

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

MAPEAMENTO E MODELAGEM GEOLÓGICA DA REGIÃO DE SÃO PEDRO - SP

Aluno: Mateus Melito

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Scardia

Rio Claro – SP

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro (SP)

MATEUS MELITO

MAPEAMENTO E MODELAGEM GEOLÓGICA DA REGIÃO DE SÃO PEDRO - SP

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

2023

M523m Melito, Mateus
Mapeamento e modelagem geológica da região de São
Pedro - SP / Mateus Melito. -- Rio Claro, 2023
65 f. : il., fotos, mapas

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

1. Mapeamento geológico. 2. Modelagem geológica. 3.
Leapfrog Geo. 4. Geologia estrutural. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MATEUS MELITO

MAPEAMENTO E MODELAGEM GEOLÓGICA DA
REGIÃO DE SÃO PEDRO - SP

Trabalho de Graduação 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 Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

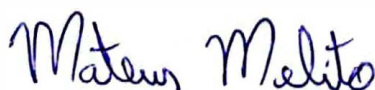
Prof. Dr. Giancarlo Scardia (orientador)

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Dr. Iata Anderson Souza

Rio Claro, 1 de dezembro de 2023.

Assinatura do aluno



Assinatura do orientador



Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Aos pais, Nedival e Vilma, que sempre me apoiaram em todo meu desenvolvimento, não medindo esforços para a realização de meus objetivos e sonhos, sem eles nada seria possível.

Às minhas irmãs Aline e Amanda, pelo apoio e parceria nos estudos e momentos de descontração.

Às empresas Geoinform e Handbag por terem me dado a oportunidade de vivenciar um pouco da geologia no mercado de trabalho.

Aos meus amigos Beatriz Diuri, Gabriel Freri, Laura Augusto, Matheus Teodoro, Thales Tandel por fazerem da minha vida mais feliz e alegre.

Ao professor Dr. Giancarlo Scardia, por ter sido meu orientador e amigo tendo desempenhado tal função com dedicação. Aos professores do curso, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

À instituição de ensino Unesp, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, por fomentar esta pesquisa através de uma bolsa PIBIC.

RESUMO

A Bacia do Paraná foi uma das primeiras áreas de pesquisas aplicadas ao petróleo e gás natural no Brasil. A região de São Pedro-SP destacou-se por conter geologia favorável à formação do óleo e ocorrências de arenito asfálticos na Formação Pirambóia. Furos de sondagem foram feitos por toda região com o intuito de investigar a possibilidade de depósitos economicamente viáveis. Após mais de 90 anos, este trabalho de conclusão de curso, tem por objetivo remapear a região de São Pedro-SP e produzir um modelo geológico através do software Leapfrog Geo, para posteriores análises e interpretações da geologia local. A área estudada se localiza a oeste do Domo Pitanga e herda tendências estruturais consistentes como as direções de mergulho dos estratos do domo. Em particular, são identificadas falhas na região, que se caracterizam principalmente por sua orientação predominante NW-SE, cortando em superfície as formações Pirambóia e Corumbataí. O software Leapfrog foi utilizado para modelagem geológica 3D, revelando diferenças nos contatos litológicos em comparação com o mapa geológico de campo do autor. Apesar da baixa densidade dos dados do poço, o software destacou uma ligeira inclinação para SW na Formação Corumbataí e propôs uma distribuição de falhas na parte leste do modelo. A análise geológica estrutural revelou um padrão de falhas orientadas NW-SE que lembram estruturas de cisalhamento Riedel, com falhas adjacentes mostrando variação lateral. Palavras-Chave: Leapfrog Geo; mapeamento geológico; modelagem; Bacia do Paraná.

ABSTRACT

The Paraná Basin was one of the first areas of research applied to oil and natural gas in Brazil. The São Pedro-SP region stood out for containing geology favorable to the formation of oil and already discovered occurrences of asphalt sandstones contained in the Pirambóia Formation. Drilling holes were drilled throughout the region with the aim of investigating the possibility of economically viable deposits. After more than 90 years, this course conclusion work aims to remap the region of São Pedro-SP and produce a geological model using the Leapfrog Geo software, for further analysis and interpretation of local geology. The studied area is located west of Domo Pitanga and inherits structural trends consistent with the specific dip of the dome strata. In particular faults are identified in the region, which are mainly characterized by their predominant NW-SE orientation, cutting the Pirambóia and Corumbataí formations on the surface. Leapfrog software was used for 3D geological modeling, revealing differences in lithological contacts compared to the author's field geological map. Despite the low density of well data, the software highlighted a SW specificity in the Corumbataí Formation and proposed a fault distribution in the eastern part of the model. Structural geological analysis revealed a pattern of NW-SE oriented faults reminiscent of Riedel shear structures, with adjacent faults showing lateral variation.

Keywords: Leapfrog Geo; geological mapping; modeling; Paraná Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subdivisão da Bacia do Paraná.	16
Figura 2 - Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.	18
Figura 3 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, Limeira e Piracicaba.....	19
Figura 4 - Seção esquemática do Domo de Pitanga.	28
Figura 5 - Falhas normais entre Charquada e São Pedro.....	29
Figura 6 - <i>Trends</i> de falhas da macrorregião de estudo.	30
Figura 7 - Localização da área de estudo.	11
Figura 8 - Siltito lixiviado da Formação Corumbataí.....	32
Figura 9 - Dobra na Formação Corumbataí.	33
Figura 10 - Formação Corumbataí silicificada.....	34
Figura 11 - Fácies basal da formação Pirambóia.....	35
Figura 12 - Lentes de argila na Formação Pirambóia.	36
Figura 13 - Arenito conglomerático da Formação Pirambóia.	36
Figura 14 - Bioturbação em arenito estratificado.....	37
Figura 15 - Cânions na Formação Pirambóia.....	38
Figura 16 - Estratificação de grande porte na Formação Botucatu.	39
Figura 17 - Intrusão basáltica.....	40
Figura 18 - Sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica.....	41
Figura 19 - Projeção dos polos do flanco 1 e 2 da dobra e plano axial.....	42
Figura 20 - Plano axial da dobra tridimensional.	Erro! Indicador não definido.
Figura 21 - Furos de sondagem modelados.....	43
Figura 22 - Modelo geológico da área.....	44
Figura 23 - Descrições dos poços de sondagem.	46
Figura 24 - Modelo de Ridel.....	49
Figura 25 - Desenho esquemático do sistema de falhas local.	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	10
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1 Levantamento bibliográfico	12
4.1.1 Levantamento de dados	12
4.2 Trabalho de campo	12
4.2.1 Fase Preparatória	13
4.2.2 Fase Operacional	13
4.2.3 Integração de dados	14
4.3 Modelagem geológica	14
4.4 Revisão da monografia	15
5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	16
5.1 Bacia do paraná	16
5.2 Bacia do Paraná na Região de Rio Claro	19
5.2.1 Grupo Itararé	20
5.2.2 Formação Tatuí	21
5.2.3 Formação Irati	22
5.2.4 Formação Corumbataí	23
5.2.5 Formação Pirambóia	23
5.2.6 Formação Botucatu	24
5.2.7 Formação Serra Geral	25
5.2.8 Formação Itaqueri	26
5.2.9 Formação Rio Claro	27
5.3 Contexto Geológico Estrutural	27
6 Resultados	31
6.1 Trabalhos de Campo	31
6.2 Geologia local	31
6.2.1 Formação Corumbataí (Pc)	31
6.2.2 Formação Pirambóia (TRJp)	34
6.2.3 Formação Botucatu (JKb)	38
6.2.4 Formação Serra Geral (JKsg):	39

6.2.5 Coberturas aluvionares do Ribeirão Araquá (Qa):.....	40
6.3 Geologia estrutural local	41
6.4 Modelo geológico.....	43
7 Discussão	45
7.1 Dados antigos e procura dos afloramentos	45
7.2 Modelagem Geológica	47
7.3 Contatos geológicos	48
7.4 Geologia estrutural.....	49
8 Conclusão.....	52
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE I	57
APÊNDICE II	58
APÊNDICE III	59

1 INTRODUÇÃO

A Geologia do Petróleo estuda diversas variáveis relacionadas à evolução de uma bacia sedimentar. Tais variáveis são necessárias para a análise da possibilidade de ocorrência de hidrocarbonetos e da viabilidade ou não de extração. Fatores cruciais para se avaliar um prospecto petrolífero são a rocha matriz, a maturação da matéria orgânica, formas de migração, presença de estruturas tectônicas, rocha reservatório, rocha selante e, não menos importante, a relação temporal entre as precedentes feições.

A Bacia do Paraná é composta por rochas sedimentares e vulcânicas formadas entre o Paleozoico e o Cenozoico. No Flanco Nordeste da bacia é encontrada a sucessão estratigráfica das formações Tatuí, Irati e Corumbataí, que fazem parte do Grupo Passa Dois de idade Permiana (SOARES e LANDIN, 1973; SCHNEIDER et al., 1974), e das formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Bauru, que depositaram durante o Mesozóico (SOARES, 1973).

A área entre os municípios de Águas de São Pedro, Charqueada e São Pedro foi alvo de prospecção petrolífera desde o início do século passado, sem que houvesse um retorno satisfatório. Como destacado em vários relatórios, o problema principal do insucesso é ligado ao escasso conhecimento da época sobre os sistemas petrolíferos e a geologia da região.

De um modo geral, entre os municípios de Rio Claro e São Carlos existe um alto estrutural conhecido como Domo de Pitanga, resultado da deformação tectônica que afetou a Bacia do Paraná. Essa estrutura pode ser considerada uma anticlinal (SOARES, 1974) e deforma sedimentos de idade Permiana e Mesozoica pertencentes ao Grupo Passa Dois e à Formação Pirambóia.

A Formação Irati do Grupo Passa Dois é uma unidade caracterizada por siltitos e folhelho cinzento, além de folhelhos betuminosos intercalados com calcários (SOARES e LANDIN, 1973), rochas que possibilitam a presença de petróleo na região. A Formação Pirambóia é uma das unidades de maior ocorrência no centro leste de São Paulo e é caracterizada por arenito e siltito de ambiente eólico e fluvial (SOARES, 1975) que apresentam uma excelente porosidade e permeabilidade. O conjunto dessas duas unidades constitui o sistema petrolífero Irati-Pirambóia já estudado desde

o começo do século passado extensos afloramentos de arenitos asfálticos na porção centro-leste da Bacia do Paraná, principalmente ligados à Formação Piramboia (FRANZINELLI, 1972).

O início dos estudos sobre a Geologia do Petróleo da região de São Pedro e o interesse na exploração da área em 1917 pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP) (PAIVA, 1975) foi a alavanca para a procura de petróleo no Flanco Nordeste da Bacia do Paraná. A região foi alvo de pesquisas, realizando diversas sondagens (18 só entre 1921-1934), a procura se estendeu para as décadas de 70 a 90, quando devido ao fracasso nas condições comerciais, a área foi abandonada e nenhum estudo foi desenvolvido nesta região desde então.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este projeto tem como objetivo a revisão da bibliografia disponível na região entre os municípios de Charqueada, São Pedro e Águas de São Pedro, além do mapeamento geológico de áreas específicas com anomalias estruturais e pôr fim a um modelamento geológico 3D da área de estudo.

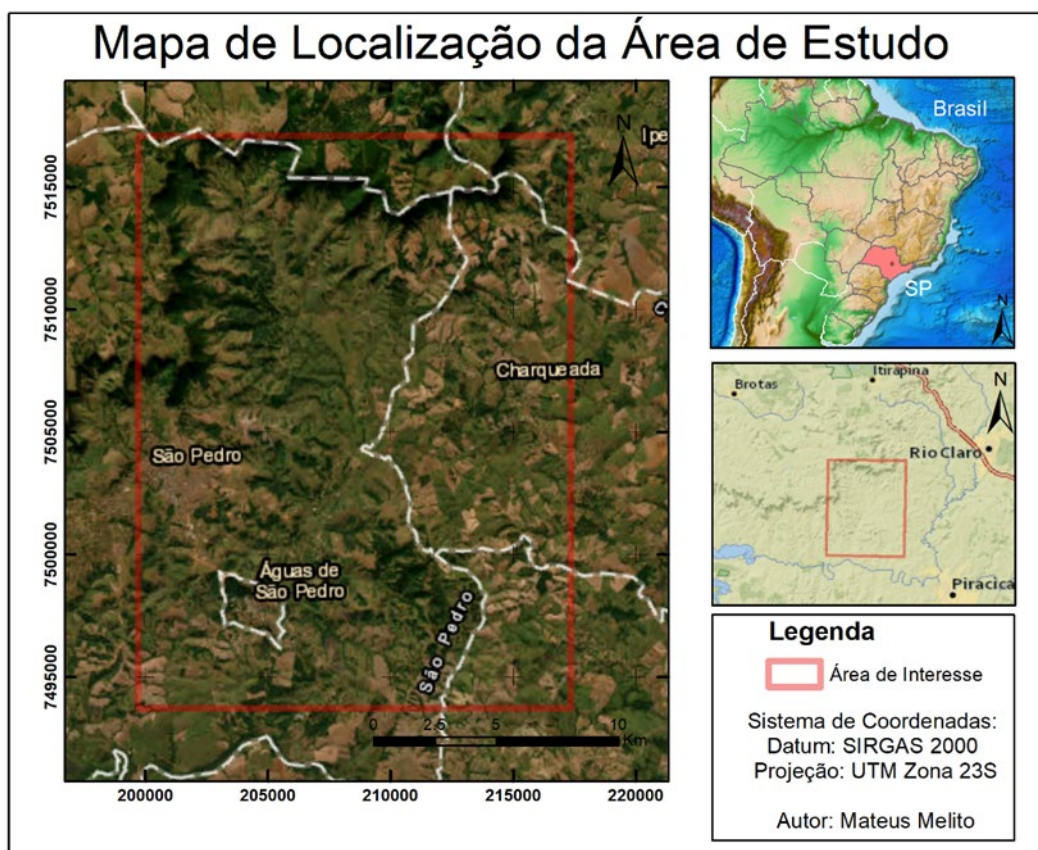
No início do século XX o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), fez estudos voltados a prospecção de petróleo na região de São Pedro (PAIVA 1975), estes estudos foram pioneiros no Flanco Nordeste da Bacia do Paraná. Os trabalhos na região foram realizados principalmente entre os anos 20 e 30, todavia, os resultados obtidos nessa área não foram economicamente viáveis para o mercado da época, apesar de terem encontrado óleo e gás. Ao analisar a bibliografia podemos notar que o conhecimento geológico-estrutural era precário e que há possibilidade de reestudar a geologia local aplicando conceitos e métodos de prospecção mais atuais, assim possibilitando uma maior assertividade de alvos. Além disso, os valores atuais do commodity poderiam propiciar um aproveitamento econômico.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os municípios de Águas de São Pedro, Charqueada e São Pedro estão localizados na região central do Estado de São Paulo, distante aproximadamente 200 quilômetros da capital, São Paulo. Nestas cidades do interior paulista encontra-se a área a ser estudada nesse projeto.

