

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro (SP)

**PAPEL DA TECTÔNICA RÚPTIL NA POSSÍVEL
MIGRAÇÃO DE HIDROCARBONETOS: ESTUDO DA
PORÇÃO NOROESTE DA ESTRUTURA DE
PITANGA, REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO
PAULO**

LUIS HENRIQUE SOUZA AQUAROLI

Orientador: Norberto Morales

*Relatório final apresentado à Comissão do Trabalho de
Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Campus de Rio
Claro, como parte das exigências para o cumprimento da
disciplina Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de
2013*

Rio Claro – SP
Novembro/2013

Luis Henrique Souza Aquaroli

Papel da Tectônica Rúptil na Possível Migração de
Hidrocarbonetos: Estudo da Porção Noroeste da Estrutura
de Pitanga, Região Central do Estado de São Paulo

Trabalho de Formatura 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
Norberto Morales (orientador)
George Luiz Luvizotto
Mario Lincoln de Carlos Etchebehere

Rio Claro, 25 de Novembro de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

“Tudo posso em Cristo que me fortalece”
Filipenses 4:13

Agradecimentos

Primeiro e mais importante agradecimento que posso dar é a Deus que me deu tudo e mais um pouco, uma vida expendida com uma família maravilhosa e grandes amigos. Todas as etapas difíceis que passei e as conquistas que tive foram através do amor de Jesus Cristo por mim, que deu sua própria vida pela minha, e sem esse amor não seríamos nada. Portanto, em mais uma fase importante que termina em minha vida sou totalmente grato a Deus!

Agradeço ao meu orientador Dr. Norberto Morales, pelo seu empenho a me ensinar e mostrar os melhores caminhos nas dificuldades. Tenho-lhe como um amigo, pois não poderia encontrar orientador que mais se identificasse comigo nos métodos de trabalho e nos adoráveis bate-papos que tivemos em campo.

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências e Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo – PRH 05/UNESP, ao PFRH/Petrobrás e ao PRH/ANP – FINEP/MCT, pelo apoio acadêmico e financeiro, indispensáveis à realização deste trabalho de conclusão de curso.

Aos meus pais Antônio Carlos e Maria Rosangela e ao meu irmão Rafael que em toda minha vida deram tudo que precisei. Sempre estiveram nos momentos importantes me ajudando, motivando, apoiando e me ensinado as coisas da vida com perfeição, mostrando o amor incondicional que tem por mim.

A uma importante pessoa que entrou em minha vida nesses anos de faculdade, minha namorada Viviane, meu amor, que me deu amor, carinho, apoio e suporte nos trabalhos acadêmicos.

Agradeço aos meus amigos de sala Dimitri (Saxa), Ricardo (Lady), Henrique (Geregia), Danilo (Lambari), Tiago (Pelota), Felipe (Pavão), Bruno (Gozado) e em especial Pedro Camarero, meu grande parceiro nos trabalhos acadêmicos.

Um abraço especial para o pessoal das republicas em que morei, Mansão e Lagoa Seca, especialmente para Júlio (Julião), Felipe (Merda), Caio (Boca), Sergio (Modelo), Vinicius (Chester), Felipe (Xuxa), Leonardo (Lombriga), Jus Tus, Amanda e Jakob.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	1
3. OBJETIVO	3
4. MÉTODOS E ATIVIDADES	3
4.1 Levantamento bibliográfico	3
4.2 Fotointerpretação	4
4.3 Levantamento de campo	4
4.4 Tratamento e interpretação de dados estruturais	5
4.5 Análises laboratoriais	5
4.6 Integração dos dados em ambiente SIG	6
4.7 Preparação dos relatórios com os resultados	6
5. GEOLOGIA REGIONAL	6
5.1 Contexto estratigráfico regional	9
5.2 Contexto estrutural	15
5.3 Ocorrências de arenitos asfálticos	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
6.1 Unidades geológicas	19
6.2 Geologia estrutural	31
6.3 Hidrocarbonetos na Formação Irati	41
6.4 Amostras de arenito preenchidos	42
6.5 Análise de calcinação	45
6.6 Difractometria de Raios X	50
7. CONCLUSÕES	51
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
9. ANEXO 1 – Mapa Geológico 1:20.000	
10. ANEXO 2 – Mapa Geológico Regional 1:50.000 (Modificado de Sousa, 2002)	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (em vermelho) com indicação dos municípios e das principais rodovias.....	2
Figura 2: Mapa Geológico simplificado da Bacia do Paraná, com referências geográficas e profundidade do embasamento. Extraído de Milani (1997).....	7
Figura 3: Seção Geológica esquemática da Bacia do Paraná, Modificado de Raffaelli et al. (1996), em Milani & Zalán (1998).....	8
Figura 4: Mapa geológico do Estado de São Paulo. Detalhe no pequeno retângulo onde se encontra a área de estudo. Fonte IPT, 1990.....	9
Figura 5: Coluna estratigráfica da bacia do Paraná na porção central do Estado de São Paulo. Perinotto & Zaine (2008). Mod de Soares & Landim (1975).....	10
Figura 6: Mapa geológico 1:50.000 da estrutura de Pitanga, mostrando as estruturas principais com direções NW. Retângulo ao norte do mapa delimita a área a ser detalhada. (SOUSA, 2002).....	16
Figura 7: Modelo de migração do óleo da Formação Irati para o arenito reservatório da Formação Pirambóia através de um dique de diabásio na exsudação de Anhembi, Estado de São Paulo (modificado de Thomaz-Filho 1982).....	18
Figura 8: Arenito com granulometria média, mal selecionado com grânulos esbranquiçados. Apresenta estratificação cruzada de porte médio. Grupo Itararé.....	20
Figura 9: a: Afloramento de siltitos argilosos avermelhados próximo da base da Formação Tatuí sob depósitos recente do Rio Passa-Cinco. b: Siltitos areníticos esverdeados próximo do topo da Formação Tatuí.....	21
Figura 10: a: Arenito conglomerático da Fácies Ibicatu com matriz grossa e seixos, escamas e dentes fósseis dispersos (seta vermelha). b: Arenito conglomerático da Fácies Ibicatu com matriz média a grossa e seixos dispersos.....	22
Figura 11: Siltito argiloso cinza-azulado laminado do Membro Taquaral. Rocha contendo grande quantidade de fraturas na direção média de 350/90.....	23
Figura 12: a: Calcário intensamente alterado de coloração amarela com nódulos de sílex alongados. b: Calcário cinza apresentado pontos com impregnação de petróleo em pontos com maior permeabilidade.....	24
Figura 13: a: Siltito alterado de coloração cinza contendo laminações. b: Detalhe na coloração amarelada e nas laminações presentes nos siltitos.....	25

Figura 14: Afloramento na Rodovia SP-191 com ocorrência de dique de diabásio, em contato com as formações Corumbataí e Rio Claro. Esse dique ocorre nem uma falha, mostrado brechas e estrias nos contatos.	26
Figura 15: Afloramento da Formação Rio Claro em contato com a Formação Tatuí. Detalha na linha de cascalhos, feição característica do contato basal da Formação Rio Claro.	27
Figura 16: Afloramento do Membro Assistência intensamente fraturado. Detalhe nas direções principais de fraturas, NW e NE, direções que se repetem em todos os afloramentos da região.	28
Figura 17: Pequena queda de água no leito do Córrego Água Vermelha onde aflora a Fácies Ibicatu, contato entre as formações Tatuí e Irati e o <i>datum</i> usado para comparação.	29
Figura 18: Bloco diagrama esquemático mostrando o transporte dos sedimentos erodidos da Formação Tatuí, inclusive grandes blocos de sílex, para o leito do córrego onde aflora o Membro Taquaral.	30
Figura 19: (a) Estereograma contendo as 158 medidas de pólos dos planos de fraturas e juntas. (b) Estereograma de contorno evidenciando três direções principais de fraturas, NW/SE, NE-SW e ENE/WSW.	31
Figura 20: Estereograma exibindo as 15 medidas de planos de falhas com direção NW obtidas e as estrias de mergulho (representadas pelos pontos).	33
Figura 21: Estereograma apresentando a direção de distensão, aproximadamente N55E (setas vermelhas) e o posicionamento de σ_1 , σ_2 e σ_3 357/69, 142/18 e 235/11, respectivamente.	34
Figura 22: Camadas de calcário com atitude de 60/25, muito próximas da falha preenchida por diabásio.	34
Figura 23: Falha Normal com atitude 70/55, que coloca o Mb. Taquaral da Formação Irati ao lado da Formação Tatuí.	35
Figura 24: Pequenas falhas normais interpretadas como de acomodação, limitadas pela falha principal à esquerda.	36
Figura 25: Desenho esquemático mostrando a sequência de afloramentos no corte de estrada da Rodovia SP-191. Os locais em amarelo correspondem aos locais onde se inserem, respectivamente, as figuras 22, 23 e 24.	36
Figura 26: Fotos mostrando o plano de falha (72/82) presente no contato entre o dique de diabásio e a Formação Corumbataí, com destaque para as estrias identificadas no plano.	37
Figura 27: Foto mostrando brecha de contato (50/82), localizada no contato entre o dique de diabásio e a Formação Corumbataí.	38
Figura 28: Estereograma exibindo 10 medidas de planos de falhas com direção NE e 9 estrias de mergulho (representadas pelos pontos).	39
Figura 29: Estereograma apresentando a direção de distensão, aproximadamente N78W (setas vermelhas) e o posicionamento de σ_1 , σ_2 e σ_3 235/88, 12/01 e 102/01, respectivamente.	40
Figura 30: Fotos mostrando planos estriados (318/65) em siltitos avermelhados da Formação Tatuí.	40
Figura 31: Estrias de falhas (318/65) que ocorrem em planos de falha na Formação Tatuí, no leito do Rio Passa-Cinco.	41

