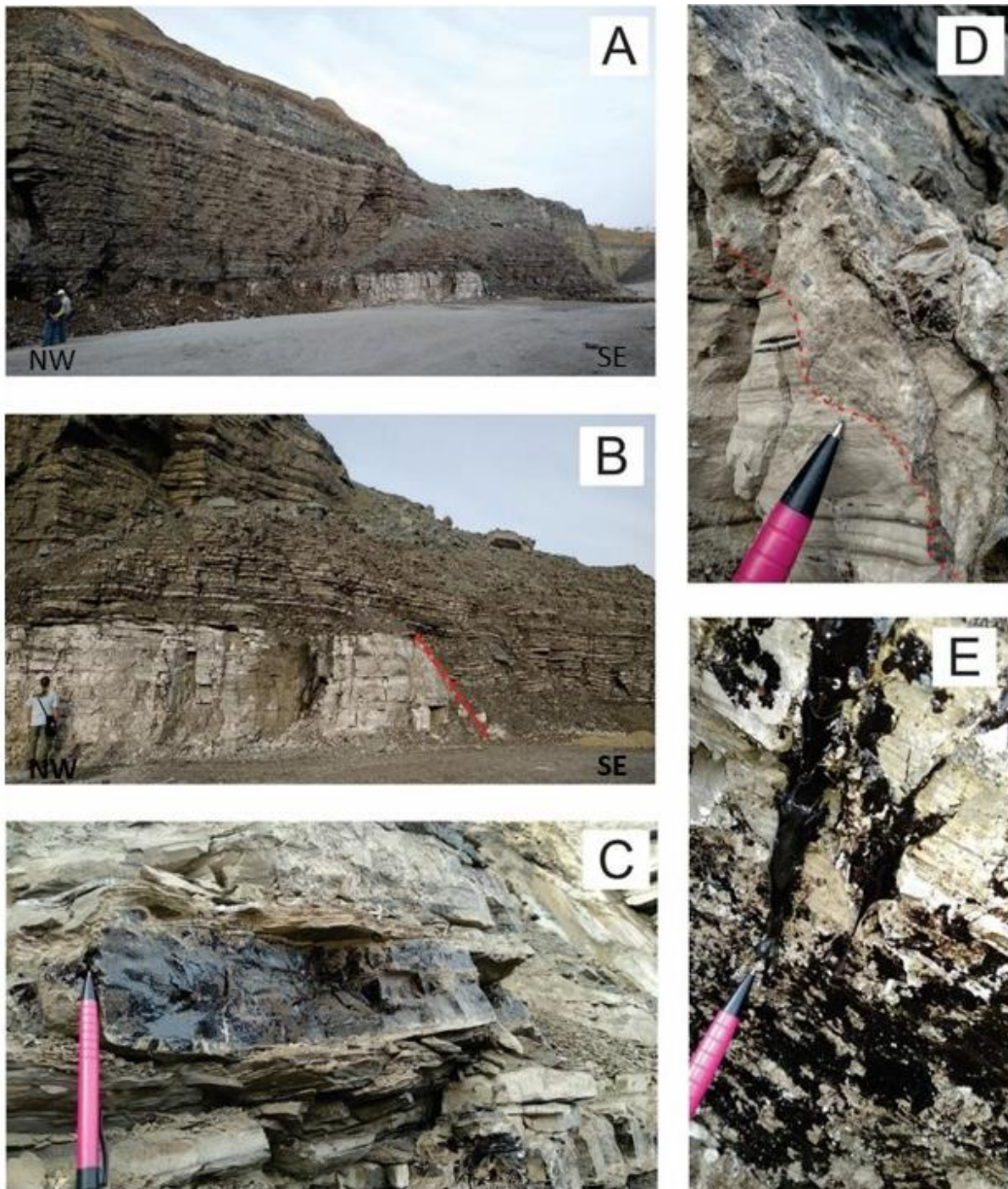
Fonte: Autora

O afloramento em questão abrange rochas sedimentares da Formação Irati, membro Assistência (Figura 48A). A Falha 2 possui atitude preferencial N50W/60SW (Figura 48A), o plano de falha é bem definido, com estrias de mergulho bem marcadas com orientação 232/55. Sua principal característica é o deslocamento paralelo ao plano de falha com rejeito vertical aproximado de 3 metros de altura, colocando lado a lado pacotes de unidades litológicas diferentes, como os calcários cinza-escuros com intercalação de folhelhos pretos pirobetuminosos, ao lado de calcários dolomíticos creme e cinza-escuros (Figura 49 e 48B). Por toda frente de lavra, em planos de fraqueza (falhas e juntas abertas) foram encontrados registros de hidrocarbonetos, na forma de óleos ou graxas muito pastosas e betume (Figura 48C, 48E e 49). É possível observar zona cataclástica, com ocorrências de brechas centimétricas a decimétricas, em contato brusco, irregular ou plano, com camadas de calcário dolomítico (Figuras 49 e Figura 48D).