A área de estudo é contida em um polígono de 410 quilômetros quadrados que engloba as três cidades já citadas. Esta região será analisada por conter os poços já perfurados e descritos em campanhas de prospecção. O polígono delimita a área de estudo (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Essa primeira etapa é desenvolvida a partir da busca e seleção de livros, relatórios técnicos e artigos científicos relacionados a prospecção de petróleo na região de Águas de São Pedro, Charqueada e São Pedro.

4.1.1 Levantamento de dados

A segunda etapa foi o levantamento e análise de dados de sondagens já realizadas na área de estudo e disponibilizados por órgãos como o Serviço Geológico do Brasil - CPRM e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

Nessa etapa foi realizado um mapeamento geológico na área de estudo, visando a coleta de dados estruturais e um maior detalhamento da geologia local. Também foram procurados antigos afloramentos de arenitos asfálticos, já descritos na literatura, mas que não foram mais localizados com o passar do tempo. Esta etapa foi dividida em três fases, sendo elas a fase preparatória (etapa pré-campo), fase operacional (atividade de campo) e integração dos dados (trabalhos realizados com os dados coletados).

4.2.1 Fase Preparatória

Etapa onde é feito um levantamento bibliográfico do contexto geral da Bacia do Paraná e sua caracterização no estado de São Paulo. Além disso, é pesquisada a estratigrafia, geomorfologia e análise estrutural da bacia na área de estudo.

4.2.2 Fase Operacional

Foi confeccionado um mapa topográfico dividido em curvas de nível de 10 metros. Essa etapa fará uso do software Arcgis, onde é feita a vetorização destas curvas de nível, das principais estradas, drenagens e pontos de referência, este mapa deve ter a escala de 1:25.000.

Em campo a área mapeada foi percorrida, procurando estabelecer uma malha de pontos, levantar seções colunares, obtendo medidas estruturais e compreender a relação estratigráfica das unidades litológicas com as características geomorfológicas observadas e seus contatos.

A marcação dos pontos com afloramentos de rocha foi feita com o auxílio do aplicativo "Avenza" e "GIS Pro", onde é marcada a coordenada do ponto, as anotações referentes a rocha encontrada e as fotos do afloramento. Para as medidas estruturais usou-se a bússola Clar e suas medidas foram anotadas tanto na caderneta de campo, como também no aplicativo. Além disso, para o campo também foram usados martelo, lupa, escalas, ácido, prancheta e mapas.

Os afloramentos foram descritos segundo os seguintes critérios: definição da orientação, dimensão e formas dos estratos; análise descritiva (litologia aflorante, relações estratigráficas e faciológicas, arcabouço da rocha - granulação, forma dos grãos, grau de arredondamento e esfericidade, grau de seleção, textura superficial do grão, grau de maturidade textural, cimentação ou presença de matriz e sua eventual constituição, coloração, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero); além de medidas estruturais (atitudes dos estratos, deformações, preenchimento e rugosidade de fraturas).

4.2.3 Integração de dados

Na etapa de integração dos dados, foi feita uma junção dos dados coletados em campo e posteriormente a confecção de um mapa geológico da área de estudo. Neste mapa estão informações como medidas estruturais, localizações dos pontos visitados, litologias e base topográfica.

Os dados estruturais também foram plotados no software “Estereonet”, nele é possível gerar estereogramas com os dados estruturais obtidos, possibilitando uma análise clara das estruturas visualizadas em campo.

4.3 MODELAGEM GEOLÓGICA

O método de modelagem implícita foi utilizado na elaboração deste trabalho, pois possibilita a integração de diferentes fontes de dados de forma prática e rápida, permitindo testar diferentes cenários geológicos durante o processo de modelagem durante a construção automática de um sólido geológico ao inserir dados e parâmetros do modelo.

Esse método de modelagem também foi escolhido por ser adequado para modelagem de dados em larga escala (Rolo, 2017). Para a interpolação dos dados foi utilizado o software Leapfrog Geo®, que permite modelar corpos geológicos com base na construção de superfícies cronológicas entre litologias, definindo superfícies de contatos litológicos e tendências estruturais (Sequent, 2014).

O modelo foi construído com profundidade máxima de 500 metros para projetar as camadas em subsuperfície, evitando assim projetar camadas com muitas incertezas em relação a sua atitude.

As superfícies foram construídas a partir de contatos litológicos e modeladas de acordo com a litologia de cada corpo, que pode ser deposicional ou intrusiva. Uma vez atribuída, uma superfície correspondente a cada litologia, estas foram colocadas cronologicamente de acordo com a estratigrafia da área para que o software pudesse interpolar a relação temporal entre cada corpo ao estruturar o modelo geológico.

Para controlar melhor a forma de um corpo geológico em um ambiente tridimensional, o Leapfrog Geo® tem a capacidade de determinar a direção de

construção primária (anisotropia) do sólido modelado. Esse trabalho utilizou anisotropia baseada em tendência estrutural, onde o programa modela a tendência comportamental do corpo por meio de dados estruturais adicionados ao modelo (Sequent, 2014).

4.4 REVISÃO DA MONOGRAFIA

A quinta etapa foi a síntese de todas as informações obtidas anteriormente e a elaboração da monografia do Trabalho de Conclusão de Curso.

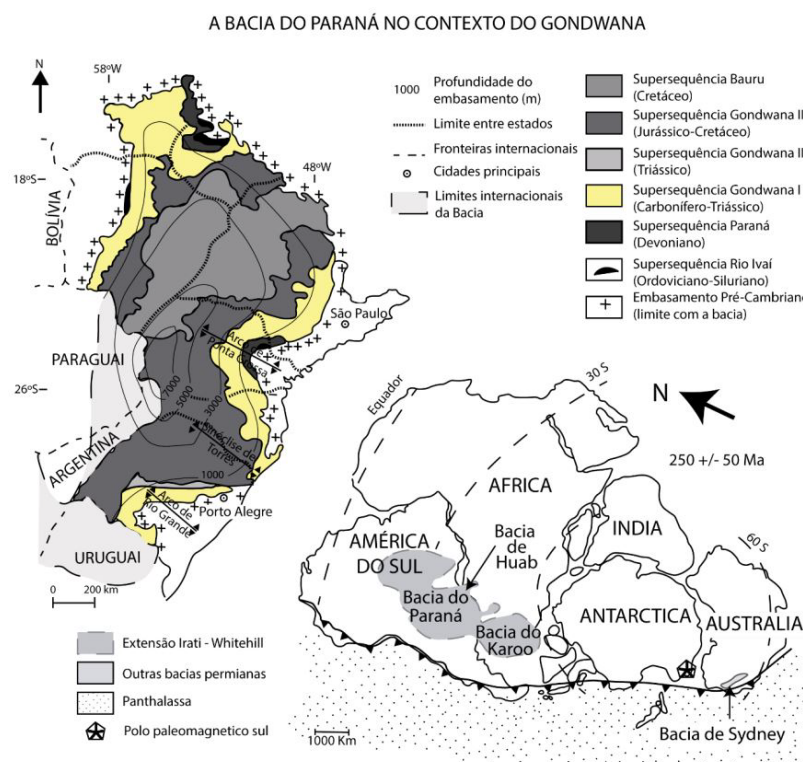
5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

5.1 BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná (Figura 2) está localizada na região centro-leste da América do Sul. Recobre uma área de quase 1.500.000 km², dos quais aproximadamente 1.000.000 km² ocupam a porção meridional do território brasileiro, regiões dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás. Os 500.000 km² restantes estão distribuídos em áreas do Uruguai, Paraguai e Argentina (Milani, 1997). Apresenta grande diversidade geológica conforme mostrado na Coluna Estratigráfica (Figura 3).

A origem desta província geológica é precedida pela erosão e denudação das estruturas orogênicas formadas durante o Ciclo Brasileiro, datado do Neoproterozoico. No Paleozóico Inferior (Ordoviciano Superior), grande área situada no sul da Plataforma Sul-Americana passou por processo de subsidência, culminando no estabelecimento de grande depressão em forma de sinéclise intracratônica, correspondente à Bacia do Paraná (Milani, 1997).

Figura 2 - Subdivisão da Bacia do Paraná.



Fonte: Aragão (2020).

A forma dessa bacia é predominante alongada, segundo NNE-SSW, apresentando eixo maior N-S, com contorno definido por limites erosivos, os quais estão em grande parte relacionados à geotectônica meso-cenozoica (Milani et al., 2007).

A bacia compreende um pacote litológico com espessura máxima de 7 mil metros, composto, sobretudo, por rochas sedimentares e intrusivas exatamente no depocentro estrutural da sinéclise, ou seja, na calha do Rio Paraná. Com relação à disposição cronoestratigráfica, as unidades encontradas a Nordeste da Bacia do Paraná possuem abrangência Carbo-Permiana (Grupo Itararé) a Quaternária (Formação Rio Claro), conforme pode ser observado na Carta Estratigráfica de Milani et al. (2007).

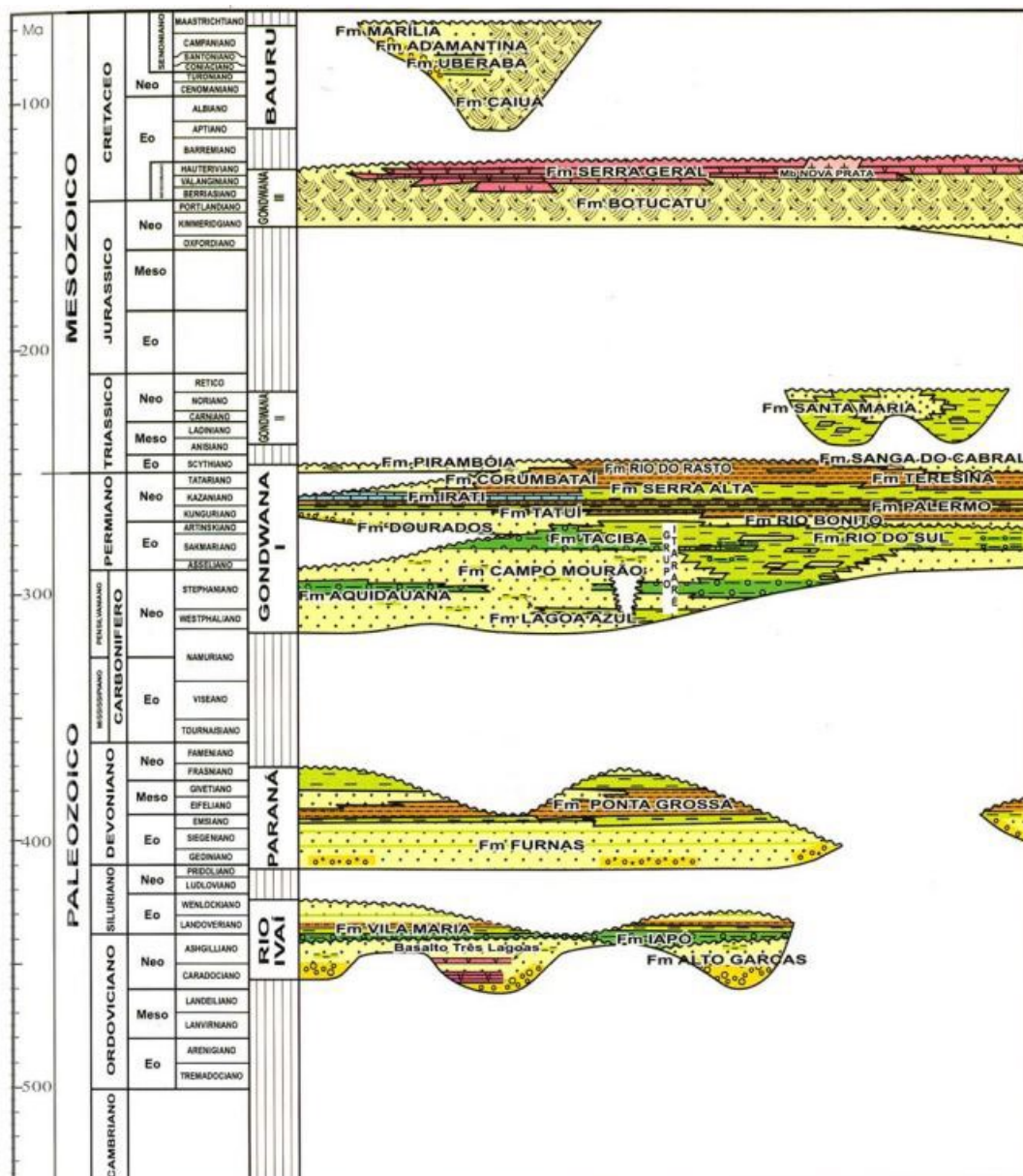
Sobre sua evolução tectônica, a evolução da bacia associou-se à cinturões colisionais na margem sudoeste do Gondwana - relacionados à convergência entre este continente e a litosfera oceânica do Panthalassa (Keidel, 1916), de modo que a subsidência da bacia é criada por flexura litosférica devido à sobrecarga tectônica nesses cinturões (Milani, 1997). Apesar disso, Zalán et al. (1990b) sugere que eventos de contração térmica se relacionaram à sinéclise, enquanto Fulfaro et al. (1982) indica que calhas aulacogênicas foram as precursoras da sedimentação no embasamento.

Com relação à segmentação da bacia em pacotes rochosos de grandes intervalos temporais e presença de discordâncias inter-regionais, Milani (1997) reconheceu seis Supersequências (Vail et al., 1977): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). São destacadas no presente trabalho apenas a Supersequência Gondwana I e parcialmente a III, que englobam as unidades presentes na área de estudo.

Dessa forma, a Supersequência Gondwana I (Milani, 1997) é marcada por um ciclo transgressivo-regressivo completo. Inicialmente o Gondwana Sul-ocidental posicionou-se a elevadas latitudes em um contexto de glaciação continental, com níveis eustáticos baixos, gerando o Grupo Itararé (Carbo-Permiano). Em seguida, o paleocontinente Gondwana migrou para o Norte e saiu do contexto glacial. Como consequência, ocorreu deglaciação e elevação do nível eustático na chamada "transgressão permiana" (Lavina e Lopes, 1986), onde o oceano Panthalassa invadiu a sinéclise. Este contexto foi responsável por originar a Formação Tatuí.

Posteriormente ocorreu efetiva restrição de circulação de águas entre o oceano Panthalassa e a sinéclise, de modo que se instalou ambiente transicional com tendências posteriores à continentalização, devido a regressão marinha. Em outras palavras, ocorreu gradual fechamento da bacia às incursões marinhas do Oeste, ou seja, a Bacia do Paraná adquire caráter intracratônico com aprisionamento em um Gondwana Mesozoico árido no topo. Sua base, portanto, inicia-se no Grupo Itararé até o topo Piramboia.

Figura 3 - Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.



Fonte: Milani (2004).

5.2 BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE RIO CLARO

A região de Rio Claro - Limeira - Piracicaba possui divisões em suas formações e grupos baseados na Coluna Estratigráfica proposta por Perinotto e Zaine (2008), modificada de Soares e Landim (1975) (Figura 4).

Figura 4 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, Limeira e Piracicaba.