Figura 32: (a) Amostras de calcário com concreções de sílex do Membro Assistência preenchidas com óleo em pequenas fraturas. (b) Grande fratura impregnada com HC.	
(c) e (d) Pequenas fraturas com cerca de 2 centímetros preenchidas com HC, assemelhando-se com fraturas de tração (Tension Gashes).	42
Figura 33: (a) Foto de lente de arenito com matriz areia media, 2 cm de espessura, entre pacotes. (b) Na foto da direita evidencia-se a presença de material asfáltico nos poros da rocha.	43
Figura 34: (a) Calcário do Membro Assistência com Fratura preenchida por material negro. (b) Camada de siltito e lentes de arenito grosso com fraturas NW-SE preenchidas por material negro.	44
Figura 35: Arenito médio a fino da Formação Tatuí com intercalação de camadas com diferentes permeabilidades, gerando essa feição de pequenas camadas negras e brancas.	44
Figura 36: LH-1a: Lente de arenito de granulometria media a grossa com impregnação de material negro nos poros. LH-1b: Lente de Arenito de granulometria grossa que apresenta material negro nas fraturas. LH-1c: Lente de arenito de granulometria media a grossa com impregnação de material negro nos poros. LH-20a: Lente de arenito de granulometria fina mostrando locais com maior permeabilidade (lentes escuras, com impregnação) e locais com menor permeabilidade (lentes brancas sem impregnação) LH-20b: Lente de arenito de granulometria fina mostrando locais com maior permeabilidade (lentes escuras, com impregnação) e locais com menor permeabilidade (lentes brancas sem impregnação). Essa amostra apresenta lentes avermelhadas de oxido de ferro.	46
Figura 37: LH-1a: Amostra desagregada apresentando grande quantidade grãos de quartzo impregnados. LH-1b: Amostra desagregada apresentando grãos inteiramente negros (setas em vermelho), diferentemente das outras amostras. LH-1c: Amostra desagregada apresentando grande quantidade grãos de quartzo impregnados. LH-20a: Amostra desagregada apresentando granulometria fina, coloração cinza e grande quantidade de umidade. LH-20b: Amostra desagregada apresentando granulometria fina, coloração cinza e grande quantidade de umidade.	47
Figura 38: a: Foto apresentado às cinco amostras dentro da estufa após a calcinação. LH-1a: Os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada e aparentemente mais “limpos”, sem o matéria negro impregnado. LH-1b: os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada, mas grande parte dos grãos negros não sofreu alteração, como indicado nas setas vermelhas. LH-1c: Os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada e aparentemente mais “limpos”, sem o matéria negro impregnado. LH-20a: Os grãos apresentam-se com coloração mais clara em relação à antes do processo, sem o material negro impregnado. LH-20b: Os grãos apresentam-se com coloração mais clara em relação à antes do processo, sem o material negro impregnado.	49
Figura 39: Difratoograma de raios X contendo análise de amostra total em pó, de cobertura intemperizada. Foi adotada análise de grande amplitude para determinação de minerais acessórios. A amostra, entretanto, exibe fase mineral exclusivamente composta por quartzo e sem indícios de fases amorfas.	51
Tabela 1: tabela contendo todas as informações de pesos iniciais, pesos após a retirada da umidade, percentuais de umidade, peso após calcinação e percentual dos pesos após a calcinação das amostras.	48

RESUMO

Neste trabalho são propostos estudos estruturais na porção noroeste do Alto Estrutural de Pitanga, na região compreendida entre as cidades de Ipeúna e Charqueada. A geologia da região é composta pelas rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, representada principalmente por rochas paleozoicas (Grupo Itararé, formações Tatuí, Irati e Corumbataí) e mesozoicas (formações Pirambóia e Botucatu) com associação de rochas básicas intrusivas eocretáceas na forma de diques e sills. As principais feições reconhecidas são falhas distensivas, colocando lado a lado blocos tectônicos desnivelados, muitas delas ocupadas por diques de diabásio. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo o detalhamento das estruturas locais e o reconhecimento da associação tectônica dos blocos abatidos/soerguidos juntamente com a caracterização de um modelo de geração, migração e armazenamento de hidrocarbonetos. Através das análises de fotointerpretação, reconhecimento de campo e análises estruturais e laboratoriais foi reconhecida uma falha normal com direção N30W e rejeito de 20-25 metros ao sul da cidade de Ipeúna, que coloca as formações Tatuí e Irati lado a lado. Além disso, neste mesmo local e na rodovia SP-191, a norte de Ipeúna, foram reconhecidos e amostrados arenitos do topo da Formação Tatuí impregnados com material asfáltico. Com a interpretação desses dados, foi possível dizer que os sistemas de falhas locais com direções NW tiveram papel determinante na geometria dos blocos, colocando as lentes areníticas da Formação Tatuí acima topograficamente dos folhelhos geradores da Formação Irati. Além disso, foram rotas de migração até o armazenamento hidrocarbonetos nas lentes areníticas da Formação Tatuí.

Palavras-chave: Falha Normal, Migração, Formação Tatuí, Formação Irati, Trapa de óleo, Acumulação, Alto Estrutural de Pitanga.

ABSTRACT

This work presents structural studies in the northwestern portion of the Pitanga Structural High, between the towns of Ipeúna and Charqueada. The area is composed by the sedimentary rocks from Paraná Basin, represented basically by Paleozoic rocks (Itararé Group, Tatuí, Irati and Corumbataí formations) and Mesozoic rocks (Pirambóia and Botucatu formations), in association with lower Cretaceous intrusive basic rocks expressed by dikes and sills. The most important structural features are distensive faults, which put together leveled tectonic blocks and are frequently filled by diabase dikes. In this context, the main objective of this work is the study of local structures and the recognition of the tectonic association between dropped and uplifted blocks, jointly with the characterization of a production, migration and storage model for hydrocarbons. Through the interpretation of aerial photos, field recognitions, structural and laboratorial analysis, a normal fault with direction of N30W and a slip of 20-25 meters located south of Ipeúna was recognized this fault puts the Tatuí and Irati Formations side by side. At this place and by the SP-191 route (north of Ipeúna city), sandstones from the top of Tatuí Formation are impregnated by asphaltic material. The data interpretation shows that local fault systems with NW directions have played a determinant part in the fault blocks arrangement, placing sandstone lenses from Tatuí Formation topographically above the oil shales from Irati Formation. In addition, these systems acted as migration paths to transport and storage hydrocarbon in sandstone lenses from Tatuí Formation.

Keywords: Normal fault, oil migration, Tatuí Formation, Irati Formation, oil trap, accumulation, Pitanga Structural High.

1. INTRODUÇÃO

Na porção centro-leste do Estado de São Paulo, ocorrem muitos altos estruturais reconhecidos e mapeados desde o tempo de Moraes Rego (1930). Esses altos foram estudados posteriormente nas perspectivas de reservas petrolíferas e em estudos acadêmicos (SOARES 1974, SOUSA 2002). Dentre todos esses altos estruturais destaca-se, para o presente trabalho, Domo de Pitanga (MORAES REGO, 1930) ou Alto Estrutural da Pitanga (SOUSA, 2002).