A terceira etapa de campo na mina Calcário Amaral Machado, foi programada para um levantamento sistemático das estruturas, com elaboração de croquis e estações de amostragem de dados estruturais e de fragmentos de rocha, orientadas ou não. Ao observar com maior atenção encontrou-se pequenas zonas brechadas de até 10 centímetros, assim como grabens e horstes, com rejeito de 3 centímetros a 20 centímetros (Figura 49).

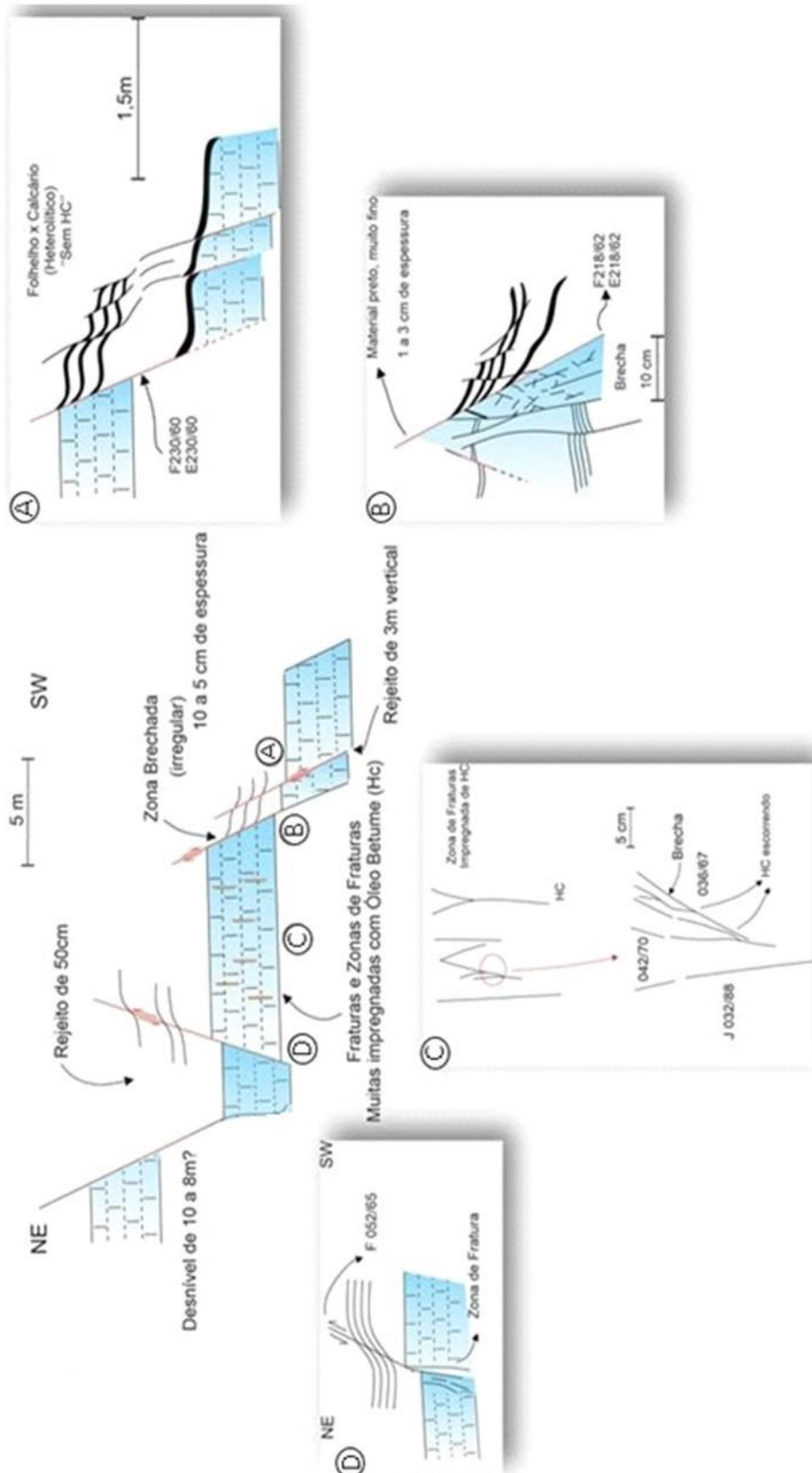
Os dados obtidos referem-se às medidas estruturais reconhecidas na mina Calcário Amaral Machado são expostos na Tabela 4 em Apêndice VI. O primeiro estereograma (Figura 50A) apresenta todas as medidas referentes aos planos de falhas. Observa-se que há uma família com orientação preferencial N45W bem marcada, com uma inclinação variando entre 60° até 80° para SW e para NE. O segundo estereograma gerado (Figura 50B) apresenta todas as medidas referentes aos planos de juntas. Neste estereograma pode-se observar que há uma família com orientação preferencial N45W bem marcada, podendo variar de N30W a N60W, com uma inclinação de 50° a subvertical.