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
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS FLUVIAL E LACUSTRE
	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
PALEOZÓICA		PASSA DOIS	CORUMBATAI		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE TRANSICIONAL: PLANÍCIE DE MARE
			IRATI Mb. Assistência Mb. Taquaral		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS	TRANSICIONAL: LAGUNA MARINHO RASO: PLATAFORMA
			TATUI		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	TRANSICIONAL: PLANÍCIE COSTEIRA MARINHO RASO: PLATAFORMA
		ITARARÉ	Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS)	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL: LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMAL
	CARBONIFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS	

Fonte - Perinotto e Zaine (2008).

5.2.1 Grupo Itararé

O Grupo Itararé corresponde à porção basal do Supergrupo Tubarão, exibindo grande heterogeneidade litológica e faciológica, relacionada a depósitos glácio – continentais e glacio-marinhos. Apresenta contato discordante com rochas da sequência devoniana (Formação Furnas) ou com os litotipos que compõem o embasamento cristalino pré-cambriano da bacia, situados a leste-sudeste. As rochas sobrepostas da Formação Tatuí também exibem, no estado de São Paulo, contato geralmente discordante (Milani et al., 2007).

A porção inferior do Grupo Itararé é composta predominantemente por arenitos basais cinza a cinza acastanhados, de granulação, forma e dimensões variáveis, maduros a submaduros. Exibem diversas estruturas sedimentares como por marcas onduladas e estratificações cruzadas de portes e tipos variados. Associam-se a diamictito que variam desde lamito arenoso levemente conglomerático a arenito lamítico conglomeráticos, comumente intercalados a siltito e lamito com seixos. Os seixos são constituídos por quartzito, gnaiss, arenito, migmatito, metarenito, xisto e filito, com dimensões milimétricas a decimétricas (França et al., 1996).

Os ritmitos apresentam constituição variável, desde intercalações entre argilito de coloração vermelha e siltito branco, até alternância de níveis argilosos marrom escuros a pretos e lâminas de siltitos amarelo claro a creme (Petri, 1992).

O caráter continental deste intervalo é atestado pela presença de poros e esporos pertencentes à macroflora Potonieisporites. Já em sua porção intermediária, macrofósseis são praticamente ausentes com ocorrência restrita de esporos marinhos *Tasmanites* sp. O topo do Grupo Itararé Presença de crinoides, braquiópodos do gênero *Orbiculoidea*, foraminíferos e *Tasmanites* sp. atestam o caráter marinho predominante durante a deposição deste intervalo. (França et al., 1996)

A idade dos litotipos que compõem o Grupo Itararé compreende o intervalo Stephaniano (Carbonífero Superior) – Kunguriano (Permiano Inferior), determinada por meio de dados palinológicos. Restos vegetais dos gêneros *Gangamopteris* e *Glossopteris* foram também descritos em meio a esta unidade, constituindo importantes indicadores do limite C/P nas bacias gondwânicas sul-americanas. (Schneider et al., 1974).

5.2.2 Formação Tatuí

A Formação Tatuí, restrita a porção norte-nordeste da Bacia do Paraná, representa o registro sedimentar pós-glacial em território paulista, sobreposto ao Grupo Itararé. Apresenta-se delgada em superfície, sendo sua espessura máxima da ordem de 130m, no sul do estado, valor que diminui para o nordeste e norte, em direção à borda da bacia. (Fúlfaro et al., 1984)

O intervalo basal é formado predominantemente por siltitos marrom-arroxeados, localmente brancos, acamadados e raramente laminados. Ocorrem também finas camadas de calcário e sílex, de espessura milimétrica a decimétrica, bem como arenitos muito finos a finos, muitas vezes ricos em silte, portadores de estratificações plano-paralelas e raras estratificações cruzadas acanaladas. (Soares, 1972).

Por sua vez, a porção superior da Formação Tatuí exhibe a predominância de siltitos cinza-esverdeados e creme a amarelo-esverdeados. Na base deste pacote, ocorrem lentes de arenitos médios a grossos, subarredondados, que exibem estratificação cruzada acanalada, além de ondulações associadas a arenitos finos, portadores de estratificação plano-paralela. Estão presentes ainda camadas e níveis marcados por seixos de sílex, angulosos ou arredondados, com espessura média entre cinco e dez centímetros. (Soares, 1972).

A Formação Tatuí inicia-se com siltitos e arenitos verde-avermelhados, com estratificação plano-paralela, associados a calcários cinza, lenticulares. A parte média da seção exhibe arenitos finos, avermelhados, com estratificação cruzadas longas de baixo ângulo, e lentes de arenito intercaladas, semelhante às seções da região de Itapetininga. A parte superior da unidade apresenta arenitos finos avermelhados, com estratificações cruzadas que gradam para arenitos esverdeados de granulação média, maciços, em contato com siltitos argilosos de mesma coloração, com fluidização do arenito no limite entre as duas litologias. (Soares, 1972).

O registro fóssil da Formação Tatuí inclui foraminíferos aglutinantes (*Erlandia* sp., *Ammodicus* sp., *Hyperamina* sp.), espículas de esponjas, bem como fragmentos ósseos e restos vegetais. A correlação lateral desta unidade às formações Rio Bonito e Palermo permite posicioná-la no limite Eo-Mesopermiano (andares Kunguriano/Kazaniano). (Soares, 1972).

5.2.3 Formação Irati

As características litológicas das porções inferior e superior da Formação Irati permitem subdividi-la em dois membros: Taquaral (basal) e Assistência. O primeiro corresponde a um pacote de folhelhos síltico-argilosos, cinza escuros e não – betuminosos. Subordinadamente ocorrem leitos lentiformes de arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos, restritos à borda nordeste, norte e oeste da bacia (Milani, 1997).

O Membro Assistência é composto por camadas de folhelhos cinza-escuros a pretos, localmente cinza-esverdeados, betuminosos e por vezes piritosos, intercalados a calcários dolomíticos. Os primeiros são argilosos, micáceos, com presença de laminações submilimétricas de níveis sílticos, com caráter lentiforme. Apresentam, localmente, ocorrências de minerais autigênicos, notadamente pirita, sílica criptocristalina e glauconita, mais comuns na porção superior deste membro. (Hachiro. 1996).

As rochas calcárias apresentam-se geralmente silicificadas, com coloração variando desde cinza claro e cinza até tons avermelhados, predominantes próximos ao topo da unidade. Estes níveis calcários estão sempre associados a silexites que ocorrem na forma de leitos descontínuos, de espessura centimétrica, ou como nódulos e concreções de forma arredondada em meio aos folhelhos e carbonatos. Raros níveis evaporíticos, compostos por anidrita e gipsita, podem estar presentes junto às camadas calcárias. (Hachiro. 1996).

O registro fóssil da Formação Irati mostra-se rico em crustáceos (Paulccaris e Claekecareos), com importante ocorrência de répteis (Mesosaurus brasilienses e Steroternum tumidium), e vegetais lenhosos (Solenopitys rusticana, Abietopitys Kräusel sp. e Atlanticoxylon bortoluzii). (Hachiro. 1996).

5.2.4 Formação Corumbataí

Com ocorrência restrita a porção centro-leste do estado de São Paulo, a Formação Corumbataí caracteriza-se como uma associação de siltitos e argilitos roxos, verdes e castanhos, que constituem camadas tabulares com até 2m de espessura. Apresentam intercalações de arenitos finos, calcarenitos e leitos ou níveis de sílex relacionados à coquinas, com ocorrência subordinada de ritmitos dados pela alternância de lâminas de siltitos e argilitos (Perrotta, 2005).

As porções intermediária e superior desta unidade apresentam, com maior frequência, pelitos arenosos e arenitos finos, bem como lentes e bancos calcários, geralmente micríticos, e rochas mistas (silicosas e carbonáticas). Neste intervalo, as camadas de pelitos passam a ocorrer muitas vezes como lâminas ou lentes, intercalando-se a arenitos finos ou calcarenitos, originando estratificações dos tipos flaser, wavy e lenticular. Predominam as tonalidades vermelha, marrom, roxa e amarela. Estratificações plano-paralelas são dominantes em meio aos litotipos pelíticos, ao passo que laminações cruzada, ondulada ou plano-paralela são identificadas em arenitos finos e calcarenitos (Zanardo et al., 2016).

Ainda considerando os intervalos médio e superior da Formação Corumbataí, são descritos enxames de diques clásticos em meio às camadas pelíticas, compostos por arenito fino (Riccomini, 1995).

Quanto ao registro fóssil da Formação Corumbataí, extensa assembleia foi documentada para a unidade, incluindo ao menos quinze gêneros distintos de ostracodes, espículas de esponja, fragmentos ósseos de peixes e escamas (Elasmobranchiomorph e Crossopterygii), além de fragmentos biogênicos e mesossaurídeos. Estes últimos permitem posicionar a Formação Corumbataí no Permiano Superior (Souza, 1985).

5.2.5 Formação Pirambóia

Constituindo a porção basal do Grupo São Bento, a Formação Piramboia é composta por arenitos esbranquiçados, amarelados a avermelhados, muito finos a

médios, mal selecionados, imaturos, subangulares a subarredondados, com seixos de argilitos. Na porção inferior da unidade predominam arenitos finos a muito finos, síltico-argilosos, moderadamente selecionados, portadores de estratificações plano-paralela, cruzada acanalada e tangencial na base, de pequeno porte. São comuns superfícies de truncamento, as quais delimitam corpos de geometria cuneiforme (Perrotta, 1997).

A porção superior da Formação Piramboia exibe a predominância de bancos arenosos finos a grossos, por vezes conglomeráticos, moderadamente a mal selecionados, com presença variável de lentes e lâminas argilosas, centimétricas a decimétricas. As principais estruturas presentes neste intervalo consistem em estratificações cruzadas planares tangenciais de médio e pequeno porte, além de estratificações plano-paralelas. O teor de litotipos pelíticos varia entre 10 e 20 % ao longo da porção superior da Formação Piramboia, apresentando leve decréscimo em direção ao topo, acompanhado pelo aumento da presença de arenitos conglomeráticos (Soares, 1975).

A borda Leste da Formação Piramboia no Estado de São Paulo é caracterizada pela ocorrência de espessos depósitos de arenitos conglomeráticos em sua porção superior, os quais chegam a atingir 45 m de espessura, individualizados de maneira informal como Arenitos Conglomeráticos Itirapina (Soares, 1975).

O conteúdo paleontológico da Formação Piramboia é pouco diversificado e escasso. Há registros de restos de caule em sedimentos do topo da unidade, conchostráceos e ostracodes de água doce, de idade mesozóica. Podem ser encontradas também feições que possivelmente associadas a pegadas de animais vertebrados (mamíferos ou dinossauros) em sedimentos de interdunas úmidas. Bioturbações atribuíveis ao icnogênero *Muenserina*, correspondentes a perfurações por larvas e insetos, foram encontradas em depósitos de interdunas e de caudas de dunas (Matos, 1995).

5.2.6 Formação Botucatu

A formação Botucatu aflora, em território paulista, como faixa contínua de largura bastante variável, junto às encostas de serras basálticas e em suas escarpas,

exibindo espessuras geralmente entre 50 e 150 m. Mostra adelgaçamento em direção à porção sul da Bacia do Paraná, estando ausente na região central do estado do Rio Grande do Sul (Assini et al., 2004).

A composição litológica da Formação Botucatu se mostra mais homogênea quando comparada aos depósitos arenosos sotopostos da Formação Piramboia. Predominam arenitos finos a médios, localmente grossos, avermelhados, róseos a esbranquiçados, quartzosos, bem selecionados (bimodais), altamente friáveis, arredondados e com alta esfericidade. Como estruturas predominantes, destacam-se estratificações cruzadas planares e tangenciais na base, de médio a grande porte, dispostas na forma de grandes cunhas (Zaine, 1994).

Ocorre no Estado de São Paulo, acompanhando ou próximo à linha de cuestas, ou seja, junto ao degrau de relevo formado entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista, com espessuras variáveis, máxima de 150 m e média de 50 a 70 m. Na região de Rio Claro, as exposições situam-se na Serra de Santana e em morros testemunhos (Zaine, 1994). Seus registros paleontológicos se restringem a pegadas e pistas fósseis (Schneider et al., 1974).

5.2.7 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é constituída predominantemente de derrames basálticos de platô, com eruptivas associadas subordinadamente. Recobre cerca de 800.000 km² da Bacia Sedimentar do Paraná. Consiste em basaltos e andesitos basálticos toleíticos, de coloração cinza-escura a negra, maciços, geralmente afaníticos a subfaneríticos, com presença localizada de fenocristais de augita e plagioclásio. São comuns zonas marcadas pela presença de vesículas e amígdalas preenchidas por calcita, quartzo, zeólitas, fluorita e argilas esverdeadas (celadonita), as quais geralmente delimitam os diferentes pulsos magmáticos que compõem a Unidade Básica Inferior em escala local (Nardy, 1988).

No estado de São Paulo, considerando-se a Unidade Básica Inferior, os derrames são essencialmente sub-horizontais, com inclinações médias inferiores a 5° para o interior da bacia, reflexo de deslizamento das lavas em superfície planas, pouco inclinadas. Os derrames basais podem apresentar, localmente, inclinações anormais

devido à irregularidade da topografia original do embasamento sobre o qual as lavas fluíam. (Nardy, 1988)

São comuns corpos ígneos verticais e discordantes ao acamamento das rochas pretéritas, os quais configuram diques correlatos ao magmatismo Serra Geral. Estas feições chegam a alcançar 600 m de espessura e extensões de até 50 km. Os enxames dos diques se dispõem intrudidos ortogonalmente à direção do esforço compressivo mínimo, com orientação preferencial segundo NW-SE. (Nardy, 1988).

Além dos corpos verticais discordantes, ocorrem numerosas intrusões horizontais concordantes ao acamamento sedimentar das unidades mais antigas, os quais correspondem a sills ou soleiras.

5.2.8 Formação Itaqueri

A formação Itaqueri ocorre na porção central do estado de São Paulo, compondo as posições cimeiras das serras de São Pedro, Santana, Cuscuzeiro, Itaqueri e platô de São Carlos, comumente em altitudes próximas a 1000 m. Recobre geralmente os derrames basálticos da Formação Serra Geral e arenitos mesozoicos silicificados da Formação Botucatu, com espessura máxima entre 120 e 130 m. Inicialmente, a Formação Itaqueri compunha o topo do Grupo Bauru; hoje, não integra unidades de maior hierarquia (Riccomini, 1997).

Os principais litotipos que compõem esta unidade são formados pela alternância de arenitos com matriz argilosa, folhelhos, conglomerados e níveis de arenito intensamente silicificado. A porção basal da Formação Itaqueri é marcada por camadas de conglomerado basal, com até 5 m de espessura. Outros níveis de conglomeráticos ocorrem intercalados nos sedimentos mais finos. Apresentam seixos arredondados, constituídos predominantemente de basalto, com presença subordinada de quartzo, calcedônia, quartzito, filito, pegmatito, sílex e folhelho. Por sua vez, os estratos arenosos exibem granulação variável, desde muito fina, gradando para siltitos, até termos grossos a muito grossos, mal selecionados, localmente arcoseanos (Riccomini, 1997).

Quanto ao registro fóssil da Formação Itaqueri, destacam-se gastrópodos, bivalves, ostracodes e conchostráceos, bem como fragmentos vegetais. A idade de

deposição atribuída a este litossoma corresponde ao intervalo Paleoceno – Eoceno (Mezzalana, 1989).