O Alto estrutural da Pitanga encontra-se instalado ao longo dos vales dos rios Corumbataí e Passa-Cinco, entre as cidades de Rio Claro e Piracicaba. A região está inserida na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde afloram rochas sedimentares paleozoicas e sedimentos cenozoicos. Essas rochas afloram na região através de um alçamento de blocos causado por falhas distensivas e em parte por inclinação de camadas.

O arranjo de falhas normais e blocos abatidos/soerguidos forma uma estrutura alçada, com eixo maior na direção NW-SE. Esse desnivelamento proporciona, em algumas regiões do alto, a colocação de rochas da Formação Irati (folhelhos potenciais geradores de hidrocarbonetos) em níveis topográficos mais profundos que a Formação Tatuí. Juntamente com esse arranjo, ocorrem diques de rochas básicas preenchendo algumas dessas falhas e que proporcionam energia térmica suficiente para a maturação da matéria orgânica presente. Essa situação proporciona a geração e migração primária e secundária de óleo para acumulação em fácies areníticas da Formação Tatuí.

A proposta deste trabalho justifica-se pela importância da realização de um estudo das estruturas rúpteis da localidade noroeste do Alto Estrutural da Pitanga, com a finalidade de caracterizar um modelo estrutural eventualmente propício para a migração de hidrocarbonetos.

1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo abrange a parte noroeste do Alto Estrutural da Pitanga, na região compreendida entre as cidades de Ipeúna e Charqueada, principalmente nas localidades da bacia hidrográfica do Córrego Água Vermelha e o Rio Passa Cinco (Figura 1), onde se encontram lineamentos pouco compreendidos.

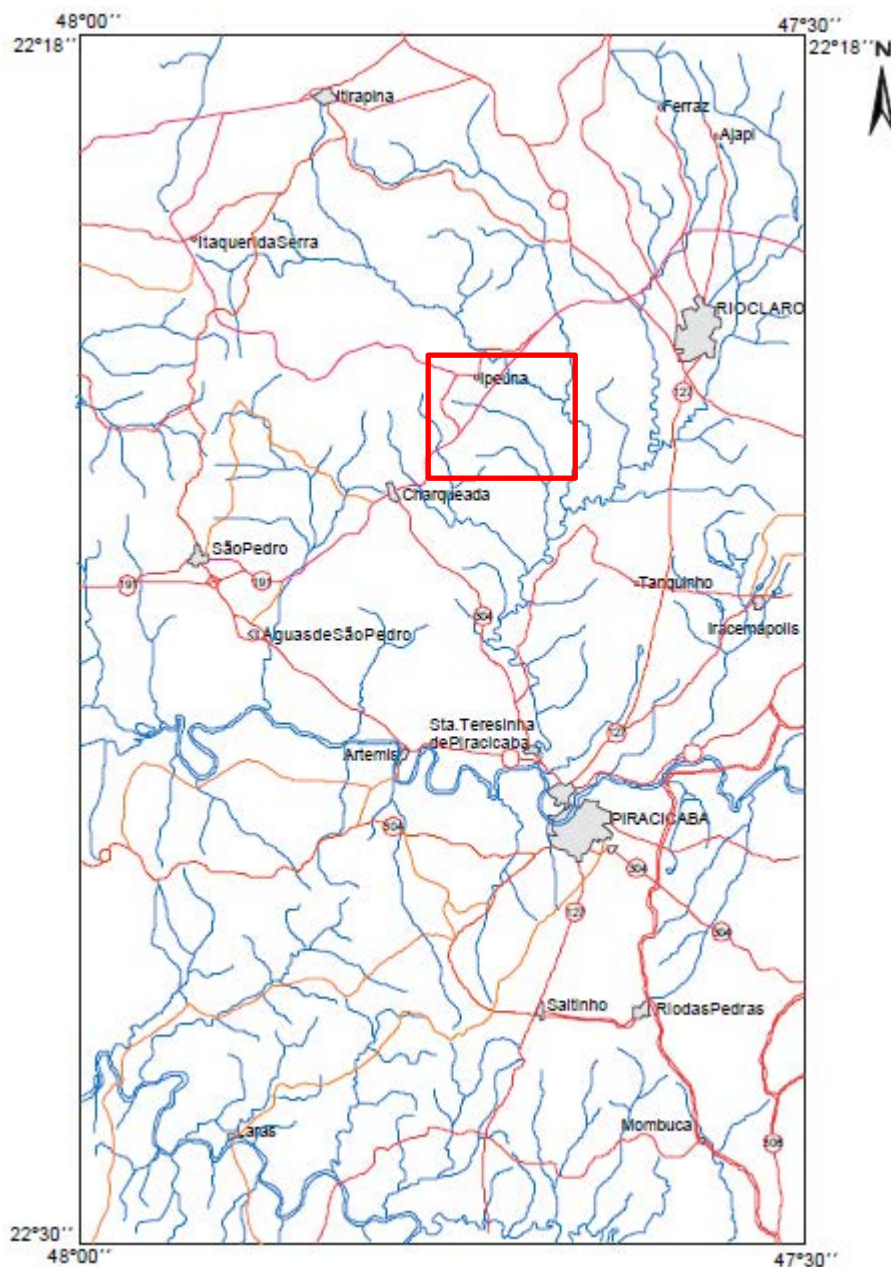


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (em vermelho) com indicação dos municípios e das principais rodovias.

A área é servida de uma boa rede de acessos, por meio de rodovias e estradas secundárias, além de uma série de estradas rurais que permitiram a visita à bons afloramentos. O foco principal foi a descrição imediata dos afloramentos nas proximidades da zona de falha que limita o alto estrutural e em zonas mal compreendidas no noroeste do domo, de modo a permitir a construção do empilhamento estratigráfico em cada um dos blocos limitados por essa zona.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse projeto é o reconhecimento da associação tectônica dos blocos abatidos/soerguidos juntamente com a caracterização de um modelo de geração, migração e armazenamento de hidrocarbonetos. Foi definido também o padrão de fraturamento regional do setor ocidental do Alto Estrutural da Pitanga, com ênfase na tectônica associada a falhas e seu papel na geometria do alto estrutural naquele local. Além disso, buscou-se a caracterização dos blocos falhados e das falhas, bem como dos movimentos que ocorreram, e da influência que exerceram na construção dos blocos e a cronologia relativa do desenvolvimento dessas falhas.

Foram coletadas e descritas amostras das formações Irati e Tatuí que continham betume associado, a fim de aperfeiçoar o entendimento e desenvolvimento do modelo de migração e armazenamento daquele local.

3. MÉTODOS E ATIVIDADES

Para atingir os objetivos propostos, foram desenvolvidas as etapas relacionadas abaixo, apresentadas de acordo com os conceitos e métodos utilizados:

4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Nesta atividade, foram desenvolvidos levantamentos e compilações de dados bibliográficos a respeito da Bacia Sedimentar do Paraná, destacando-se principalmente o trabalho de Soares (1974), que deu ênfase às estruturas existentes na borda nordeste da Bacia do Paraná, com destaque para os altos estruturais que ocorrem no Estado de São Paulo. Para um estudo de caráter mais local, foi utilizado o trabalho de Sousa (2002), que mapeou e caracterizou alguns altos estruturais no Estado de São Paulo incluindo o Alto Estrutural da Pitanga, no qual nomeou alguns sistemas de falhas normais na região. Para conceituar melhor sobre migração e armazenamento de hidrocarbonetos foi utilizado como base o trabalho de Araújo *et al.* (2004) que descreveram alguns afloramentos de arenitos impregnados com hidrocarbonetos oriundos da Formação Irati, todos no Estado de São Paulo. Um desses arenitos

corresponde à Formação Tatuí e mostrou-se impregnado por material orgânico oriundo de uma migração por falhas, tendo se mostrado, portanto, um ótimo modelo de comparação para o presente trabalho. Outro trabalho utilizado como estudo foi a contribuição de Godoy, (2006) que fez um estudo de termotectônica no Alto Estrutural de Pitanga descrevendo as idades e eventos tectônicos ocorridos na região.

4.2 FOTOINTERPRETAÇÃO

Foram realizadas interpretações de fotografias aéreas, imagens SRTM e imagens do software Google Earth, para a obtenção de traços de fraturas e a caracterização de lineamentos de relevo e de drenagens, bem como para o refinamento da distribuição das litologias na área através de quebras de relevo, padrões de distribuição de drenagens e elementos texturais do terreno.