Figura 48. A) Frente de lavra, afloramento da Formação Irati – Membro Assistência; B) Falha 2, com 3m de rejeito, colocando lado a lado rochas com idades diferentes; C) Lente de silexito; E) Hidrocarbonetos em planos de fraqueza; D) Brecha milonitizados de calcário dolomítico da Formação Irati.



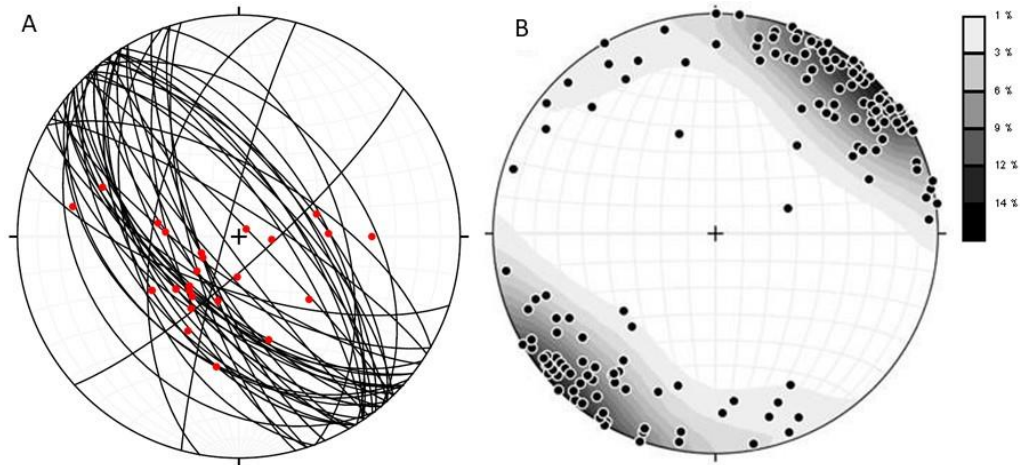
Fonte: Autora

Figura 49. Caracterização esquemática da Falha 2. A) Detalhe da falha principal com 3 metros de rejeito; B) Detalhe de zona brechada com 10 cm de espessura; C) Detalhe para Brecha e Zona de Fratura impregnada de Hidrocarboneto; D) Detalhe para Zona de Fratura.



Fonte: Autora

Figura 50. A) Estereograma referente a 52 medidas de planos de falhas, com orientação preferencial N45W/60SE e N20W/72SW; B) Estereograma referente a 169 medidas de plano de fraturas, com orientação preferencial N40W/vertical;



Fonte: Autora

7.2.2 Cenozoico

Não foi possível identificar estruturas nas unidades referentes aos depósitos sedimentares cenozoicos. As falhas nos depósitos cenozoicos são mais difíceis de serem identificadas, devido a falta de estrias que não são registradas em depósitos sedimentares de granulação grossa. Neste caso as falhas só podem ser observadas caso ocorra deslocamento de camadas conglomeráticas. Não foram encontradas falhas nos depósitos cenozoicos vistos em campo. Portanto não é possível afirmar que ocorre propagação das falhas reativadas e com registro nas rochas da Bacia do Paraná para unidades dos depósitos sedimentares cenozoicos.

7.2.3 Síntese Estrutural da Área de Estudo

Os dados apresentados associados às informações existentes na literatura, mostram o importante papel da tectônica na área de estudos. Considerando que as feições estruturais analisadas na região acompanham a orientação principal NW-SE, corroboram com a zona de fratura concordante com o lineamento Tietê, objetivo proposto neste estudo.

As feições reconhecidas no embasamento se ajustam, em primeira abordagem, aos traços estruturais da foliação e das zonas de cisalhamento regionais, direcionadas preferencialmente NE-SW.

Durante reconhecimento litoestrutural, observa-se que as estruturas preexistentes de

direção preferencial NE-SW e, secundariamente NW-SE, deformam as rochas do embasamento. Avançado para noroeste da área de estudo, as rochas pertencentes a Bacia do Paraná, são afetadas predominantemente por estruturas NW-SE, projetadas para NW a partir das falhas de Itu, do Piraí, do Cururu e de Cachoeira.

O Lineamento Tietê é marcado por estruturas rúpteis aflorantes, como falhas, juntas e deslocamentos de blocos. Sua caracterização passa pelo reconhecimento das feições macroscópicas regionais (mapas de lineamentos, drenagens e curva de nível), e é confirmado pela análise estrutural dos dados coletados em campo na escala de afloramento.

A rede de drenagem é bem condicionada por uma influência tectônica, devido a assimetria das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí e outras anomalias na rede de drenagem. Observa-se uma direção preferencial NW-SE paralela ao rio Tietê, nos afluentes dos seus rios principais, e a direção E-W paralela aos rios Piracicaba e Capivari.

As estruturas regionais, que se destacam nas imagens SRTM apresentam direção NW- SE e NE-SW. E correspondem ao alinhamento das escarpas e dos canais de drenagem de maior porte. Estas direções coincidem com as principais famílias de juntas presentes na área de estudo e que foram apresentadas no Mapa Estrutural (Apêndice IV). Os lineamentos de direção E-W e N-S, apresentam-se como estruturas secundárias e menos expressivas.