5.2.9 Formação Rio Claro

A ocorrência dessa Formação foi reconhecida, segundo Melo (1995), na área do platô de Rio Claro (SP), onde se apresenta de forma mais contínua, e na borda leste da Depressão Periférica, em que aparece de forma descontínua. É descrita por Schneider et al. (1974) como depósitos neo-cenozoicos de arenitos arcossianos mal consolidados com intercalação de arenitos conglomeráticos e sedimentos argilosos avermelhados, com espessura máxima de 40 metros. Ainda segundo o autor, apresenta relações discordantes com as rochas do embasamento e as demais formações da Bacia do Paraná. As litofácies reconhecidas e descritas por Melo (1995), indicam um ambiente deposicional fluvial meandrante.

O conteúdo fóssilífero é constituído essencialmente de restos vegetais muitas vezes indeterminado, oogônios de carófitas e impressões atribuídas a angiospermas e pteridófitas (Zaine, 1994).

5.3 CONTEXTO GEOLÓGICO ESTRUTURAL

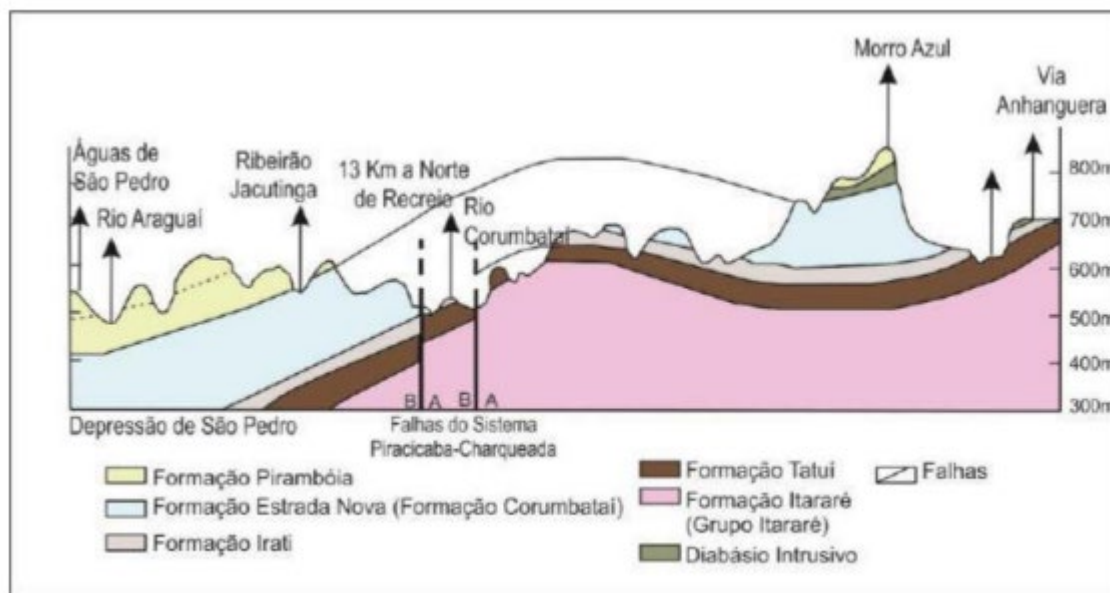
A bacia do paraná é reconhecida como uma sinéclise pouco deformada. No estado de São Paulo, divide-se em três compartimentos: Paranapanema, Botucatu-Itu e Rio Tietê. Tais compartimentos são definidos como homoclinais sub-horizontais, com mergulhos tendendo para direções convergentes.

A presença de grandes lineamentos estruturais com direções preferenciais NW-SE, NE-SW e E-W, por exemplo, deve-se a reativações de estruturas herdadas do embasamento (Zalán et al., 1987; Milani, 1997).

Nesse contexto, na borda leste da Bacia do Paraná, ocorrem diversos altos estruturais, como o de Pitanga, entre as cidades de Rio Claro e Piracicaba. O Domo de Pitanga  uma estrutura antiformal com morfologia em mapa aproximadamente

elíptica, sendo o eixo maior alongado em cerca de 30 km na direção NNE-SSW e o eixo menor em torno de 15 Km na direção E-W (Figura 5).

Figura 5 - Seção esquemática do Domo de Pitanga.



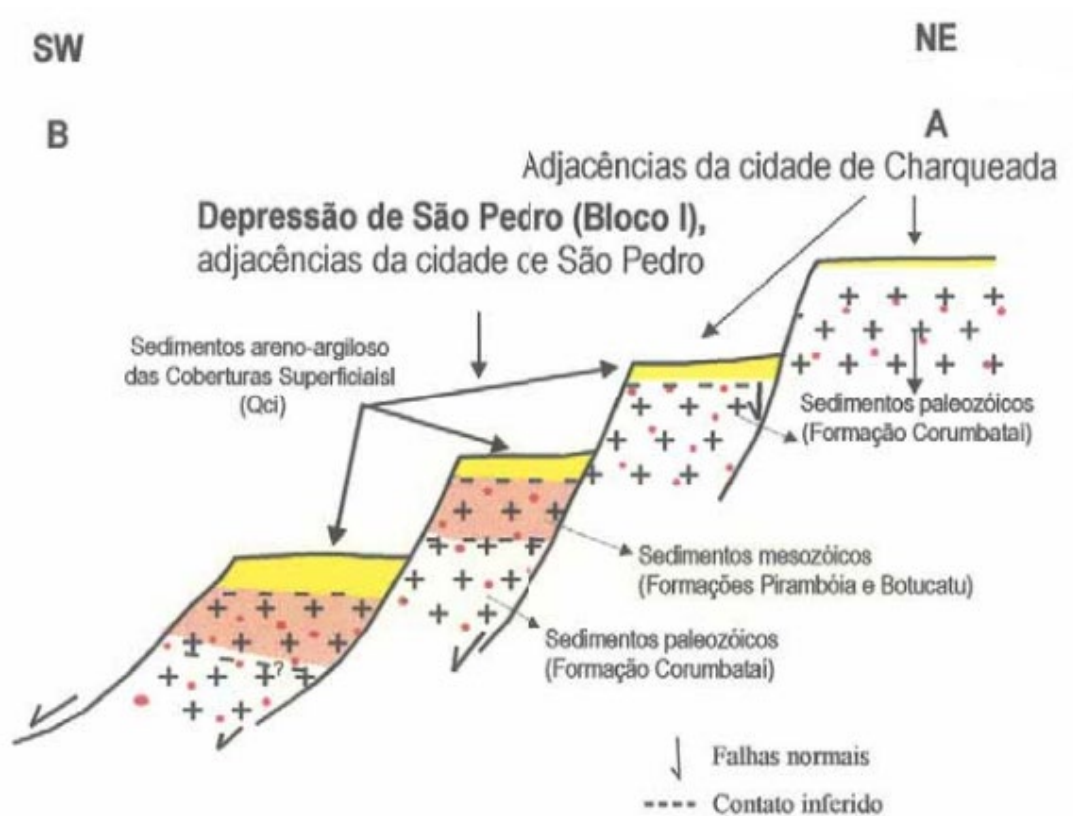
Fonte: Soares (1974).

Segundo Soares (1974), o domo teria sido gerado por esforços compressivos associados à subsidência da bacia. Já para Riccomini (1995), o Domo de Pitanga é fruto da reativação transcorrente de lineamentos estruturais por compressão WNW-ESSE. Tais lineamentos correspondem aos rios Moji Guaçu (NW-SE) e Tietê (NNW-SSE), que foram reativados, respectivamente, por movimentação dextral e sinistral.

A área de estudo está localizada na direção oeste a cerca de 20 quilômetros do centro do domo de Pitanga, sendo assim, herda tendências estruturais que acompanham as direções preferenciais de inclinações de camadas do domo.

Facincani (2000) identifica uma série de falhas entre os municípios de Charqueada e São Pedro (Figura 6). Estas são falhas em geral de pequeno rejeito, mas que são bem demarcadas por fotogeologia e destacadas pelas discontinuidades geológicas. As estruturas possuem direção preferencial NW-SE predominante na região e cortam localmente as Formações Pirambóia e Corumbataí.

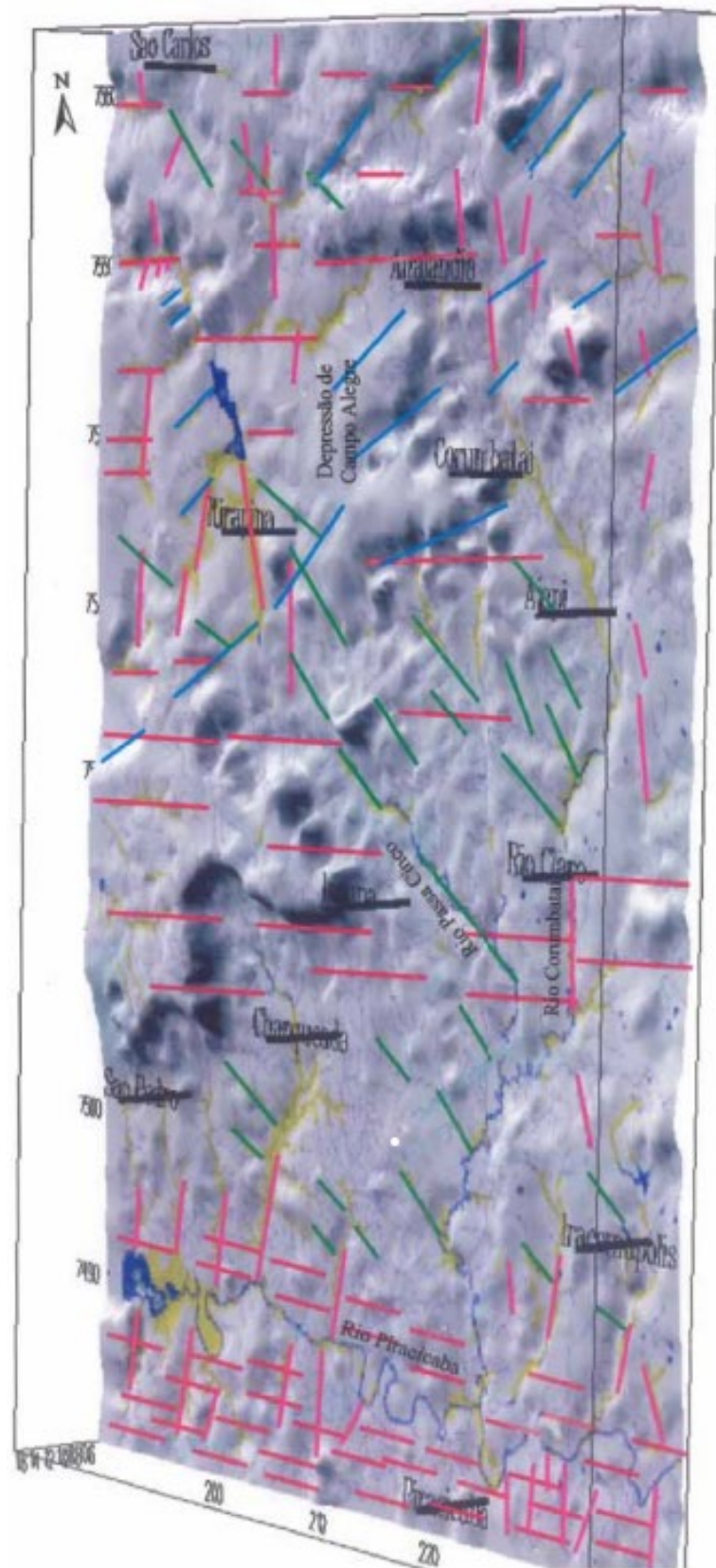
Figura 6 - Falhas normais entre Charquada e São Pedro.



Fonte: Facincani (2000).

Na região estudada existem três principais *trends* de falhas descritas por Facincani (2000). Sendo estas, falhas normais e transcorrentes com orientação predominante E-W, NW-SE e NE-SW, como mostrado no bloco diagrama da Figura 7 que apresenta os *trends* regionais.

Figura 7 - Trends de lineamentos da macrorregião de estudo.



Fonte: Facincani (2000).

6 RESULTADOS

6.1 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos realizados em campo foram essenciais para a interpretação geológica local e confecção do mapa geológico (APÊNDICE I). Na literatura é possível encontrar alguns mapeamentos realizados na região de São Pedro, todavia, estes têm divergências entre si, principalmente na área localizada entre o município de Charqueada e São Pedro. Nesta região encontram-se mapas com divergências em relação a um possível domo local, onde a Formação Corumbataí fica isolada em meio a Formação Pirambóia, assimilando-se como uma anticlinal.

Além do foco no possível domo na área de estudo, também se focou na procura de dois afloramentos de arenitos asfálticos descritos por Washburne em “Geologia do petróleo do estado de São Paulo” que não foram mais encontrados por pesquisadores, sendo assim a redescoberta do afloramento permitiria um estudo mais aprofundado do óleo encontrado na região, também podendo ser usado para fins didáticos, considerando a proximidade do local aos cursos de geologia da UNESP, USP e UNICAMP.

6.2 GEOLOGIA LOCAL

Na área mapeada, foram descritos 216 pontos com afloramentos (APÊNDICE III) e cinco unidades litoestratigráficas mostraram-se presentes na região, sendo elas: Formação Corumbataí, Formação Pirambóia, Formação Botucatu, intrusões básicas da Formação Serra Geral e Coberturas aluvionares do Ribeirão Araquá.

6.2.1 Formação Corumbataí (Pc)

A Formação Corumbataí apresenta argilito, siltito comumente arroxeadado a avermelhado, intercalações de bancos carbonáticos, silexíticos e camadas de arenito fino.

Esta Formação foi descrita em 46 pontos ao longo da área mapeada (APÊNDICE III). Topograficamente, esta formação situa-se em morros de amplitudes médias, em encostas convexas e vales fechados. Na maioria das vezes esta unidade foi encontrada em afloramentos em vertentes e fundos de vales.

Observou-se durante os trabalhos de campo e com auxílio de fotogeologia, que nos locais onde aflora a Formação Corumbataí, o relevo apresenta maior rugosidade, ou seja, existem mais drenagens além das colinas ficarem mais arredondadas.

O primeiro ponto descrito da Formação Corumbataí (Figura 8) foi o P36, cujo afloramento localizava-se em uma drenagem próxima a estação de tratamento de água da SABESP no município de Charqueada, foram descritos siltitos esbranquiçados (lixiviados), muito fraturados.

Figura 1 - Siltito lixiviado da Formação Corumbataí.



Fonte: Elaboração própria.

O ponto 4 marca o topo da Formação Corumbataí, em contato com a Formação Pirambóia, este contato é encontrado de forma abrupta, mudando de siltitos

pastilhados roxos, para arenitos estratificados de cor amarelada. Há debate quanto à natureza do contato entre estas unidades, que em alguns casos parece ser localmente gradual.

Ainda nessa formação foram descritas duas dobras, sendo uma de pequeno porte e uma de médio porte. A maior dobra encontrada no ponto 6 tem cerca de dois metros de altura e pode ser classificada como uma dobra assimétrica, seu eixo tem orientação NW-SE (Figura 9).