4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Foram realizadas algumas etapas de levantamentos de campo na região, visando à caracterização básica das feições litológicas e estruturais. As etapas de campo foram concentradas ao longo da Rodovia SP-191, de estradas municipais, e principalmente, de drenagens da região, que erodem e expõem importantes afloramentos rochosos. Outras informações utilizadas nos levantamentos de campo consideraram as interpretações dos principais traços de lineamentos por meio de imagens de satélites.

As falhas foram caracterizadas a partir do reconhecimento dos lineamentos de relevo e de drenagens, obtenção das atitudes de planos de falhas e estrias (sentido de movimento) através de bússola Clar e o reconhecimento de desnivelamentos de contatos entre as formações aflorantes.

Foram realizadas amostragens em alguns pontos da região, principalmente em lentes arenosas impregnadas com material negro da Formação Tatuí e folhelhos e calcários com betume da Formação Irati. Tais amostragens serviram para a melhor caracterização do material em laboratório.

4.4 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS ESTRUTURAIS

Em laboratório foram tratados e integrados os dados estruturais, na forma de tabelas, mapas e diagramas estruturais. Estes foram preparados com os softwares Stereonet e OpenStereo na formulação de estereogramas simples e o software WinTENSOR para elaborar estereogramas com distribuição dos esforços tectônicos. A observação de campo, com preparação de seções estruturais, permitiu a elaboração de bloco-diagramas e a caracterização de empilhamento estrutural/estratigráfico em cada um dos blocos do alto estrutural. A partir dos dados levantados, foram obtidos dados para a caracterização da geometria das falhas individualizadas e do conjunto (mapas geológicos).

4.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

Análises laboratoriais realizadas nas amostras coletadas em campo de arenitos da Formação Tatuí, para descrever o material nelas contido. As análises realizadas foram:

-Queima em estufa (Calcinação), para a determinação da quantidade de material orgânico que havia presente nas amostras para comparação posterior com dados da literatura, a fim de confirmar a presença de betume nas amostras da Formação Tatuí. O método se resume na pesagem inicial da amostra, retirada da umidade em estufa de secagem à 95° C durante 4 horas, pesagem após esse processo, queima na estufa a 500° C durante 2 horas e pesagem final do material.

-Difração de raios-X, para determinar as estruturas cristalinas e verificar a existência ou não de óxido de manganês, que eventualmente pode ser confundido com material orgânico. As amostras foram analisadas à Difração de Raios X da marca PANalytical EMPYREAN, com radiação CuK α (WL=1, 54056 Å), operando a 40 kV e 30 mA. As condições de análise ocorreram com ângulo 2° de início em 3°, e término em 65°, com tamanho do passo de 0,008° e tempo do passo de 3,810 s. A velocidade de varredura foi de 0,278°/s, com tempo total de análise de 3'52". Estas condições foram possíveis acoplando-se à difração de raios X módulo acelerador X celerator, que reduziu o tempo de análise em 40%.

4.6 INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE SIG

Nesta atividade, os dados de superfícies interpretados (mapas geológicos, lineamentos, estruturais e de drenagens) foram integrados a fim de uma representação e análise em ambientes SIG (ArcView), com preparação de base vetorial cartográfica integrada, de modo a permitir a inserção dos dados em *layers* específicos e formulação de um mapa geológico 1:20.000, detalhando a área noroeste do Domo de Pitanga, mais especificamente na bacia do Córrego Água Vermelha.

A partir do mapa 1:20.000 realizado, foi feita a adequação dessa área mapeada no mapa geológico 1:50.000 regional realizado por Sousa, (2002), modificando o mapa com a intenção de detalhar melhor essa região.

4.7 PREPARAÇÃO DOS RELATÓRIOS COM OS RESULTADOS

Nesta etapa foram realizados os trabalhos finais, envolvendo a integração final, interpretações e elaboração do relatório.

5. GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Paraná constitui uma imensa região sedimentar da América do Sul, abrigando dentro dos seus limites uma sucessão sedimentar-magmática com idades entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo. Geograficamente, a bacia inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai, Argentina e Uruguai, em uma área total que ultrapassa 1,5 milhão de quilômetros quadrados (Figura 2) (MILANI *et al.* 2007).

A bacia tem uma forma ovalada com eixo maior N-S, e é plena representante do conceito de bacia intracratônica, sendo o seu contorno atual definido por limites erosivos. Possui uma espessura total máxima em torno de 7 mil metros, coincidindo geograficamente o depocentro estrutural da sinéclise com a região da calha do rio Paraná (MILANI *et al.* 2007).

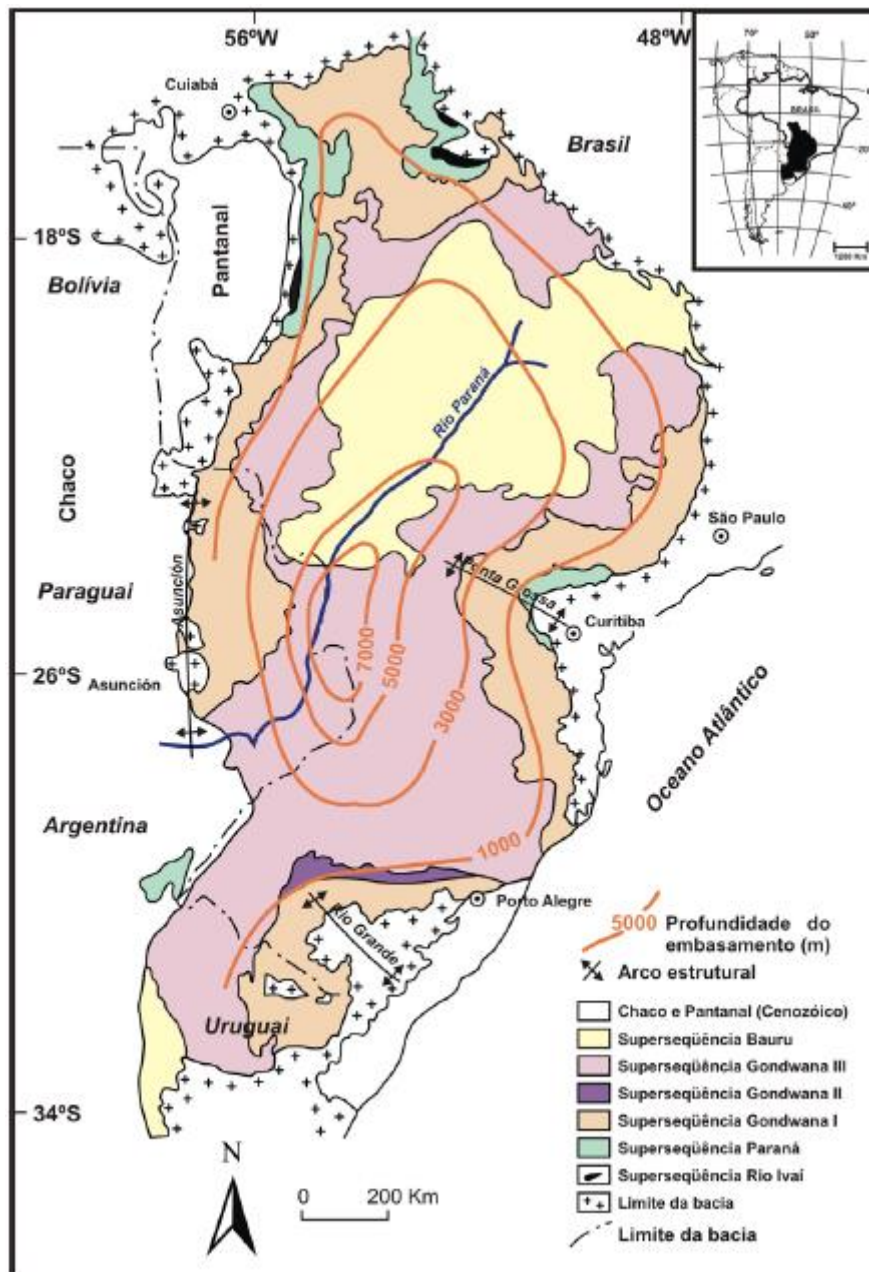


Figura 2: Mapa Geológico simplificado da Bacia do Paraná, com referências geográficas e profundidade do embasamento. Extraído de Milani (1997).

O perfil esquemático da Bacia do Paraná mostra a distribuição das formações observadas na Figura 3.