Analizando o estereograma das famílias de juntas e falhas, assim como os diagramas de roseta de frequência acumulada e comprimento acumulado, obtidos através dos lineamentos traçados em imagens de satélites, pode-se dizer que ocorre um nítido controle estrutural na região, com predomínio nas direções principais NW e NE e menos expressivos nas direções E-W e N-S.

Estas direções estruturais, reconhecidas tanto macroscopicamente quanto em escala de afloramentos, se ajustam em alinhamentos regionais, tendo sido reconhecidas falhas diversas associadas aos seus traços. O arranjo do Parque do Varvito aponta para deformação transcorrente dextral, com importante participação de falhas normais componentes distensivos. Já o arranjo da região de Saltinho indica forte arranjo de sistema distensivo, com falhas de maior rejeito que o sistema anterior. As direções regionais são praticamente as mesmas, NW-SE, ajustadas aos traços principais regionais.

O reconhecimento das direções preferenciais, marcadas nos lineamentos e nas orientações preferenciais das fraturas, juntas e falhas em torno de NW-SE, apontam para forte controle estrutural do Lineamento Tietê, indicando tratar-se de importante zona de fratura regional.

7 CONCLUSÃO

Os estudos realizados permitem apresentar uma série de conclusões relacionadas ao Lineamento Tietê, do ponto de vista de sua caracterização geométrica e de sua evolução regional. Seus traços estruturais são bem marcados por feições geomorfológicas, como segmentos retilíneos e anomalias de drenagem, além de cristas alinhadas. Os traços da paisagem coincidem com o padrão de fraturamento obtido a partir do levantamento estrutural das juntas e falhas, preferencialmente NW-SE.

As zonas de falhas de direção NE-SW e NW-SE são as mais importantes e caracterizam eventos antigos que foram ativos ao longo da evolução da bacia. Os traços de orientação NW-SE predominam sobre as demais direções em todas as vertentes analisadas. Estão associados a direção principal do rio Tietê, aos altos estruturais Jibóia e Pau D'Alho e as feições mais antigas do embasamento como as falhas de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira, a sudeste da área. Os traços NE-SW são menos expressivos e estão associados a Zona de Cisalhamento de Campinas. Os traços E-W ocorrem associados também a direção principal do rio Piracicaba e Capivari, embora poucas falhas tenham sido observadas com estas direções.

Os principais indícios tectônicos mapeados na região são: conjuntos de falhas normais, inversas e transcorrentes dextrais e sinistrais, nas direções NW-SE e NE-SW associadas a estruturas transtensivas são reforços da influência de uma tectônica transcorrente. As falhas e as juntas formam o quadro geométrico principal apresentado no mapa estrutural (Apêndice IV). Foram analisadas aproximadamente 774 medidas de fraturas, identificando duas principais famílias em direções ortogonais segundo orientações NW-SE (concordante com o *trend* regional) coincidente com os principais lineamentos e falhas da área, a maior parte destas medidas apresentam mergulho alto a subvertical em torno de 70° a 90°, e NE-SW, nos domínios dos terrenos pré-cambrianos. O predomínio dos componentes NW-SE e NE-SW nos estereogramas, assim como os diagramas de roseta de frequência acumulada e comprimento acumulado, reforça a interpretação de influência tectônica no condicionamento estrutural regional. No embasamento, as direções mais marcantes são associadas as Zona de Cisalhamento, na zona de falha representada pela Zona de Cisalhamento Jundiuvira e Zona de Cisalhamento Campinas orientadas NE-SW e decorrentes da tectônica transcorrente dextral do final do Pré-Cambriano.

Traços NW-Se são reconhecidos principalmente na porção sudeste da área associados a Zona de Falha de Itu, Piraí, Cururu e Cachoeira, todas de tectônica transcorrente dextral,

representando uma estrutura do tipo rabo-de-cavalo.

Nos domínios da Bacia do Paraná, os traços estruturais também são marcantes NW-SE. O modelo tectônico reconhecido o Parque do Varvito aponta para movimentação transcorrente dextral, com associação de feições transtensivas em direção quase paralela, formando zonas de falhas com pequenos rejeitos e deslocamentos em échelon.

Na região de Saltinho, associado ao quadro da Mineração Amaral Machado, as falhas têm direção principal NW-SE, promovem o deslocamento dos blocos em rejeitos métricos a decamétricos que, segundo os mapas regionais, se ajustam a arranjo regional de grabens e horstes quilométricos.

Montanheiro (2015) aplicou gravimetria na região de Laranjal Paulista, Anhembi, Santa Bárbara d'Oeste, Porto Feliz e Torre de Pedra, porção central do Estado de São Paulo. Os resultados obtidos neste trabalho apontam anomalia gravimétrica positiva controlada por estruturas de direção NW e NE, entre as regiões de Porangaba e Saltinho, Anhembi e Cerquilha, resultante do contraste gravimétrico entre as rochas sedimentares e o embasamento cristalino, ou seja, blocos altos e baixos com pequenos deslocamentos controlados pela reativação de falhas herdadas do embasamento cristalino. A autora associa estas falhas aos lineamentos estruturais Tietê e Sorocaba, destacando como feições importante no quadro estrutural da região.