Figura 2 - Dobra na Formação Corumbataí.



Fonte: Elaboração própria.

As camadas desta unidade foram usadas como “guias” estruturais, através da medida de sua S_0 . Argilitos e siltitos são bons indicadores para inclinação tectônica de camadas, pois são sedimentos que se depositam quase que exclusivamente de forma horizontal, assim, quando encontrados inclinados evidenciam uma basculação posterior a sedimentação.

Nos pontos 9 e 25, foram encontradas camadas com mergulho para SE, tendo baixo ângulo de mergulho, variando entre 3 e 6 graus (medidas médias: P9 – 235/6; P25 – 210/03. Já nos pontos 5 e 20, as camadas mergulhavam levemente na direção

NW, com ângulos variando entre 2 e 5 graus (medidas médias: P5 – 285/5; P20 – 310/03).

Em campo observou-se em afloramentos do topo da formação Corumbataí a presença de camadas silicificadas, assim aumentando a dureza da rocha (Figura 10). Estas camadas têm alta dureza muito silicificadas, ao ponto de assemelharem com silexitos, mas ainda apresentando as estruturas sedimentares da deposição dos pelitos. Comumente esta litologia aflora próxima a falhas da região e muito próxima do contato com a Formação Pirambóia.

Figura 3 - Formação Corumbataí silicificada.



Fonte: Elaboração própria.

6.2.2 Formação Pirambóia (TRJp)

A Formação Pirambóia aflora em cerca de 70% da área de estudo e é limitada em sua base pela formação Corumbataí e em seu topo pela formação Botucatu em toda região. A espessura média desta unidade na região de São Pedro é de 160 a 180 metros.

Em campo observou-se as diferentes fácies da Formação Pirambóia, na parte basal da unidade são encontrados afloramentos característicos de ambientes eólicos com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte em arenitos finos de cor ocre (Figura 11).

Figura 4 - Fácies basal da formação Pirambóia.



Fonte: Elaboração própria.

Na parte intermediária são vistas estratificações cruzadas acanaladas de médio porte em arenitos finos a médios mal selecionados evidenciados pela presença de grãos angulosos, também pode-se encontrar lentes de argila características de interdunas (Figura 12). As lentes de argila foram medidas com bussola Clar na intenção de identificar uma possível inclinação da camada, tendo em vista que a S0 de argilitos são confiáveis. As medidas estruturais encontradas foram inconclusivas por serem dispersas e de mergulho muito baixo, variando de 0 a 3 graus, assim estando dentro da margem de erro do equipamento usado.

Figura 5 - Lentes de argila na Formação Pirambóia.



Fonte: Elaboração própria.

Na porção superior da sequência local encontrou-se fácies muito marcantes de arenitos conglomeráticos com granulometria variando de areia fina chegando até seixo, ocorrem também lentes de argila com mais frequência e estratificações cruzadas acanaladas de médio e grande porte, os arenitos e conglomerados seguem a cor ocre (Figura 13).

Figura 6 - Arenito conglomerático da Formação Pirambóia.



Fonte: Elaboração própria.

Esta unidade se caracteriza por gerar platôs mais altos com encostas inclinadas onde afloram as fácies mais conglomeráticas, relevo este que se assimila muito a intrusões basálticas.

Foram identificados também registros fósseis, caracterizados como bioturbações em meio a arenitos estratificados (Figura 14).

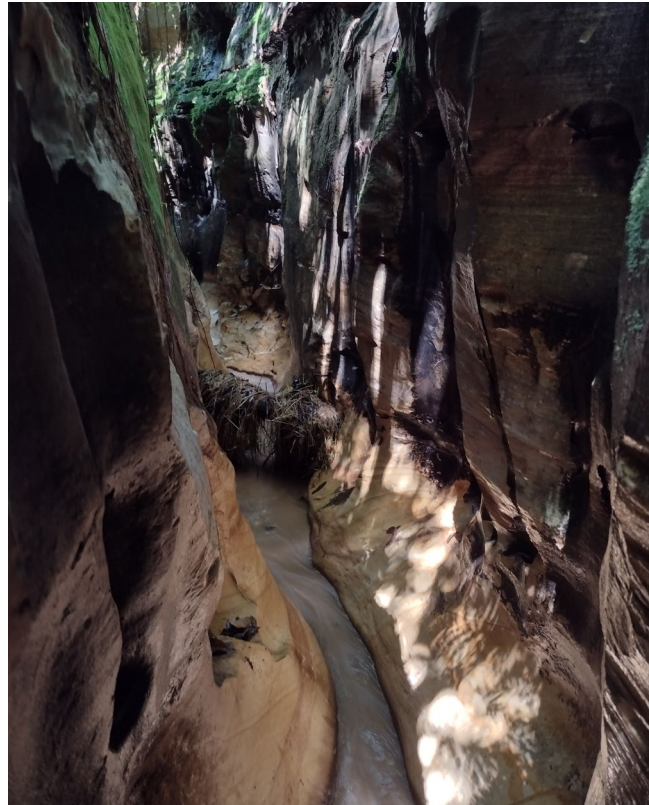
Figura 7 - Bioturbação em arenito estratificado.



Fonte: Elaboração própria.

Em regiões de drenagens retilíneas da Formação Pirambóia, próximas do bairro Querosene, de São Pedro, foram encontrados “cânions” gerados pela erosão do Ribeirão Querosene na unidade de arenitos. As feições têm uma extensão de até 200m e a altura pode chegar a 4 metros em alguns pontos (Figura 15). Estas feições estão possivelmente ligas a fraturas e falhas, por onde o rio corre.

Figura 8 - “Cânions na Formação Pirambóia”.



Fonte: Elaboração própria.

6.2.3 Formação Botucatu (JKb)

A Formação Botucatu aflora na área mapeada apenas nas regiões de escarpas das cuestas basálticas, sendo assim, esta é uma unidade bastante restrita no mapa geológico e tem poucos afloramentos visitados por conta da dificuldade de acesso aos paredões rochosos, cercados por mata densa.

A unidade em questão ocupa cerca de 2% da área de estudo e é composta por arenitos eólicos bem selecionados com grãos compostos basicamente por quartzo, com fácies de arenitos finos a muito finos, com laminação milimétrica, dispostas em estratificações cruzadas de grande porte.

Em campo foram encontrados 10 afloramentos da Formação Botucatu, todos estes caracterizados pela boa seleção dos grãos de quartzo, por sua cor avermelhada e por suas estratificações cruzadas de grande porte (Figura 16). Esta formação caracteriza-se pelas escarpas e encostas inclinadas em seus afloramentos.

Figura 9 - Estratificação de grande porte em arenito da Formação Botucatu.



Fonte: Elaboração própria.

6.2.4 Formação Serra Geral (JKsg):

Na região mapeada foi encontrada uma única intrusão de rocha básica, interpretada como dique, pertencente as intrusões de idade Eocretácea. Estes, relacionados aos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Foi localizado também um afloramento composto por blocos de rochas básicas, mas que por estar localizado próximo a serra interpretou-se como colúvio.

O diabásio possui coloração cinza escura, uma granulação fina a média sendo subfanerítico com mineralogia composta basicamente de plagioclásios, piroxênios e óxidos de ferro. Com a alta exposição aos processos de intemperismo, as rochas geram um solo laterítico avermelhado, rico em óxidos de ferro devido a alteração dos minerais presentes.

Uma característica bastante comum nestes basaltos é a presença de feições de uma alteração esferoidal, chamada informalmente de “acebolamento” (Figura 17).

Figura 10 – Diabásio com esfoliação esferoidal.



Fonte: Elaboração própria.

6.2.5 Coberturas aluvionares do Ribeirão Araquá (Qa):

A unidade planície colúvio-aluvional do Ribeirão Araquá encontra-se nas partes mais rebaixadas da área de estudo, mantendo-se em cotas altimétricas mais baixas que 500m. Compreende planícies de inundação e várzeas. As coberturas do Ribeirão Araquá têm predominância de processos deposicionais, destacando-se formas típicas relacionadas à dinâmica fluvial, tais como vales de fundo plano, terraços aluviais, entre outros.

Os sedimentos encontrados nos terraços fluviais da bacia hidrográfica do Ribeirão Araquá são predominantemente provindos das Formações Serra Geral,

Pirambóia e Botucatu. Seus sedimentos são compostos basicamente por areias, grânulos quartzosos e alguns grãos polimífticos. Também ocorrem lentes de argila rica em matéria orgânica, como as argilas encontradas no Ribeirão Querosene, afluente do Ribeirão Araquá (Figura 18).

Figura 11 - Sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica.



Fonte: Elaboração própria.

6.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL LOCAL

Identifica-se na área estudada uma leve inclinação das camadas de rochas na direção SW. O mergulho encontrado na região é de aproximadamente $0,7^\circ$, sendo considerado uma estrutura associada ao Domo de Pitanga, ainda que distante de seu centro.

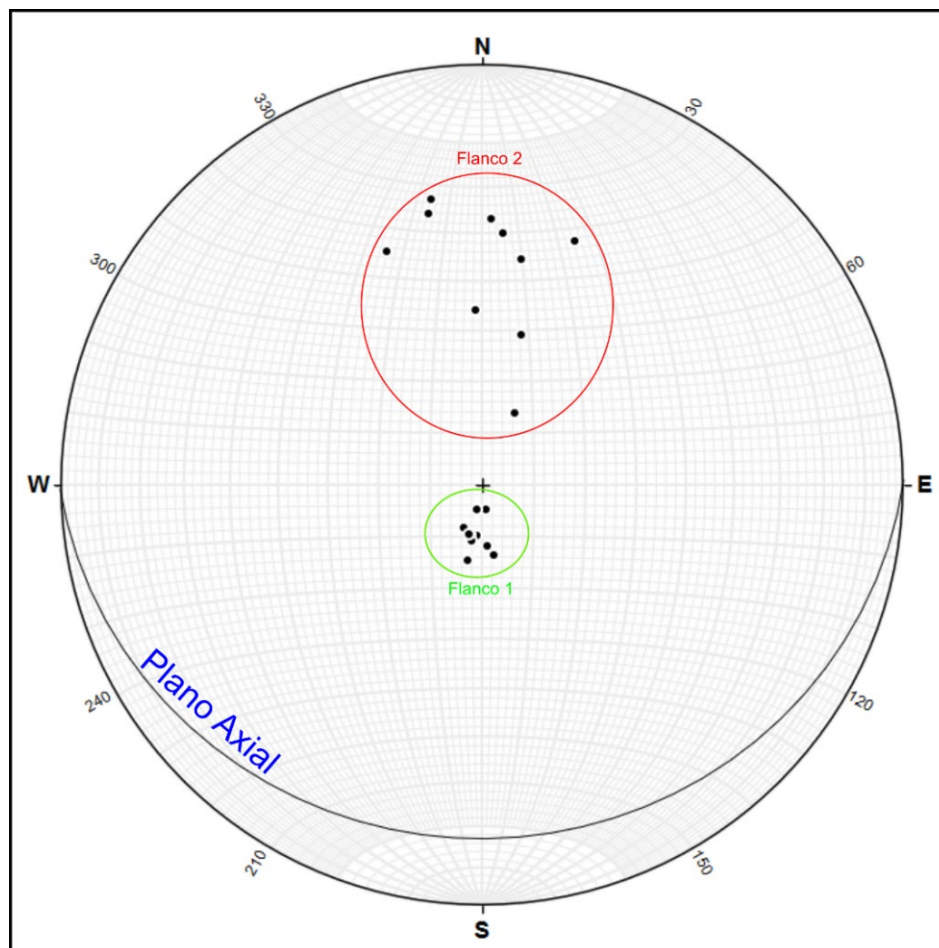
Falhas também foram identificadas em campo por descontinuidades geológicas e ressaltadas em análises de fotogeologia. Estas estruturas são dominadas por um *trend* NW-SE que é marcante regionalmente.

Em escala de afloramento, foi encontrada uma dobra assimétrica em meio a um siltito pastilhado da Formação Corumbataí. Este elemento estrutural encontra-se no ponto 6 do mapeamento e é o indicador de uma falha local. O afloramento em questão está localizado na margem direita do Ribeirão Araquá em uma área com desnível topográfico mais acentuado, formando uma pequena corredeira devido a exposição das rochas da Formação Corumbataí.

A dobra tem cerca de 2 metros de altura e cerca de 4 metros de extensão em sua parte aflorante. Foram medidas com bussola Clar as atitudes dos flancos da estrutura e para interpretação destes dados, foi usado o software Stereonet.

Ao plotar as informações no estereograma (Figura 19), ficou evidenciado que a dobra tem grande assimetria, a dobra curiosamente não se encaixa no lineamento regional NW-SE, e tem seu plano axial com direção próxima a E-W, como mostra a figura 20.

Figura 12 - Projeção dos polos do flanco 1 e 2 da dobra e plano axial.

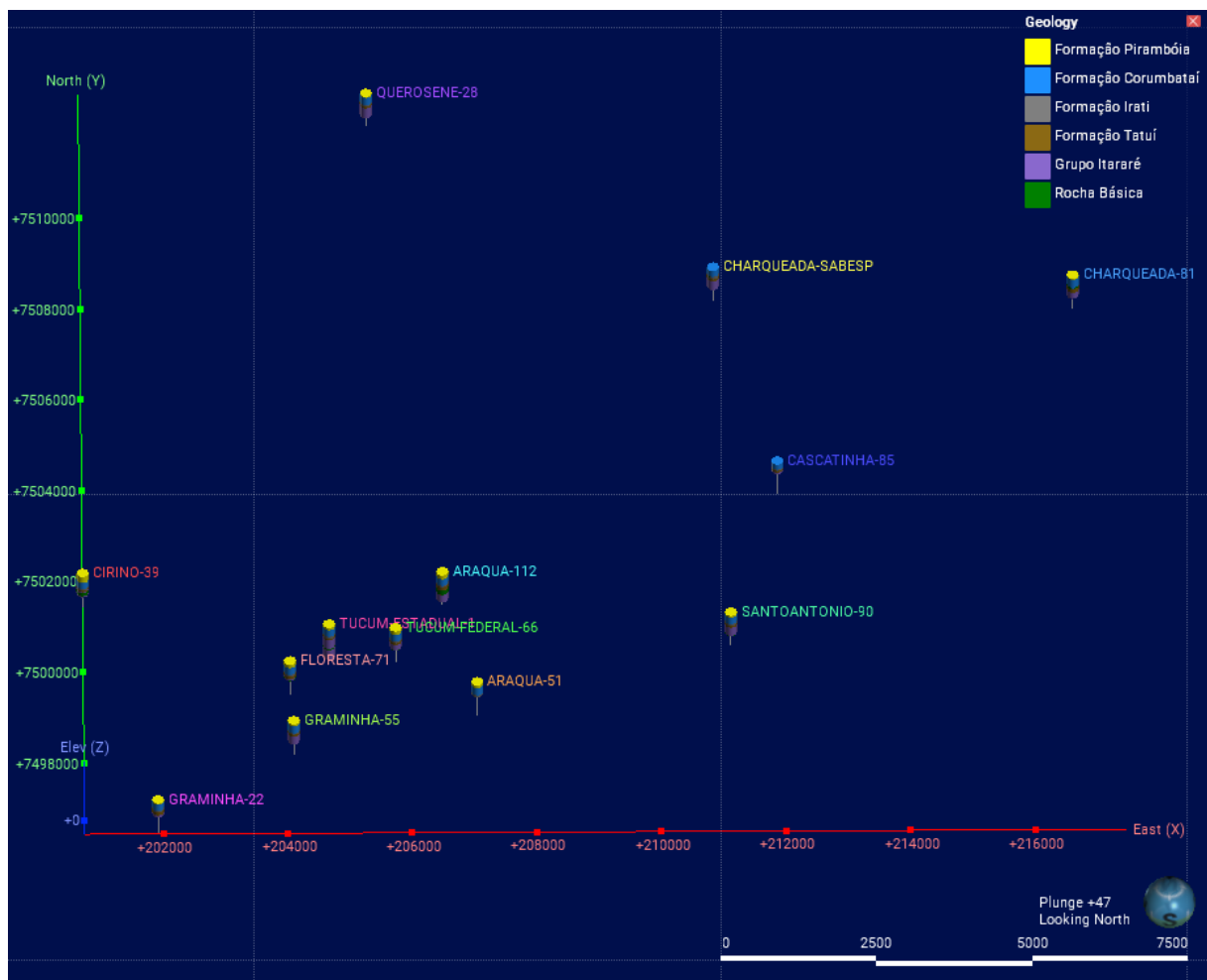


Fonte: Elaboração própria. .