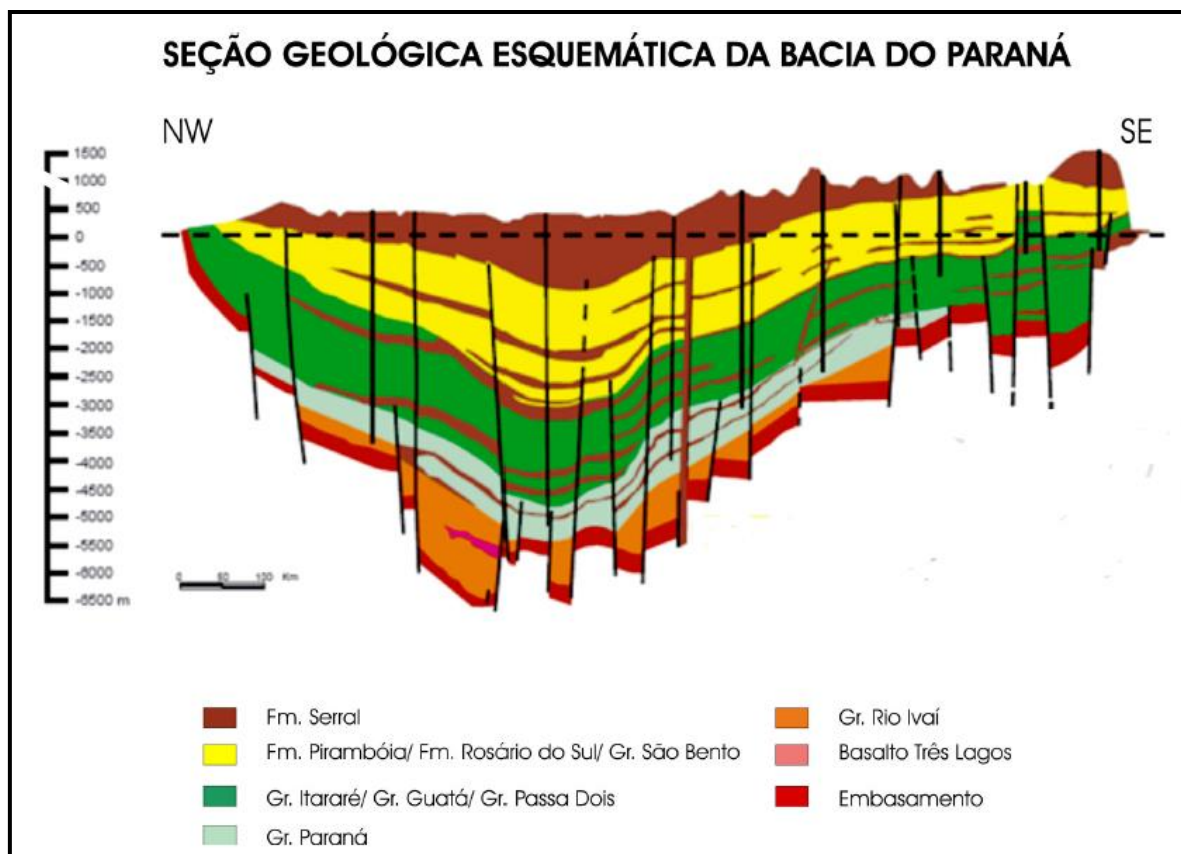


Figura 3: Seção Geológica esquemática da Bacia do Paraná, Milani & Zalán (1998).

Na borda leste da Bacia, encontra-se o Arco de Ponta Grossa, um anticlinal que expressa antigas e profundas falhas, feição esta que também é associada ao soerguimento crustal resultante do rifte do Atlântico-Sul. Já o flanco oeste é delimitado pelo Arco de Assunção, uma flexura relacionada ao cinturão andino. As outras bordas da Bacia delimitam áreas onde os estratos se sobrepõem a rochas cristalinas de províncias cratônicas ou de faixas móveis do embasamento pré-Cambriano (MILANI, 1997). A disposição das unidades geológicas no Estado de São Paulo encontra-se detalhada na Figura 4.

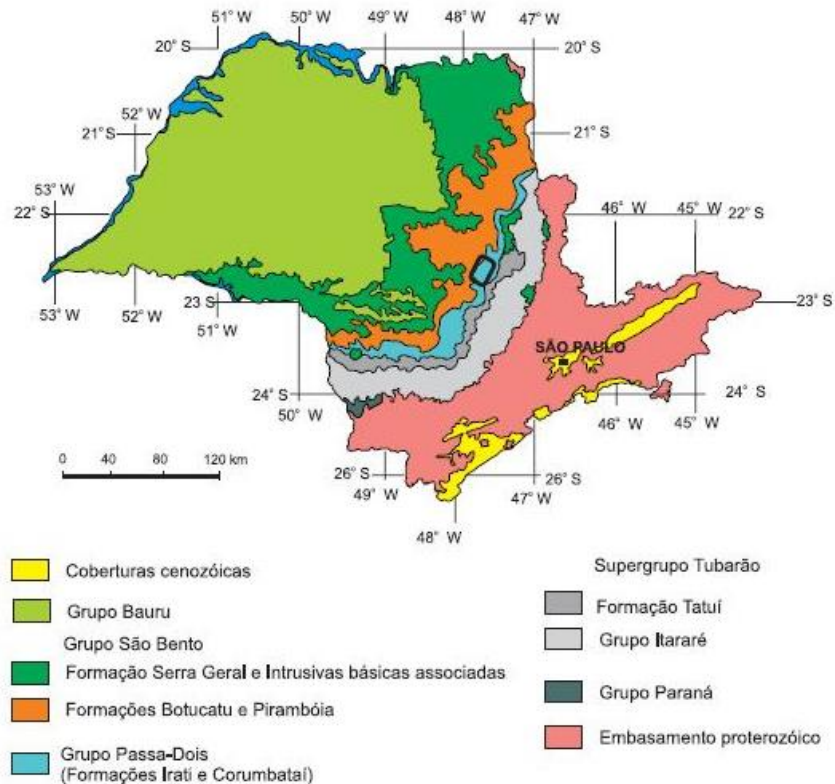


Figura 4: Mapa geológico do Estado de São Paulo. Detalhe no pequeno retângulo onde se encontra a área de estudo. Fonte IPT, 1990.

5.1 CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

As rochas aflorantes na região central do Estado de São Paulo são de idade permo-carbonífera (Gr. Itararé) a rochas com idades cenozoicas (Formação Rio Claro). A descrição das unidades geológicas mais frequentes no Estado de São Paulo é ilustrada na Figura 5.

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 (Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS, FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZÓICA	CRETÁCEO		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
	JURÁSSICO	SÃO BENTO	BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBOIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
			CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMITICOS E COQUINAS (Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)	CONTINENTAL: LACUSTRE TRANSICIONAL: PLANÍCIE DE MARÉ
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI Mb. Assistência Mb. Taquaral		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMITICOS (Indústria de calcário na região de Assistência, Iguape e Piracicaba-Solimão)	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) (Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL; LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMAL
	CARBONÍFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSÉS, XISTOS, QUARTZITOS	

Perinotto & Zaine (2008), mod. de Soares & Landim (1975)

Figura 5: Coluna estratigráfica da bacia do Paraná na porção central do Estado de São Paulo, Perinotto & Zaine (2008).

Grupo Itararé:

O Grupo Itararé compreende a sequência sedimentar de idade permo-carbonífera cujos depósitos são caracterizado por arenitos, siltitos e predominantemente por diamictitos que refletem influências glaciais em seus diferentes ambientes deposicionais. (SCHNEIDER *et al.* 1974, FULFARO *et al.* 1980). Pires (2001) caracterizou o grupo por sedimentos depositados durante episódio transgressivo marinho, com depósitos de origem glacial anterior a implantação da sedimentação marinha.

No nordeste de São Paulo, ocorre a Formação Aquidauana, caracterizada por sedimentos vermelhos essencialmente arenosos. As condições de deposição de sedimentos vermelhos não favorecem a preservação de restos orgânicos e até então não foram encontrados microfósseis nessa unidade (SCHNEIDER *et al.* 1974).

Formação Tatuí:

A Formação Tatuí é de idade eopermiana e cronocorrelata às formações Rio Bonito e Palermo, reconhecidas nos estados do sul do Brasil, compondo, em conjunto, o Grupo Guatá segundo concepção de Gordon Jr. (1947) apud ASSINE *et al.* 2003).