As falhas reativadas herdadas do embasamento cristalino reconhecidas por Montanheiro (2015) são corroboradas pelos dados coletados em afloramentos durante o desenvolvimento deste trabalho. São encontrados indícios de reativação em rochas do embasamento pré-cambriano e unidades litológicas da bacia do Paraná. Porém o mesmo não ocorre para as rochas básicas localizadas nos afloramentos visitados, que mesmo encaixadas na direção NW-SE não apresentam deformações posteriores, assim como não se reconheceu a propagação destas estruturas para as deposições cenozoicas na área de estudo. Entretanto Sousa (2002), durante sua pesquisa na região de Rio Claro a Piracicaba reconheceu falhas normais, inversas e transcorrentes que deformam as coberturas cenozoicas, embora seja difícil identificar estrias nestas unidades devido suas características físicas, a autora reconheceu falhas de movimentação NW-SE, inversa e transcorrente, e falhas normais na direção NE-SW. Portanto, as estruturas poderiam estar associadas ao quadro neotectônico regional, porém neste trabalho não foram encontradas estruturas deformacionais suficientes para a confirmação desta etapa deformacional.

Na porção do embasamento pré-cambriano, foram reconhecidas estruturas herdadas de eventos anteriores, que criaram zonas de fraqueza e facilitaram a reativação durante os eventos posteriores. As estruturas reconhecidas no embasamento pré-cambriano a sudeste da área de

estudo, foram caracterizadas em trabalhos anteriores, que detalharam a evolução geológica das zonas de cisalhamento e das falhas regionais. Tais como, a zona de cisalhamento Jundiuvira que inicia seus traços de transcorrência na serra do Japi e se ramifica na forma de rabo-de-cavalo até o Granito Itu, para as falhas de Itu, do Piraí, Cururu e Cachoeira, com direção principal NW-SE. Se associam a zonas de fraturas, zonas de falhas e falhas isoladas, com forte registro de componente transcorrentes. Além desta, ocorre ainda a Zona de Cisalhamento Campinas, que acompanha os limites da Bacia do Paraná e apresenta direção NE-SW.

Também foram reconhecidos os altos estruturais Jibóia e Pau D'Alho associados ao regime distensivo de direção NW-SE. Souza (2002) afirma que os altos estruturais são formados por um conjunto de falhas normais de orientação preferencial NW-SE, no caso a estrutura de Pau D'Alho tem influência de falhas secundárias de direção NE- SW e suas falhas normais estão associadas as rochas intrusivas básicas.

A distribuição de estruturas caracteriza zona de fraturas com diferentes respostas deformacionais do maciço rochoso, que pode ser utilizada como análogo para interpretação da deformação associada ao Lineamento Tietê.

A ocorrência de deformações rupteis nas rochas do Grupo Itararé e da Formação Irati, indicam um pulso deformacional mais jovem. Não foram encontradas estruturas suficientes nas rochas básicas associadas à Formação Serra Geral. O pulso deformacional de reativação de falhas do embasamento, associadas ao Lineamento Tietê, pode estar associado ao processo de pré-ruptura do Continente Gondwana, uma vez que se ajustam a uma distensão segundo a direção NE-SW.

O alinhamento das feições reconhecidas, formando feixes regionais NW-SE, e sua associação com as projeções das ramificações da Falha de Jundiuvira, caracterizam o Lineamento Tietê como uma importante zona de fratura regional. Parte de seus traços foram formados durante o pré-cambriano e o reconhecimento das estruturas deformacionais associadas as sequencias sedimentares paleozoicas aponta para importantes reativações de seus traços.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA DE ÁGUA PCJ, (2010). Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020 (com propostas de atualização do Enquadramento dos Corpos d'Água e de Programa para Efetivação do Enquadramento dos Corpos d'Água até o ano de 2035). p. 815

ALMEIDA, F. F. M., (1967). Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Boletim Divisão