6.4 MODELO GEOLÓGICO

Após uma seleção dos dados de testemunhos de sondagem mais confiáveis, foram feitas tabelas com informações de cotas de contatos geológicos entre as formações locais, profundidade dos furos, orientação espacial orientação em subsuperfície do furo, para isso foi admitido que os furos foram feitos perpendicularmente a superfície de forma contínua. Já no software foram importados os 13 furos mais confiáveis gerando sólidos em três dimensões como mostra a figura 21.

Figura 13 - Furos de sondagem modelados.



Fonte: Elaboração própria.

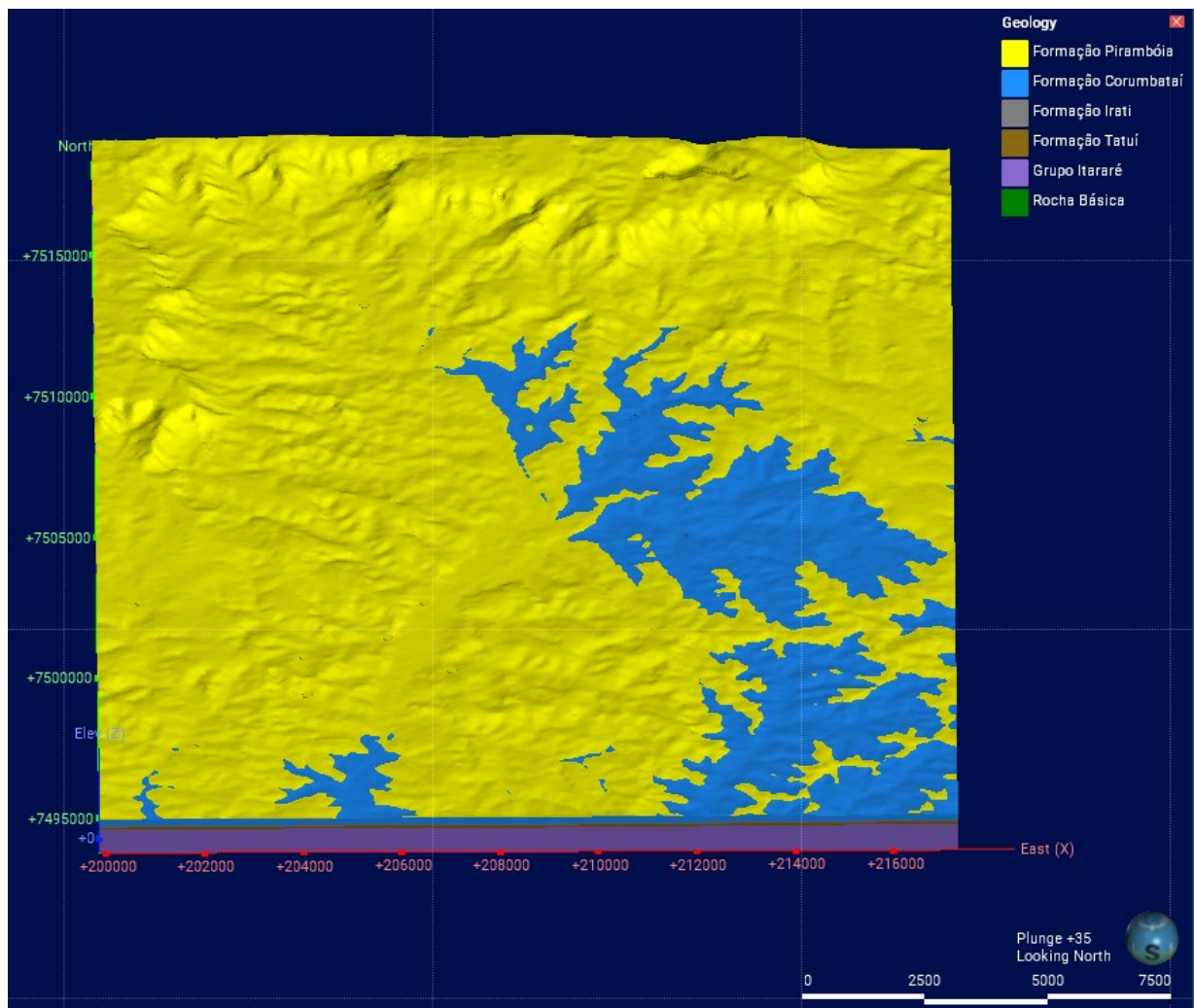
Posteriormente a isso foi feita uma topografia a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 metros, sendo determinados triângulos de 30

metros para confecção da superfície. Topografia é um importante dado para a resolução do modelo, pois limita o topo das camadas aflorantes e deve ser compatível com os topos dos furos descritos, para isso foram ajustados manualmente o limite superior dos poços ainda nas tabelas de dados de entrada.

O próximo passo foi a criação das superfícies de contatos geológicos e em seguida a criação de blocos sólidos que representam as litologias presentes nos poços. O Leapfrog Geo faz toda essa interpolação de forma automática, sendo necessário informar qual a ordem cronológica da estratigrafia local. Ao término dos processamentos obtivemos o modelo geológico tridimensional (Figura 22).

É válido ressaltar que a Formação Botucatu não aparece no modelo pôr na ser interceptada em nenhum furo, devido a sua posição estratigráfica, superior aos furos. Sendo assim o software extrapola a Formação Pirambóia na região de serra.

Figura 14 - Modelo geológico da área.



Fonte: Elaboração própria.

7 DISCUSSÃO

7.1 DADOS ANTIGOS E PROCURA DOS AFLORAMENTOS

Inicialmente este estudo buscava, além de modelar a região de São Pedro e mapeá-la, localizar afloramentos de arenitos asfálticos descritos em artigos antigos, como os de Washburne (1930) e Paiva (1975).

Quando descritos estes cortes geológicos, não era usado georreferenciamento de precisão em campo, como GPS por exemplo, sendo assim, os afloramentos tinham sua localização indicada por desenhos esquemáticos que usavam pontos de referência da época. Com o passar de mais de 90 anos, já não existem mais as toponímias citadas nos textos e a identificação desses afloramentos tornou-se um trabalho difícil. Saídas de campo foram feitas na intenção de localizar os pontos de arenito asfáltico, mas não houve sucesso.

Para confecção do modelo geológico em três dimensões no Leapfrog, é preciso estabelecer dados de entrada em forma de tabelas (.csv) produzidas manualmente no Excel. Os dados base para a modelagem geológica no software são: topografia, estratigrafia e dados referentes a orientação e profundidade máxima dos poços.

Ao pesquisar dados de descrições de poços de sondagem já feitos na área de estudo, foram encontrados ao menos cinco trabalhos já publicados em anos distintos, sendo estes: “Geologia do petróleo do estado de São Paulo” de Washburne; “História da campanha de sondagens para pesquisa de petróleo na área de São Pedro – SP – (1921 – 1934)” de Paiva; “A geologia do petróleo no estado de São Paulo” de Rego; “Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí, estado de São Paulo” de Barbosa e Gomes; “Geologia do petróleo na área de São Pedro – SP: Atualização dos dados e reavaliação das informações disponíveis” de Zacharias (2002).

Comparando as informações dispostas em cada artigo, percebeu-se uma diferença considerável de dados entre si. Percebe-se que cada autor interpretou as fácies sedimentares conforme os conhecimentos da época e que estudaram a região de São Pedro, assim dispondo dados com variações nas cotas de contato das formações nos furos de sondagem. Além disso foi considerado que as sondagens usadas na época não são as mais recomendadas para a obtenção de dados precisos de furos, a sonda ideal para a obtenção de dados para a descrição precisa da

estratigrafia e posterior modelagem geológica 3D seria a sondagem rotativa diamantada, que permite a recuperação de testemunhos.

Após análise dos dados existentes e para padronização da modelagem, foi escolhido como dados mais refinados e confiáveis os contidos no trabalho de Zacharias 2002 (Figura 23) os poços selecionados são apresentados no mapa “Localização dos Poços de Sondagem” (APÊNDICE II).

Figura 15 - Descrições dos poços de sondagem.

POÇO	ANO	UTM	BOCA	FM CORUMBATAÍ	FM IRATI	FM TATUI	GR ITARARÉ	ROCHA BÁSICA	PONTO FINAL
Graminha 22	1921 / 22	204.228 7.497.187	+490	22 (+468) E = 147	169 (+321) E = 37	206 (+284) E = 67	273 (+217) E > 56,5	-	329,5 (+160,5)
Querosene 28	21 / 22	-	+535	19 (+516) E = 168	187 (+348) E = 36	223 (+312) E = 42	265 (+270) E > 234	-	499 (+36)
Cirino 39	23 / 24	-	+522	134 (+388) E = 146	280 (+242) E = 37	317 (+205) E > 34	351 (+171) 448 (+74) E > 56	377 (+145) E = 71	478 (+44)
Araquá 51	25 / 28	-	+492	59 (+433) E = 170	229 (+263) E > 45	-	-	-	274 (+218)
Graminha 55	25 / 27	204.100 7.498.160	+490	42 (+448) E = 169	211 (+279) E = 29	240 (+250) E = 157	397 (+93) E > 72	-	469 (+21)
Tucum – Federal 66	27 / 29	-	+488	76 (+412) E = 157	233 (+255) E = 35	368 (+220) E = 49	317 (+171) E > 119	436 (+52) E = 5	441 (+47)
Tucum – Estadual 1	28 / 29	-	+487	80 (+407) E = 121	206 (+286) E = 48,5	254 (+237,5) E = 144	398 (+93,5); 494 (-2,5) E > 208	420 (+71,5) E = 74	758 (-271)
Floresta 71	28 / 29	-	+505	80 (+425) E = 162	242 (+263) E = 33	275 (+230) E = 68	343 (+162) E > 68	370 (+135) E = 2	372 (+133)
Charqueada 81	29 / 31	-	+598	20 (+578) E = 185	206 (+393) 229 (+393) E = 28,5	244 (+355,5) E = 143	338 (+212,5) E > 380	220 (+379) E = 9	768 (-170)
Cascatinha 85	29 / 31	211.815 7.503.955	+511	E > 115	115 (+396) E = 31	149 (+362) E = 40	188 (+322) E > 38	-	227 (+284)
Santo Antonio 90	30 / 31	-	+528	34 (+494) E = 161	195 (+333) E = 42	238 (+290) E = 35	273 (+255) E > 196	469 (+59) E > 4	473 (+55)
Araquá 112	32 / 34	206.501 7.501.422	+492	87 (+405) E = 152	239 (+253) E = 36	275 (+217) e 455 (+37) E = 86	460 (+32) E > 166,5	356 (+136) E = 99	626,5 (-134,5)
CPB - Araquá Lima *	32 / 34	208.994 7.505.443	+505	E > 100	100 (+405) E = 85	185 (+320) E = 102	287 (+218) E > 903,5	-	1190,5 (- 685,5)
Balloni II *	32/38		+543	76 (+467) E = 162	238 (+305) E = 33	271 (+272) E = 43	314 (+230); 487 (+56); 641 (-98); 836 (-293) E > 390	467 (+76) 504 (+39) 817 (-274) E = 176	880 (-337)
Charqueada (modificado da Sabesp)	96	210.893 7.508.100	+ 515	E > 138	138 (+377) 155 (+360) E = 49	192 (+323) E = 51	243 (+272) E > 207	150 (+ 365) E = 5	450 (+65)

E = espessura

Fonte: Zacharias (2002)

7.2 MODELAGEM GEOLÓGICA

A modelagem geológica explícita é usada com propósito de evidenciar possíveis estruturas geológicas presentes em subsuperfície e superfície, além de facilitar a visualização tridimensional de um bloco em análise, tudo isso em a partir de dados existentes, provindos da descrição de testemunhos de sondagem.

Já a modelagem implícita, visa a elaboração de um modelo geológico onde, de forma manual é construído um sólido fiel as interpretações e dados do autor. Este método, pode levar mais tempo para ser feito, mas ser mais fiel as anomalias geológicas locais. Para a construção desse tipo de modelo são interpolados manualmente dados de superfície como mapas geológicos, perfis geológicos, dados topográficos e dados de subsuperfície como testemunhos de sondagem.

No presente trabalho, focou-se em desenvolver um modelo geológico tridimensional de forma explícita através do software Leapfrog Geo usando como dados de entrada apenas descrições de furos de sondagens e dados topográficos.

Na modelagem aqui apresentada (figura 22), destaca-se a diferença nos contatos litológicos se comparada com o mapa geológico feito em campo pelo autor (APÊNDICE I). Estas diferenças se dão principalmente no contato entre a Formação Piramboia e Corumbataí, isso fica claro quando comparadas as superfícies lado a lado. Percebe-se que na região centro-norte do mapa ocorre uma grande diferença litológica entre mapa e modelo, no mapa a Formação Corumbataí limita-se as cotas de 500 metros na parte central do mapa, enquanto no modelo tridimensional, a unidade está em uma cota consideravelmente mais alta, cerca de 550 metros. As divergências podem compreendidas pela baixa densidade de furos descritos na poligonal modelada, pois temos apenas 13 poços em uma área de 410 quilômetros quadrados, gerando uma densidade de um poço para cada $31,5\text{Km}^2$ disponíveis para interpolá-los entre si, criando as superfícies de contato.

Apesar da baixa densidade de dados para o modelo, o software conseguiu destacar uma ligeira diferença na inclinação das camadas geológicas da área. Se observarmos o modelo, veremos que a Formação Corumbataí está quase que contida no lado leste do modelo, isso se dá pela interpretação que o programa faz do comportamento das camadas. É mostrado que as camadas estão mergulhando para SE levemente na região leste, já quando olhamos o lado oeste, percebemos que as camadas passam a ter uma tendência mais horizontalizada. Também se destaca uma

clara divisão nas litologias na porção centro norte do modelo, um contato quase retilíneo entre a Formação Pirambóia e Corumbataí com direção NW-SE, assemelhando-se muito a uma falha que divide dois blocos.