É constituída de sedimentos clásticos finos, principalmente siltitos, siltitos arenosos, e subordinadamente arenitos, calcários e folhelhos, sendo o primeiro registro sedimentar pós-glacial da Bacia do Paraná. (FULFARO *et al.* 1984; BARBOSA-GIMENEZ, 1996).

O conteúdo fóssil registrado na Formação Tatuí segundo Chahud (2009) constitui-se de escamas de *Sarcopterygii* *Coelacanthimorpha*, descritos pela primeira vez nessa formação e icnofósseis de Palaeonisciformes.

Soares (1972) reconheceu quatro descontinuidades dentro da formação, sendo duas delas o contato inferior com o Grupo Itararé e o contato superior com o Membro Taquaral. Segundo esse autor, a formação foi separada por uma discordância em membro inferior, com granulometria mais fina e cor arroxeada, e membro superior, com granulometria mais grossa e cor esverdeada.

Segundo Fulfaro *et al.* (1984), o ambiente de deposição dos sedimentos da Formação Tatuí é representado por plataforma marinha, um sistema costeiro e, localmente, um sistema de leques deltaicos. Assine *et al.* (2003) diz que, no centro-leste do Estado de São Paulo, a formação possui, na porção superior, níveis de arenitos grossos e conglomeráticos, ricos em clastos de sílex, que correspondem a um trato de sistemas de mar alto associados à progradação de sistemas de leques aluviais costeiros (fácies Ibicatu) sobre uma plataforma marinha dominada por marés.

Formação Irati:

A Formação Irati, de idade Permiano inferior, (SCHNEIDER *et al.* 1974) representa uma deposição em ambiente marinho de águas calmas para a porção basal e marinho de águas rasas, para a porção superior. Milani *et al.* (1994) dizem que a unidade foi depositada em um ambiente de mar restrito, progressivamente mais salino da base para o topo. É dividida nos membros Taquaral e Assistência (BARBOSA & GOMES 1958). O Membro Taquaral é de natureza pelítica e consiste em argilitos, folhelhos cinza-escuros a cinza claros e siltitos cinza. O Membro Assistência é constituído por folhelhos escuros pirobetuminosos associados a bancos ou camadas de

calcário dolomítico, contendo nódulos de sílex (bonecas de sílex), característica peculiar da Formação Irati (SCHNEIDER *et al.* 1974).

A espessura média do Irati no Estado de São Paulo, nos afloramentos, varia de 20 a 30 metros, aumentando para 40 a 50 e poucos metros nas sondagens situadas mais no meio da bacia (AMARAL. 1971)

Outra característica marcante na Formação Irati é a presença de fósseis. Para o Membro Taquaral, são comuns restos de peixes, crustáceos dos gêneros Clarkecaris, Paulocaris e Liocaris. Os répteis Stereosternum tumidum e Mesosaurus brasiliensis são bastante encontrados no Membro Assistência, além de restos de peixes, fragmentos vegetais, carapaças de crustáceos e palinórfos (SIMÕES & FITTIPALDI 1992).

Formação Corumbataí:

Compreende os sedimentos situados concordantemente acima da Formação Irati e discordantemente abaixo da Formação Pirambóia no Estado de São Paulo.

A formação consiste em argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados e avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos e camadas de arenitos muito finos. Além da estratificação plano-paralela característica da formação, observa-se também acamamento *flaser*, fendas de ressecamento, laminação cruzada, marcas onduladas, estratificação cruzada de porte muito pequeno e laminação ondulada descontínua (LANDIM, 1967; SCHNEIDER *et al.* 1974).

A Formação Corumbataí foi considerada segundo Rohn e Lavina (1993), de idade permiana superior, mais especificamente no Kanzaniano-Tatariano, porém a análise palinológica e associação de restos de invertebrados e vertebrados colocam a formação em idade permiana-triássica (DAEMON *et al.* 1996 apud ANDREIS & CARVALHO, 2001).

O ambiente deposicional era marinho de águas calmas, em ambiente de planície de maré rasas ou ambientes costeiros influenciados por tempestades (ROHN & LAVINA, 1993). Segundo Andreis & Carvalho (2001), a deposição foi em ambiente lagunar, associado com extensas planícies de maré, periodicamente invadido por barras ou bancos formados por oolitos.

Os fósseis descritos para a Formação abrangem Ostracodas, restos de peixes, restos vegetais e palinórfos como registro fóssilífero (SCHNEIDER *et al.* 1974)

Formação Pirambóia:

A Formação Pirambóia é formada por arenitos argilosos com intercalação de camadas de siltito e argilito, marcando uma sucessão de espessos bancos arenosos avermelhados ou rosados, de granulação fina a média (LANDIM *et al.* 1980). As principais estruturas descritas e observadas por SOUSA (2002) nesta unidade são estratificações paralelas, cruzadas (acanalada, em cunha e tangencial na base) que variam de centimétricas a métricas.

Em termos de gênese sedimentar, considera-se a Formação como predominantemente fluvial e eólica. (SCHNEIDER *et al.* 1974) Para outros autores Assine e Soares 1995; Caetano-Chang & Wu 1995, o ambiente deposicional desta formação é considerado como uma associação de depósitos eólicos de dunas, interdunas e lençóis de areia, entremeados por depósitos fluviais subordinados.

Atribui-se a idade triássica para a Formação Pirambóia, devido às suas relações estratigráficas com a Formação Botucatu (Juro-Cretáceo) e com a Formação Corumbataí (Permiano Superior) (SCHNEIDER *et al.* 1974).

Formação Botucatu:

A Formação Botucatu constitui um pacote de arenitos de coloração avermelhada de granulação fina e muito fina predominante, com estratificação cruzada de grande porte a médio porte, muito friáveis ou silicificados, com grãos foscos e bem arredondados (LANDIM *et al.* 1980).

Estratificação cruzada tangencial em grandes cunhas na parte basal, estratificação plano-paralela e cruzada acanalada são estruturas muito comuns na formação e indicam deposição eólica em ambiente desértico (SOUSA, 2002).

O contato com a Formação Pirambóia tem sido considerado concordante, mas a possibilidade desta relação ser discordante deve também ser considerada. O contato superior com a Formação Serra Geral é discordante. Atribui-se a Formação Botucatu a idade juro-cretácea (SCHNEIDER *et al.* 1974).

Formação Serra Geral:

A Formação Serra Geral compreende a sequência de derrames de lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas arenosas. São espessa seção de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica, coloração cinza-escura a preta, amigdaloidal no topo dos derrames, com corpos intrusivos associados, na forma de diques e soleiras.

Dados geocronológicos apontam a época das manifestações vulcânicas para o Eocretáceo, há 132 ± 1 Ma (NARDY *et al.* 1999). Intercalações de arenitos finos a médios, com estratificação cruzada tangencial (idêntica à da Formação Botucatu), ocorrem principalmente na parte basal (SCHNEIDER *et al.* 1974).

Segundo Sousa (2002), a Formação Serra Geral ocorre na região leste do Estado de São Paulo na forma de diques e *sills* de diabásios ou basaltos, além de alguns derrames pouco espessos. Encontram-se preenchendo as falhas que colocam algumas formações lado a lado, como rochas da Formação Irati e siltitos da Formação Tatuí, indicando uma estreita associação entre as descontinuidades pré-existentes e o magmatismo basáltico.

Formação Itaqueri:

A Formação Itaqueri, de idade cenozoica, está assentada sobre superfície regular, desenvolvida nos basaltos da Formação Serra Geral ou diretamente sobre a Formação Botucatu. Sua constituição mais constante é de depósitos rudáceos (conglomerados com clastos derivados predominantemente de rochas básicas), arenitos e lamitos interpretados como leques aluviais sedimentados sob condições de média a alta energia (MELO 1995; RICCOMINI 1997).

Formação Rio Claro:

A Formação Rio Claro consiste em depósitos de arenitos arcossianos mal consolidados, mal selecionados, arenitos conglomeráticos e argilitos vermelhos que ocorrem no Estado de São Paulo (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

Zaine (1994) destacou o papel das feições estruturais e tectônicas na deposição da Formação Rio Claro e identificou depósitos de condições enérgicas (fluxos torrenciais e fluxos de massas) e um sistema fluvial mais organizado como canais espalhados e lagoas restritas.

As principais estruturas sedimentares observadas são estratificação cruzada, estruturas de corte e preenchimento e estruturas resultantes de dessecação. Atribui-se uma origem continental, em condições climáticas semi-áridas (SCHNEIDER *et al.* 1974).