- Geologia e Mineralogia / DNPM, 241: p. 36.
- ALMEIDA, F. F. M., (1980). Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. p. 187.
- ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O., (1953). Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Boletim Divisão Geologia e Mineralogia / DNPM. São Paulo, n. 143, p. 96.
- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A., (1981). Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozoico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo: IPT, Escala 1:500.000. v.1, p. 46-81.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B., (1976). The upper Precambrian of South America. Bol. Inst. Geoc., Universidade de São Paulo – USP, 7: p. 45-80.
- ANDRADE, S. M.; SOARES P. C., (1971). Geologia do Centro Leste do Estado de São Paulo. Ponta Grossa: PETROBRÁS. (Relatório DESUL, n. 407). p. 46.
- ARAÚJO, C. C.; YAMAMOTO, J. K.; ROSTIROLLA, S. P., (2006). Arenitos asfálticos na B. Paraná: estudo das ocorrências no Alto Estrutural de Anhembi. B. Geo. Petrobrás, v.14 (1): p. 47-70.
- ASSINE, M.; ZACHARIAS, A.; PERINOTTO, J., (2003). Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estados de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências (33). p. 33-40.
- BARBOSA, O.; GOMES, F. A., (1958). Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. Boletim da Divisão de Geologia e Minas – DNPM, Rio de Janeiro, n.171, p.1-40.
- BARCELOS, J. H.; SOUZA FILHO, E. E.; FULFARO, V. J.; LANDIM, P. M. B.; COTTAS, L. R.; WU, F. T.; GODOY, A. M., (1983). A Formação Itaqueri: um exemplo de tectofácies. In: Simpósio Regional de Geologia, 4., São Paulo. Atas. São Paulo: SBG, v. 1, p. 245-252.
- BATISTA, M. J., (2002). Caracterização estrutural do Alto de Jibóia, região central do estado de São Paulo. Trabalho de Conclusão do Curso (Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro / SP. p. 73.
- BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G A. C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S.; CREMONINI, O. A., (1981). Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo, IPT / PRÓ-MINÉRIO / PROMOCET (volume I). p. 126.
- BÓRIO, V. J., (1973). Geologia da área de São Pedro, SP. Tese (Doutorado em Geociências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro / SP. p. 125.

- BRIGHETTI, J. M. P., (1994). Faciologia dos sedimentos da Formação Pirambóia na região de Rio Claro (SP). Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro / SP. p. 124.
- CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T., (1995). As formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 4, São Pedro. Boletim Resumos. São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia. p. 64.
- CAMPOS, L. F. G., (1889). Seção Geológica: São Paulo. Relatório de Comunicação Geográfica e Geológica da Província de São Paulo. p. 21-34.
- CASTRO, P. R. M., (1973). Contribuição ao Estudo da Estrutura do Pau d' alho (Piracicaba, SP). Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Engenharia de Limeira, Universidade, Campinas. p. 87.
- CAVALLARO, F. A., (2013). Investigação Geofísica do Alto Estrutural de Anhembi – SP. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). p. 148.
- CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA – CETEC, (2018). “Relatório de Situação dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2018 (ano base 2017)”. p. 101. Disponível em: <<http://www.comitePCJ.sp.gov.br/comitesPCJ.htm>>
- COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; COUTINHO, J. M. V., (1981). Silicificação dos arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. In: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, São Paulo. Coletânea de trabalhos e debates... São Paulo, SBG. p.103-115.
- COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; PETRI, S., (1977). O alinhamento estrutural do Tietê. In: Simpósio de Geologia Regional, I, São Paulo. Atas. São Paulo, SBG. p. 145-152.
- CORDANI, U. G; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B., (1984). Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. PETROBRÁS. (Relatório Ciências, Técnica, Petróleo, n. 15). n. 14, p. 1-70.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM, (2004). Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Brasil Ministério de Minas e Energia - Disponível em: <www.ibge.gov.br>.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Botucatu – SF-22-Z-B-VI – MI-2735. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO

- NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Campinas – SF-23-Y-A-V – MI-2737. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Guareí – SF-22-Z-D-III – MI-2764. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Itu – SF-23-Y-C-II – MI-2737. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Piracicaba – SF-23-Y-A-IV – MI-2736. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, (1984). Projeto a borda leste da Bacia do Paraná. Brasil. Folha: Tatuí – SF-23-Y-C-I – MI-2765. Escala: 1:1.000.000. 1 mapa.
- DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P., (1970). Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro Geologia, Brasília. Anais. Brasília, SBG, v.1, p. 359-412.
- ESPÍNDOLA, C. R., GARCIA, G. J., GALHEGO, H.R., (1980). Pedogênese na região Conchas--Anhembi, SP. *Notícia Geomorfológica*, 20: 35-48.
- FULFARO, V. J., SUGUIO, K., (1968). A Formação Rio Claro (Neo-cenozóico) e seu ambiente de deposição. *Boletim. Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, n.20, p. 45-60.
- FULFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B., (1982). Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 12, n.4, p. 590-610.
- FULFARO V. J., STEVAUX J. C., SOUZA FILHO E. E., BARCELOS J. H., (1984). A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: SBG, 33 Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, Anais, v.2, p. 711-724.
- GAMA JR, E. G., (1979). A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, 9 (2): p. 1-16.