Na porção centro-sul o modelo diverge também do mapa em relação aos contatos geológicos, o modelo tridimensional preenche uma grande região como formação Corumbataí em superfície, toda via, em campo, foram vistos afloramentos de arenito Pirambóia na mesma área, essa interpretação errada do software se dá provavelmente por nesta região existirem apenas três poços, distantes quilômetros entre si. Além da falta de dados para interpolação, a região é repleta de falhas geológicas que dividem a área em ao menos três blocos, divididos por falhas normais de direção NW-SE que resultam em blocos mais altos a NE e blocos mais baixos a SW.

A região oeste do modelo apresenta grande similaridade com o mapa geológico feito pelo autor, nesta parte do modelo, a Formação Corumbataí aflora na cota de 470 metros, acompanhando as cotas das curvas de nível, mostrando que as camadas geológicas estão bastante horizontalizadas regionalmente. Nas demais partes da região oeste o modelo mostra apenas a formação Pirambóia (limite máximo dos poços feitos na região, sendo assim o limite do modelo tridimensional também).

7.3 CONTATOS GEOLÓGICOS

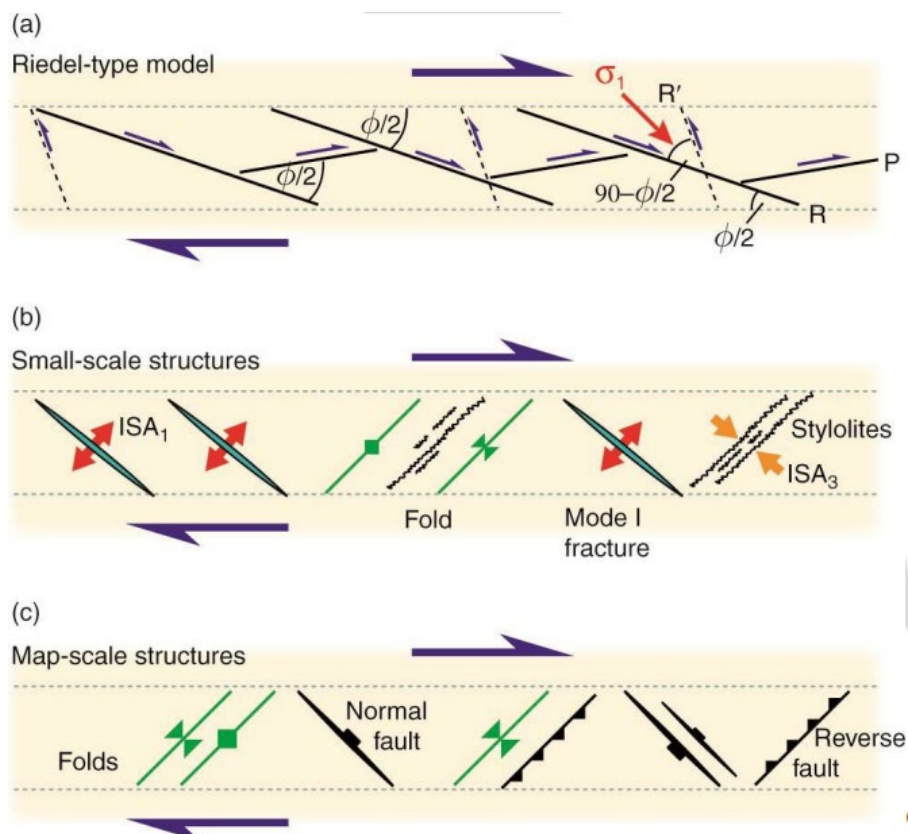
Os contatos geológicos identificados no mapeamento mostraram-se levemente inclinados no geral, as camadas litoestratigráficas mostram-se inclinadas $0,7^\circ$ para SW em toda parte leste do mapa, mostrando que o Domo de Pitanga interfere estruturalmente ainda nessa região. O contato das Formações Pirambóia e Botucatu, também estão inclinados, mas mais levemente, possivelmente por estarem mais distantes do domo, a inclinação é menor que $0,2^\circ$.

Só foi possível determinar a espessura da Formação Pirambóia no mapeamento pois é a única unidade onde seu contato inferior e superior pode ser visto na poligonal definida para o trabalho, sendo que a espessura varia entre 180 e 120 metros. Esta variação é comum nesta unidade como mostrado por E Silva (2023).

7.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Com uma análise crítica das feições estruturais obtidas no mapeamento, um padrão de falhas foi identificado. As falhas na área dispõem-se com orientação NW-SE em geral e apresentam pequenas variações laterais com falhas adjacentes deslocando-se cerca de 30° do sentido do sistema de falhas principal. Buscando interpretações para este padrão, foi notado que o modelo de Ridel (Figura 24) assemelhasse muito ao contexto encontrado localmente, isso se dá pela distribuição e geometria das estruturas geológicas. Além das falhas encontradas, a dobra localizada com eixo E-W reforçar a similaridade com o modelo, pois encontra-se disposta a 30° da direção do deslocamento das falhas principais, assim como Ridel descreve. Falhas adjacentes as falhas principais também foram interpretadas como sendo estruturas R e P do modelo.

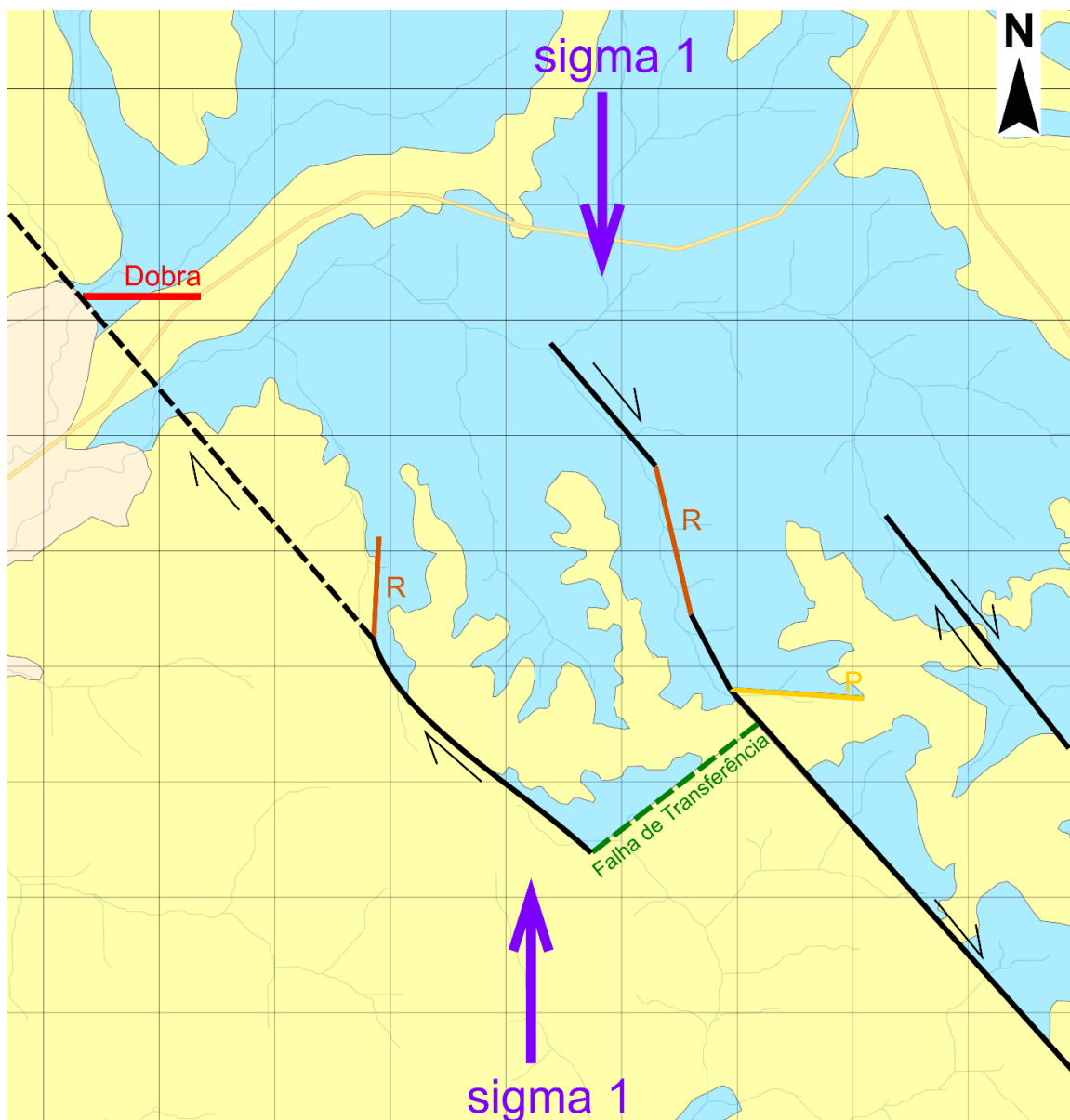
Figura 16 - Modelo de Ridel.



Fonte: Fossen (2010).

Para uma melhor visualização foi feito um desenho esquemático em cima da região estruturalmente complexa do mapa geológico (Figura 25), onde as falhas são nomeadas a partir do modelo proposto por Ridel. Além disso foi possível determinar o sentido de sigma 1, que o tipo de falha predominante é obliqua e que o sistema de falhas é dextral. Também se faz importante no mapa uma falha de transferência que apesar de ser inferida, delimita uma descontinuidade geológica importante encontrada em campo. O rejeito vertical aparente das falhas varia de 5 a 60 metros.

Figura 17 - Desenho esquemático do sistema de falhas local.



Fonte: Elaboração própria.

A figura acima mostra as similaridades estruturais da região mapeada e o modelo de Ridel, sendo assim o considera-se que a movimentação das falhas é dextral. Não muito longe desta área, temos o Domo de Pitanga, onde há predominância de falhas transcorrentes e obliquas descritas por Riccomini (1995) como tendo um movimento sinistral, apesar da proximidade entre as áreas, cerca de 20 quilômetros, é bem provável que esses dois tipos de movimentos interagem entre si, pois o Domo de Pitanga é uma estrutura regional, e o sistema de falhas descritos no presente trabalho é um sistema local.

8 CONCLUSÃO

A área estudada encontrasse em uma região de baixa complexidade geológica, porém mostrou-se bastante didática quando observada do ponto de vista estrutural. O sistema de falhas apresentado neste trabalho indica um bom exemplo prático de como as estruturas de Ridel podem ser encontradas em escala de quilômetros em uma área sedimentar.

Na análise da modelagem geológica ficou evidente a necessidade de uma boa densidade de poços de sondagem descritos para a confecção de um modelo geológico em resolução satisfatória, apesar de ter realçado estruturas litológicas e estruturais locais. Notou-se também a necessidade de mais preparação dos alunos de graduação em geologia na utilização de programas como o Leapfrog Geo, tendo em vista que este é um dos softwares mais usados em empresas de mineração.

Quanto aos afloramentos de arenitos asfálticos, ficou claro que a falta de georreferenciamento dificulta muito os trabalhos prospectivos desses cortes históricos, mas que talvez ainda seja possível encontrá-los com um mapeamento mais minucioso.

No mapeamento geológico, destacou-se a influência do Domo de Pitanga na área de estudo, com a inclinação das camadas geológicas em $0,7^\circ$ até o centro da área, e já na parte oeste do mapa, destacou-se a horizontalidade das camadas. Outro destaque foi a diferença na espessura da Formação Pirambóia em poucos quilômetros.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. Inst. Geogr. E Geol. N.41, São Paulo, 1964.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequencias deposicionais na Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geologia. São Paulo, v. 33, p. 1-11, 2003. Chahud, A. (2011). Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado). São Paulo: **Instituto de Geociências – USP**.

E SILVA, Flávio de Paula; CAETANO-CHANG, Maria Rita; CHANG, Hung Kiang. Stratigraphy of the middle Triassic-lower Cretaceous succession in the Paraná and Uruguayan Chaco-Paraná Basins—An overview based on subsurface data. **Journal of South American Earth Sciences**, p. 104567, 2023.

FACINCANI, Edna Maria. Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP. 2000.

FOSSEN, Haakon. Extensional tectonics in the North Atlantic Caledonides: a regional view. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 335, n. 1, p. 767-793, 2010.

FRANÇA, Almério Barros; WINTER, Wilson Rubem; ASSINE, Mario Luís. Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de trato de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (CP), Bacia do Paraná. **Brazilian Journal of Geology**, v. 26, n. 1, p. 43-56, 1996.

FRANZINELLI, Elena. Arenitos asfálticos do Estado de São Paulo. 1972. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 1972.

HACHIRO, Jorge. O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná. 1996. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo**.

FULFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 233-256, 1982.

KEIDEL, J. La geología de las sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud Africa y los Andes. Anales del **Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería, Buenos Aires**, v. 9, n. 3, p. 1-78, 1916.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. Paula Coutiana, Porto Alegre, n. 1, p. 51-103, 1986.

MATOS, Sérgio Luís Fabris de. O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. 1995. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo**.

MELO E SOUZA, S. H. Fácies sedimentares das formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo. São Paulo, 1985.

MEZZALIRA, Sérgio. Os fosseis do Estado de São Paulo. 1989.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozoica do Gondwana Sul-Ocidental. 1997. 255 f. Tese de Doutorado - **Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. Boletim de **Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

NARDY, Antonio Jose Ranalli; PACCA, Igor Ivory Gil. Petrologia e paleomagnetismo das rochas vulcanicas da regioao centro-sul do estado do parana: formacao serra geral. 1988.

PAIVA, Glycon de. História da campanha de sondagens para pesquisa de petróleo na área de São Pedro - SP - (1921-1934). Coordenadoria da pesquisa de recursos naturais. **Instituto geográfico e geológico**. 1975. p. 78.

PETRI, Setembrino; PIRES, Fernando A. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 301-10, 1992.

PERINOTTO. J. A. J., ZAINÉ.; J. E. Coluna Estratigráfica da região de Rio Claro. 2008

RICCOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do estado de São Paulo e áreas vizinhas. 1995. 100f. Tese de Livre-Docência - **Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo**, São Paulo, 1995.

RICCOMINI, Claudio. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico** (Descontinuada), v. 18, n. 1-2, p. 41-48, 1997.

ROLO, Roberto Mentzingen. Modelagem geológica implícita com funções distância assinaladas. 2017.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia, Ambiente e Planejamento. Ed. Contexto, São Paulo, 1990.

VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: **American Association of Petroleum Geologists**, p. 63-81. (AAPG. Memoir, 26), 1977.

SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 28, Porto Alegre, 1974. Anais..., Porto Alegre: SBG, v.1, p. 41-65, 1974.

Sequeent. 2014. Disponível em: <https://www.seequent.com/leapfrogs-structural-trend/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SOARES, P.C. 1972. O limite glacial - pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. Anais **Acad. Bras. Ciências**, 44:333-341

SOARES, Paulo César. O Mesozóico Gonduânico no Estado de São Paulo. 1973. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, **Departamento de Geologia e Mineralogia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro**, 1973. Cap. 1.