5.2 CONTEXTO ESTRUTURAL

Evolução tectono-estratigráfica

A evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná, segundo Milani (1997), relaciona-se a quatro orogenias pré-andinas, que afetaram a borda oeste da plataforma Sul-Americana. Tais orogenias deram condições para a formação de toda a sequência sedimentar da bacia. O início da sedimentação ocorreu logo após uma orogenia de idade 500 a 425 Ma, depositando os primeiros sedimentos do Grupo Ivaí, de idade Neo-orдовiciana/Eosiluriana. Em seguida, sobre uma discordância, foi depositada a Supersequência Paraná, de idade devoniana (MILANI, 2007).

Após a deposição da Supersequência Paraná, ocorreu um hiato de 50 Ma, que estaria relacionado a uma orogenia ocorrida nesse período. Em seguida, foi depositada a Supersequência Gondwana I, que representa um ciclo transgressivo-regressivo completo entre o Pensilvaniano e o Eotriássico. No Jurássico, já havendo uma influência tectônica distensiva, houve a deposição da Supersequência Gondwana II e III, sistemas eólico-fluviais (formações Pirambóia e Botucatu). Depois da deposição desse sistema, e, ainda com esforços distensivos tem-se, o grande derrame de basaltos da Formação do Serra Geral, no Eocretáceo, sin-deposicional à quebra do Supercontinente Gondwana. Por fim, no Aptiano-Maastrichtiano, sedimentos continentais da Supersequência Bauru se depositaram sobre a sequência basáltica, cessando assim eventos de sedimentação extensiva na bacia (MILANI *et al.* 2007).

Alto Estrutura de Pitanga

Formando uma estrutura anticlinal, na forma de um domo, possui eixo maior de direção N-S com aproximadamente 25 km e eixo menor E-W, com valor próximo a 15 km. Localizado na porção central do Estado de São Paulo, está encaixado no vale do rio Corumbataí, entre as cidades de Rio Claro e Piracicaba. O Alto Estrutural de Pitanga foi reconhecido pela Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (ALMEIDA & BARBOSA, 1953) e desde então, recebe varias interpretações. Possui unidades lito-estratigráficas na forma de blocos soerguidos e abatidos, controlados por falhas e/ou dobras (SOARES, 1974; FULFARO *et al.*, 1982, SOUSA, 2002) fazendo com que unidades mais jovens aflorem ao lado de unidades mais antigas (Figura 6). O domo é levemente assimétrico, com mergulhos mais fortes em todo o flanco oeste, onde localmente atingem 12°, dominando valores em torno de 2° (SOARES, 1974).

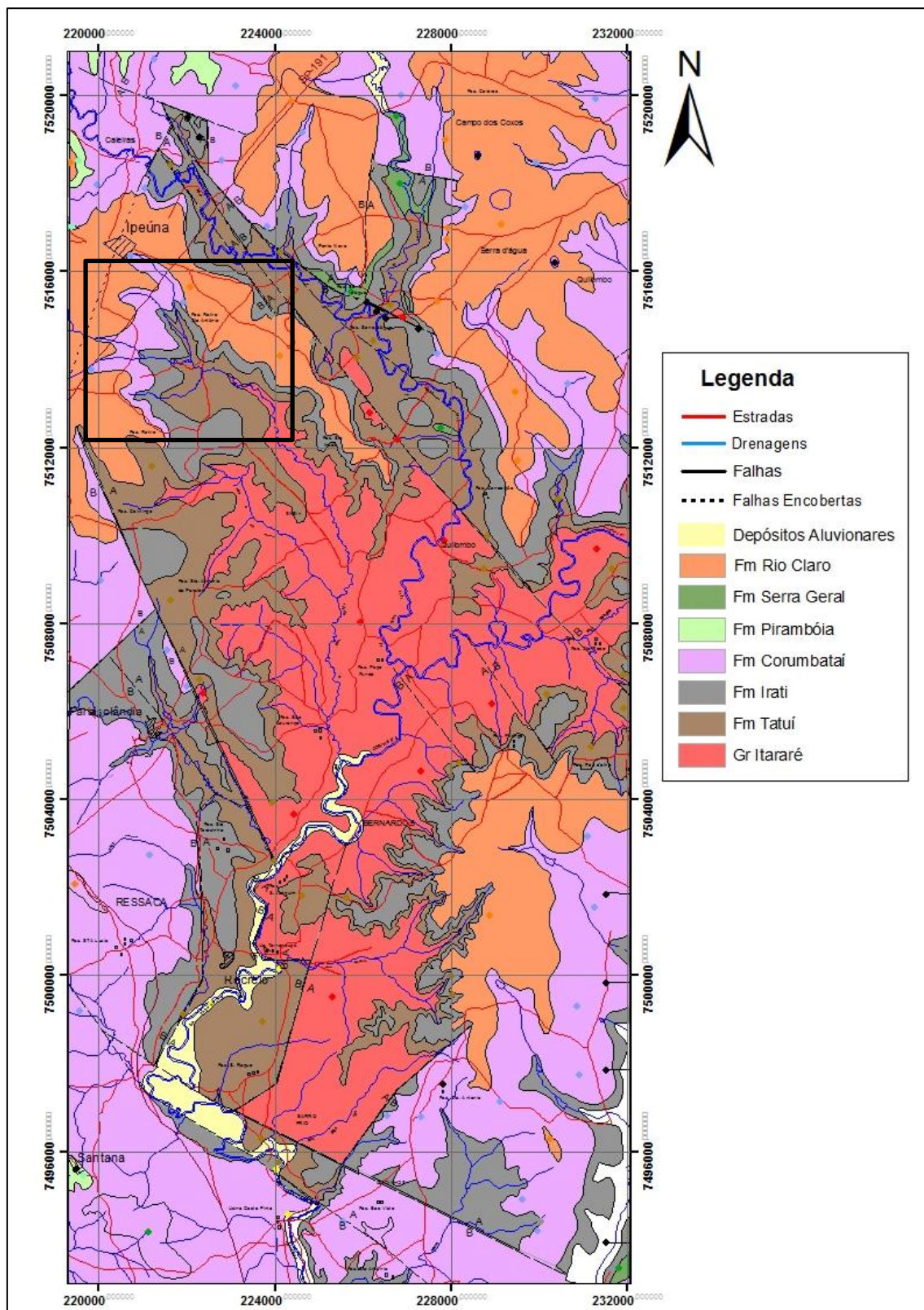


Figura 6: Mapa geológico do Alto Estrutural de Pitanga, mostrando as estruturas principais com direções NW. Retângulo ao norte do mapa delimita a área aqui detalhada. (SOUSA, 2002).

Segundo Sousa (2002), existe na região um sistema de falhas importante, o Sistema de Falhas Passa Cinco-Cabeça, representando um importante conjunto e pela diversidade de estruturas encontradas, com arranjos de falhas normais NW-SE e falhas isoladas com orientação próxima a N-S.

Outro sistema de falhas importante da região é o Sistema de Falhas Ipeúna-Piracicaba, representado por falhas normais NW-SE e NE-SW, pois apresentam grande papel no controle de drenagens e da paisagem local, ao longo de traços do Rio Corumbataí e de alguns afluentes (SOUSA, 2002).

Algumas falhas preenchidas com rochas básicas indicam ser pré a sin deformacionais aos derrames da Formação Serra Geral. Outras falhas controlam a linha de afloramento da Formação Rio Claro, indicando que estiveram ativas durante a sedimentação deste pacote. Este quadro de instabilidade incluiria descontinuidades, com registros pré a sin-mesozóicos (SOUSA, 2002).

Godoy, (2006) fez um estudo termotectônico em alguns altos estruturais no Estado de São Paulo, inclusive o Alto Estrutural de Pitanga, quantificando e datando os eventos tectônicos ocorrido no local, através do método de traço de fissão. No Alto Estrutural de Pitanga, o autor afirma que ocorreram cinco eventos termo-tectônicos: Juro-Cretáceo, processo de resfriamento considerado como o primeiro processo responsável pela formação do Domo; Cretáceo Inferior, aquecimento da bacia através do Magmatismo da Formação Serra Geral e Preenchimento das falhas do Domo pela rocha básicas (dique); Cretáceo Inferior, período de resfriamento do local que culmina temporalmente com os primeiros pulsos de soerguimento da Serra da Mantiqueira; Cretáceo Superior, um resfriamento rápido que coincide exatamente com um segundo soerguimento da Serra da Mantiqueira e a deposição do Grupo Bauru; Mioceno, pulso de soerguimento do domo e deposição da Formação Rio Claro.