- HACHIRO, J., (1991). Litotipos, associações faciológicas e sistemas deposicionais da formação Irati no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). p. 175.
- HACHIRO, J.; COIMBRA, A. M.; MATOS, S. L. F., (1993). O caráter cronoestratigráfico da unidade Irati. In: Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1., Rio Claro. Boletim. Rio Claro: IGCE/UNESP. p. 62-63.
- HASUI, Y.; COSTA, J. B. S., (1996). Neotectônica: fundamentos, métodos e técnicas de análise. In: Simpósio De Geologia da Amazônia, Belém. Anais. Belém: SBG, v.1, p. 20.
- HASUI, Y; TOGNON, A. A.; SOARES, L.; CSORDAS, S. M., (1978). Geologia e tectônica da Serra do Japi. Boletim do Instituto de Geociências, São Paulo, v.9, p.17-24.
- HASUI, Y.; BORGES, M. S.; MORALES, N.; COSTA, J. B. S.; JIMENEZ RUEDA, J. R.; PIRES NETO, A. G., (1999). Mapa Neotectônico do Estado de São Paulo: Quadro Preliminar. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., São Pedro. Boletim de Resumos. Rio Claro: SBG / Núcleo de São Paulo. v. 1. p. 98.
- HASUI, Y.; MIOTO, J. A.; HARALYI, N. L. E.; SAAD, A. R.; CAMPANHA, V. A.; HAMZA, V. M.; GALLI, V. A., (1989). Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (Relatório Técnico nº 27394).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, (2004). Folha Paranapanema – SF-22, 1 mapa, Escala: 1:1.000.000. <www.ibge.gov.br>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, (2004). Folha Rio de Janeiro – SF-23, 1 mapa, Escala: 1:1.000.000. <www.ibge.gov.br>
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT., (1981). Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT., (1981a). Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT., (1981b). Sondagens elétricas verticais. São Paulo: IPT. Folhas de campo e curvas originais, bloco 45.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT., (2005). Estocagem Subterrânea de Gás Natural - Tecnologia para Suporte ao Crescimento

- do Setor de Gás Natural no Brasil. Publicação IPT 3002. 226p.
- LANDIM, P. M. B. (1970). O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP). Boletim Divisão Geologia e Mineralogia / DNPM. 252, p. 103.
- LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C.; GAMA JR., E., (1980). Estratigrafia do nordeste da Bacia do Rio Paraná. Rio Claro: IPT/UNESP. (Curso de Especialização). p. 45.
- LÚCIO, T. D. G., (2015). Caracterização do Lineamento Sorocaba. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 100.
- MACHADO, F. B., (2009). Petrologia e caracterização geoquímica das fontes mantélicas dos derrames de lava da região noroeste da Província Magmática do Paraná. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 209.
- MANTOVANI, M. S. M.; QUINTAS, M.C.L.; SHUKOWSKY, W.; BRITO NEVES, B. B., (2005). The Paranapanema Lithospheric Block: It's Importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) Supercontinent Theories. In: Gondwana Research, v. 8, n. 3, p. 303-315.
- MELO, M. S., (1995). Formação Rio Claro e depósitos associados – sedimentação neoceno-zóica na depressão periférica paulista. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). p. 144.
- MELO, M. S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; COIMBRA, A. M., (1985). Geologia e evolução do sistema de bacias tectogênicas continentais do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 15: p. 193-201.
- MEZZALANA, S., (1957). Ocorrências Fossilíferas novas na série Passa Dois na Região de Limeira, Rio Claro, Piracicaba, São Paulo, Notas Prev. Inst. Geogr. Geol., v. 6, n.2, p. 37-58.
- MILANI, E. J., (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul – ocidental.. Tese (doutorado em geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p. 255.
- MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G.V; A.; PESSOA NETO, F. C., (2007). Bacia do Paraná In: Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, mai/nov, v. 15, n. 2, p. 265-287.
- MONTANHEIRO, M. A. F., (2015). Alto Estrutural na Região de Laranjal Paulista/SP: Caracterização Gravimétrica e Geológica. Dissertação (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. p. 168.

- MORAIS REGO, L. F. A., (1930). A Geologia do Petróleo no Estado de São Paulo. Boletim Serviço Geologia, Rio de Janeiro, n 46, p. 110.
- NEVES, M. A., (1999). Evolução Cenozóica da Região de Jundiaí (SP). Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 135.
- NEVES, M. A., (2005). Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiaí (SP). Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 178.
- O’LEARY, D. W.; FREEDMAN, J. D.; POHN, H. A., (1976). Lineament linear lineation: some proposed new standards for old terms. Geol. Soc. Am. Bull. New York, October, 87 (10): p.1463-69.
- OLIVEIRA *et al.*, Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (1999). Campinas: IAC/Embrapa. Mapa, escala 1:500.000.
- QUINTAS, M. C. L., (1995). O embasamento da Bacia do Paraná: Reconstrução Geofísica de seu arcabouço. Tese (Doutorado em Geofísica). Instituto Astronômico e Geofísico (IAG). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. p. 213.
- PENALVA, F., (1971). Sedimentos neocenoicos nos vales dos rios Jundiaí, Atibaia e Jaguari. Boletim Paulista de Geografia, n. 46, p. 107-138.
- PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, J. E., (2008). Coluna Estratigráfica da Região de Rio Claro.
- PERINOTTO, J. A. J.; ETCHEBEHERE, M. L. de C.; SIMÕES, L. S.; ZANARDO, A., (2008). Diquesnclásticos na Formação Corumbataí (P) no nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. Geociências - UNESP, v. 27, n. 4, p. 469 – 491.
- PONÇANO, W. L., (1981). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1:500.000. São Paulo: IPT. V.1, p. 82-98.
- PIRES NETO, A. G., (1996). Estudo Morfotectônico das Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí e áreas adjacentes no Planalto atlântico e Depressão Periférica. (Projeto Pós-Doutorado– Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 70.
- RICCOMINI, C., (1989). O Rift Continental do sudeste do Brasil. São Paulo. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). p. 256. RICCOMINI, C., (1992). Estilos estruturais da região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. Boletim – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP), v.