SOARES, P. C.; LANDIM, P.M.B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. Anais do XXVII **Congresso Brasileiro de Geologia**. p. 243-256. 1973.

SOARES, P.C., LANDIM, P.M.B., FÚLFARO, V.J. Avaliação Preliminar da Evolução Geotectônica das Bacias Intracratônicas Brasileiras. In: SBG, **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, n. XXVIII., 1974, Porto Alegre. Anais, 4:61-83.

SOARES, Paulo Cesar et al. Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.

WASHBURN, C.W. Petroleum Geology of State of São Paulo. Boletim do **Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo**, v. 22, p. 1-282, 1930

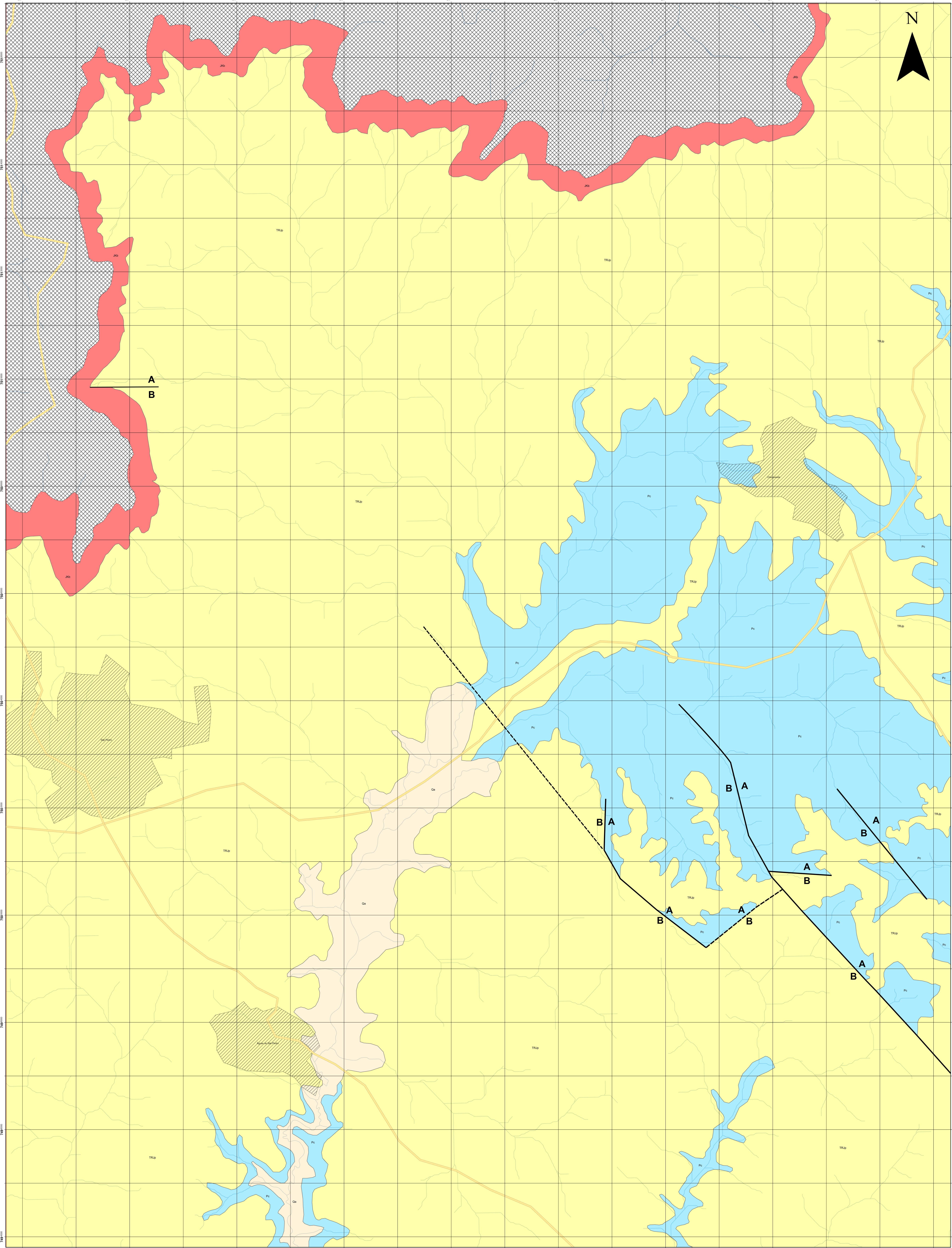
ZAINE, José Eduardo. Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP). 1994. 98 f. 1994. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geociências) -**Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro**.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, São Paulo. Atas... São Paulo: **SBG**, 1987, p. 441-477.

ZANARDO, Antenor et al. Formação Corumbataí na região de Rio Claro/SP: petrografia e implicações genéticas. **Geosciences Geociências**, v. 35, n. 3, p. 322-345, 2016.

Apêndice I

MAPA GEOLÓGICO

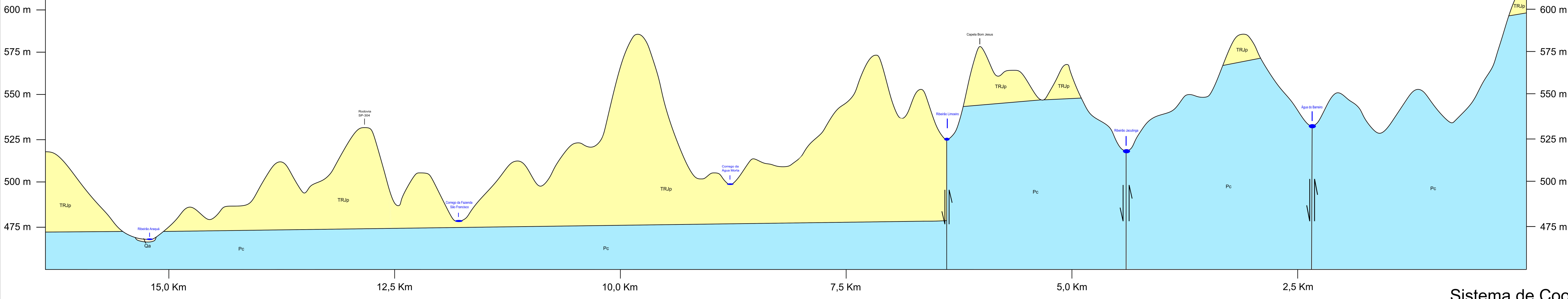


NE (Y')

Seção Geológica

(exagero vertical: 18x)

SW (Y)



Legenda:

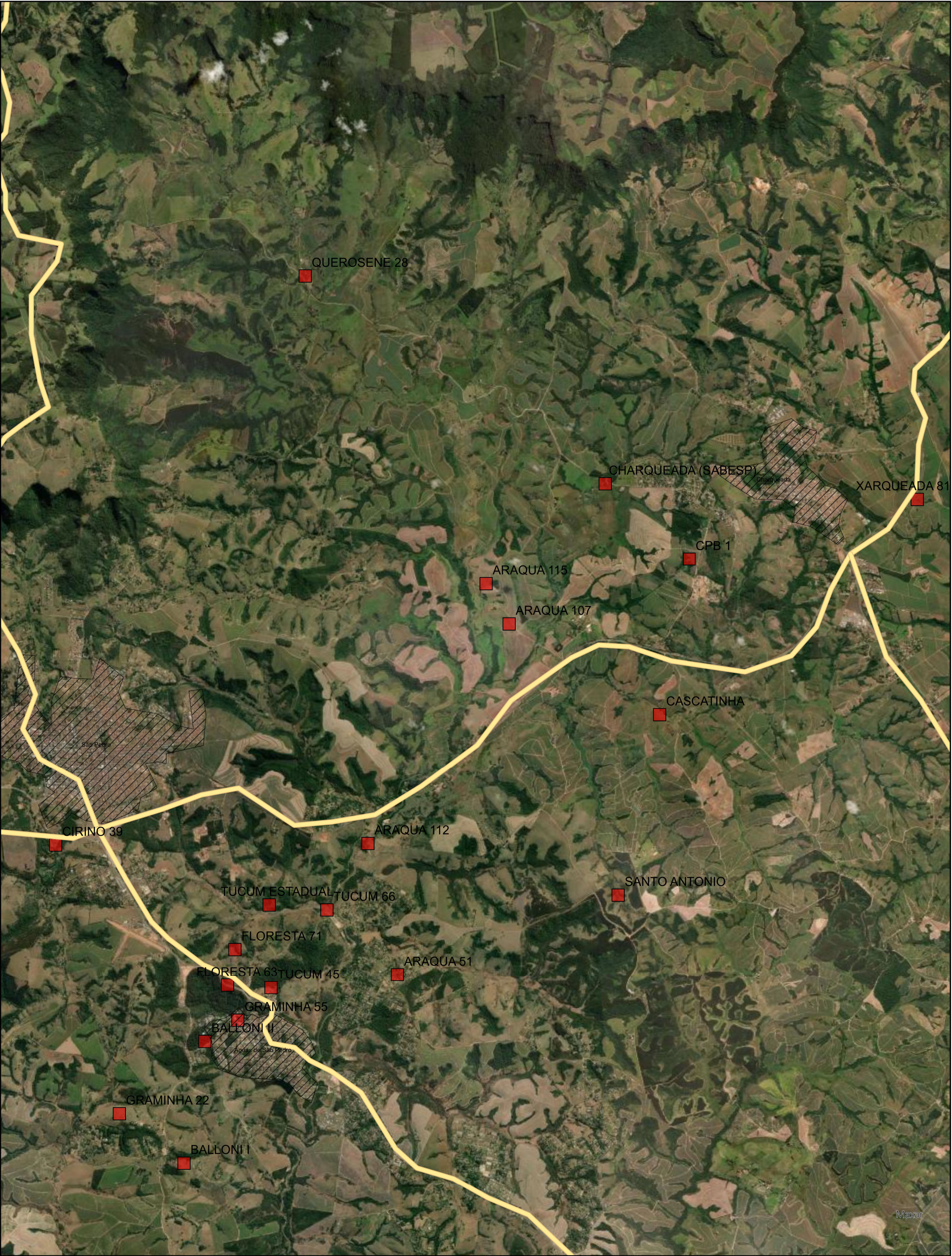
- Drenagens
 - Falhas Inferida
 - Falha
 - Rodovias
 - Municípios
 - Falha definida com movimentação vertical (A - Bloco alto; B - Bloco Baixo)
- Unidades Litoestratigráficas:**
- Sedimentos Aluvionares do Ribeirão Araquá
 - Dique de Diabásio
 - Formação Botucatu
 - Formação Pirambóia
 - Formação Corumbatai
 - Área não Mapeada

Sistema de Coordenadas:
Datum: WGS 84 UTM Zona 23S
Projeção: Transversa de Mercator

Autor: Mateus Melito

Apêndice II

LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE SONDAGEM



Legenda

Rodovias

Municípios

Poços de Sondagem

N

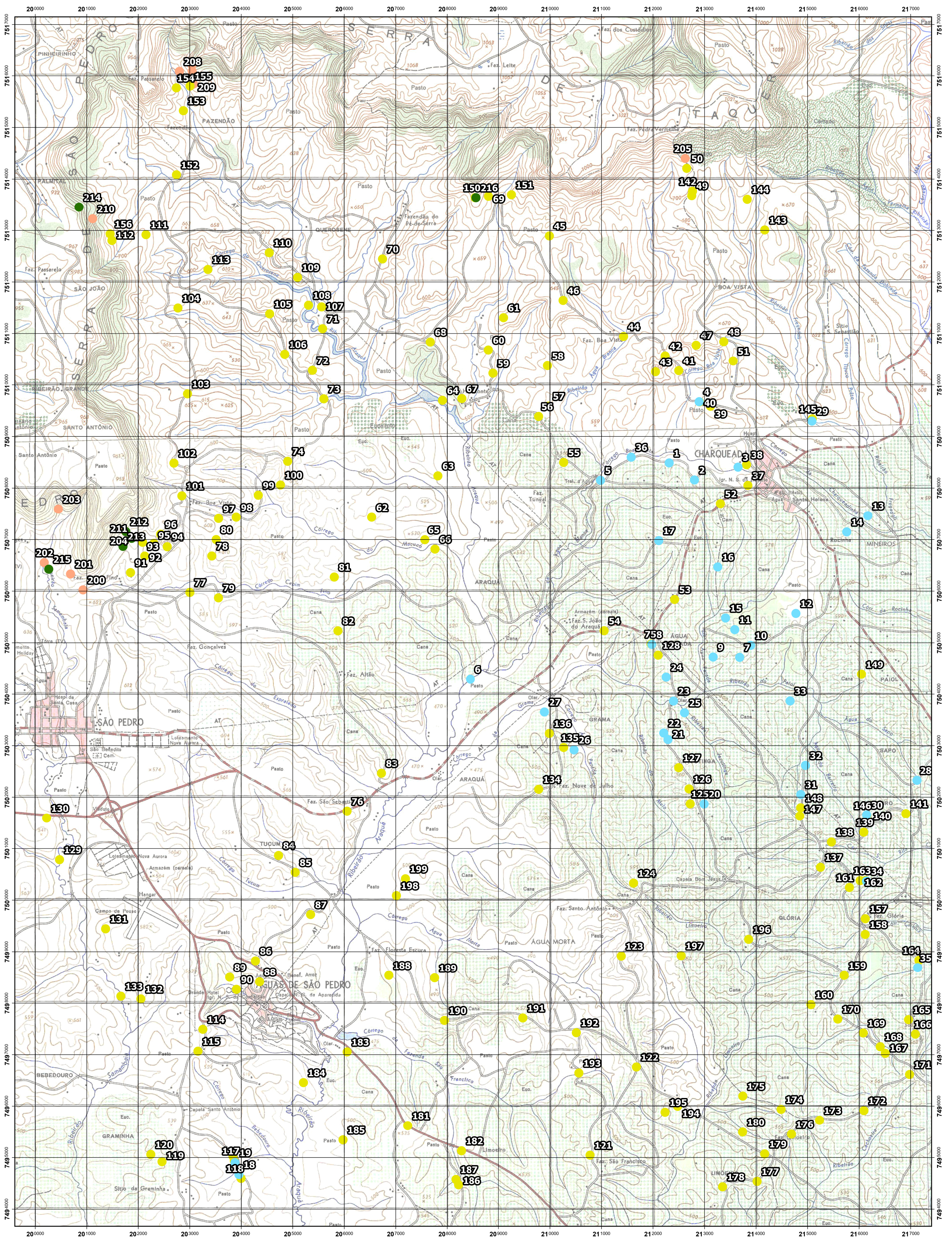
0 1 2 4 6 8 Km

Sistema de Coordenadas:
Datum: WGS 84 UTM Zona 23S
Projeção: Transversa de Mercator

Autor: Mateus Melito

Apêndice III

MAPA DE PONTOS



Legenda

Pontos

- Serra Geral
- Corumbataí
- Pirambóia
- Botucatu

Sistema de Coordenadas:
Datum: WGS 84 UTM Zona 23S
Projeção: Transversa de Mercator

Autor: Mateus Melito