- 12, Publicação Especial, p. 93–94.
- RICCOMINI, C., (1992). Evidências geológicas de atividade neotectônica no Estado de São Paulo e regiões adjacentes. Boletim – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). Publ. Esp. nº12.
- RICCOMINI, C., (1995). Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondwânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. São Paulo. p. 108.
- RICCOMINI, C., (1997). Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na Porção Centro-Leste do Estado de São Paulo. Revista IG São Paulo, v. 18, n. 1/2, p. 41–48.
- SAAD, A. R., (1977). Estratigrafia do Sub-grupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências (IG) – Universidade de São Paulo (USP). p. 107.
- SANTOS, J. L. S., (2009). Caracterização Estrutural da Zona de Falha da Cachoeira. Trabalho de Conclusão do Curso (Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 69.
- SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A., (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Porto Alegre. Anais do. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1, p. 41-65.
- SIMÕES, M. G.; FITTIPALDI, F. C., (1992). Fósseis da região de Rio Claro. Rio Claro: Arquivo do Município. p. 77.
- SOARES, P. C., (1973). O Mesozoico Gonduânico no Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Geociências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro / SP. p. 152.
- SOARES, P. C., (1974). Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: Congresso Brasileiro de Geologia , 28., Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG. v.4, p.107-121.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B., (1973). Aspectos Regionais da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: Congresso Brasileiro de Geologia. n. 27, Salvador. Anais. Aracaju: SBG, v. 1, p. 243 – 256.
- SOARES, P. C.; BARCELLOS, P. E.; CSORDAS, S. M.; MATTOS, J. T.; BALIEIRO, M. G.; MENESES, P. R., (1982). Lineamentos em imagens de LANDSAT e radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de

- Sensoriamento Remoto. Atas... Brasília: CNPq / INPE.
- SOUSA, M. O. L., (1997). Caracterização Estrutural do Domo de Pitanga – SP. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 116.
- SOUSA, M. O. L., (2002). Evolução Tectônica dos Altos Estruturais de Pitanga, Ártemis, Pau D’ Alho, e Jibóia – Centro do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 206.
- SOUSA, M. O. L.; MORALES, N., (1999). Evolução Tectônica do Alto Estrutural de Pitanga – SP. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Lençóis. Anais. Lençóis: SBG. Disponível em: <[http://www.sbgeonucleobase.org.br/Simposios/SNET 7, 1999.pdf](http://www.sbgeonucleobase.org.br/Simposios/SNET_7_1999.pdf)>.
- STEVAUX, J. C.; SOUZA, E. E.; FULFARO, V. J., (1986). Trato Depositional da Formação Tatuí (P) na Área Aflorante do NE da Bacia do Paraná, estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 34, Goiânia. Anais. Goiânia: SBG, v.1, p. 219 - 228.
- SUGUIO, K.; FÚLFARO, V. J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L. A., (1977). Comportamentos Estratigráficos e Estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru) 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: SBG/Núcleo SP, Simpósio de Geologia Regional, I, São Paulo, Atas, p. 231-247.
- YAMAMOTO, J. K.; FAIRCHILD, T. R.; BOGGIANI, P. C.; MONTANHEIRO, T. J.; ARAÚJO, C. C.; KIYOHARA, P. K.; MATOS, S. L. F.; SOARES, P. C., (2005). A Record of Permian subaqueous vent activity in southeastern Brazil. *Nature*, 438: p. 205-207.
- ZAINE, J. E. (1994). Geologia da Formação Rio Claro na Folha de Rio Claro (SP). Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rio Claro / SP. p. 90.
- ZAINE, J. E.; PENTEADO-ORELLANA, M. M., (1994). APA Piracicaba no Município de Rio Claro, SP: Proposta de mudança com base em critérios geomorfológicos e políticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. Balneário Camboriú, SBG, v.1, p. 488.
- ZAINE, M. F.; PERINOTTO, J. A. J., (1996). Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro – SP. Rio Claro: Câmara Municipal de Rio Claro e Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro. p. 91.
- ZALÁN, P.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T; ZANOTTO, O. A. P., (1987). Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná In: Simpósio Sulbrasileiro De

Geologia, 3. Atas. Curitiba: SBG. p. 441.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O., (1990). A Bacia do Paraná in: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (coord.). Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: Petrobras. p. 135 – 168.