5.3 OCORRÊNCIA S DE ARENITOS ASFALTICOS

Segundo Araújo *et al.* (2004), a borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo apresenta mais de uma dezena de afloramentos de arenitos asfálticos ou betuminosos. Estas ocorrências são compostas por arenitos da Formação Pirambóia e uma ocorrência na Formação Tatuí, os quais foram preenchidos secundariamente por material betuminoso, normalmente inserido em altos estruturais ao longo da borda leste da Bacia do Paraná.

A maioria dos arenitos asfálticos está associada a diques e/ou sills de rochas básicas derivadas do magmatismo Serra Geral. Esses corpos proporcionaram, em determinada distância, calor necessário para a transformação do querogênio presente em porcentagens medias de 2% da Formação Irati em petróleo, que migraram através de falhas, fraturas e nas paredes dos diques. Apenas uma das ocorrências situa-se em arenitos da Formação Tatuí, com material asfáltico preenchendo arenitos, reconhecidos na região de Guareí (SP).

Um modelo de migração no Alto do Anhembi esquematizado por Thomaz-Filho (1982) ilustra a migração de hidrocarbonetos gerado na Formação Irati para os arenitos da Formação Pirambóia ao longo do contato dique de diabásio/rochas sedimentares (Figura 7). Segundo Thomaz-Filho (1982), a Formação Irati, por conter grande quantidade de matéria orgânica em seu folhelho, teve uma geração precoce de óleo, que primariamente migrou até os calcários permeáveis e porosos intercalados. Em uma fase seguinte, provavelmente contemporânea ao intenso tectonismo ocorrido no Cretáceo Inferior e manifestação das rochas básicas do derrame Serra Geral, ocorreu a migração secundária através de falhas, fraturas e dique até a acumulação na Formação Pirambóia. Nesses arenitos, a porcentagem de peso do óleo pode chegar até 17%, contendo em media 5,5% de óleo em peso (THOMAS-FILHO, 1982).

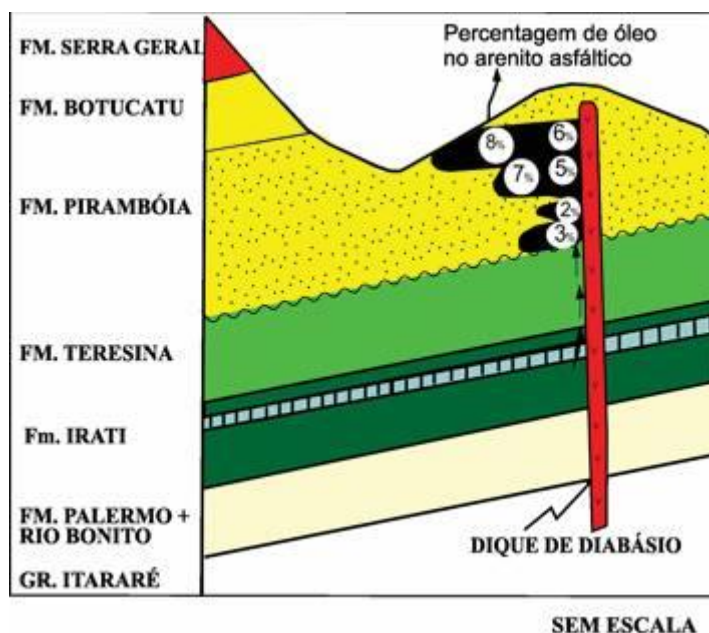


Figura 7: Modelo de migração do óleo da Formação Irati para o arenito reservatório da Formação Pirambóia através de um dique de diabásio na exsudação de Anhembi, Estado de São Paulo (modificado de Thomaz-Filho 1982).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 UNIDADES GEOLÓGICAS

A região de estudo encontra-se situada nos vales dos córregos Água Vermelha e Lavadeiras, no noroeste do Alto Estrutural de Pitanga e abrange uma área aproximada de 15 km². Nesse local, foram realizados reconhecimentos de campo a fim de detalhar as principais feições litológicas e principalmente as estruturas ali presentes. Foi realizado um novo mapeamento com maior detalhe dos contatos e estruturas da região com relação a Sousa (2002), gerando um Mapa Geológico na escala 1:20.000 (Anexo 1). Foram reconhecidos e caracterizados o Grupo Itararé e as formações Tatuí, Irati, Corumbataí e Rio Claro, além de uma falha normal com direção NW-SE que será descrita mais adiante.

Grupo Itararé

O Grupo Itararé encontra-se no sudeste do mapa, representando cerca de 7% da área mapeada. Aflora no leito do Córrego Água Vermelha, alargando sua ocorrência para jusante. Apresenta coloração esbranquiçada, amarelada, ocre e, em poucos locais, avermelhada. São arenitos de granulometria fina a média, com grãos sub-angulares a subarredondados. Apresenta estratificações cruzadas tangenciais na base de pequeno e médio porte (Figura 8) e estratificações acanaladas de pequeno porte.

Nos afloramentos visitados, observou-se que o fraturamento nesse grupo ocorre de forma menos intensa com relação às outras formações, consequentemente mostrando fraturas distantes uma das outras. O contato com a Formação Tatuí é abrupto e facilmente perceptível no relevo, marcado por uma quebra positiva, principalmente na vertente norte no Córrego Água Vermelha.



Figura 8: Arenito com granulometria média, mal selecionado, com grânulos esbranquiçados. Apresenta estratificação cruzada de porte médio, erosão da vertente norte do Córrego Água Vermelha. Grupo Itararé. X:223778 Y:7513425

Formação Tatuí

A Formação Tatuí encontra-se no centro-leste do mapa, aflorando em quase toda a vertente dos córregos Água Vermelha e Lavadeiras, representando cerca de 15% da área mapeada e uma espessura média entre 35-40 metros. Possui a característica de gerar encostas acentuadas em toda a região, sendo que, nas áreas a norte, essa morfologia mostra-se mais evidente. É representada por siltitos e siltitos arenosos de várias colorações, variando desde tons marrons, amarelo-esverdeados, até os esbranquiçados e avermelhados. Foi possível observar nessa região que, da base ao meio da formação, ocorrem siltitos argilosos avermelhados e esbranquiçados; do meio

ao topo, ocorrem siltitos arenosos amarelado-esverdeados, muito parecidos com os descritos por Soares, (1972) (Figura 9).



Figura 9: a: Afloramento na margem do Rio Passa-Cinco de siltitos argilosos avermelhados próximo à base da Formação Tatuí, sob depósitos conclomeráticos recentes do Rio Passa-Cinco. b: Siltitos arenosos esverdeados próximo do topo da formação. a: X:222417 Y:7516969 b: X: 222453 Y:7513937

Na parte superior da formação ocorrem pequenas lentes de arenitos e arenitos conglomeráticos, centimétricas a decimétricas, com granulometria média a grossa e grãos subangulosos. Tais lentes não apresentam estratificações visíveis, possuindo

aspecto maciço. Essas lentes foram motivo de importante observação, descrição e amostragem, pois em dois pontos mostraram poros preenchidos por material negro, interpretado preliminarmente como betume.

O contato basal com o Grupo Itararé é marcado por uma quebra positiva bem definida no relevo. Já no contato com a Formação Irati, aflora a chamada Fácies Ibicatu, um arenito conglomerático com matriz grossa, contendo seixos, escamas e dentes fósseis (Figura 10). Foram estudados quatro pontos onde afloraram tais arenitos, que foram utilizados como nível de correlação para determinar eventuais desníveis entre as formações.



Figura 10: a: Arenito conglomerático da “Fácies Ibicatu”, com matriz grossa e mostrando seixos, escamas e dentes fósseis dispersos (seta vermelha). b: Arenito conglomerático da Fácies Ibicatu com matriz média a grossa e seixos dispersos. a: X: 221561 Y:7514029. b: X:221695 Y:7513902

Formação Irati

A Formação Irati aflora praticamente por toda área de estudo, contornando as principais drenagens que cortam a área. Constitui cerca de 20% do mapa e apresenta espessura entre 20-25 metros. É dividida em dois membros: Membro Taquaral, na parte basal, em contato com a Formação Tatuí, e Membro Assistência, na parte superior, em contato com a Formação Corumbataí.

As rochas do Membro Taquaral são representadas por siltitos argilosos de coloração variada, podendo ocorrer desde cinza-azulados a amarelo-avermelhados. Essa variação de cor ocorre provavelmente devido ao rápido intemperismo que ocorre nesse siltitos. Ocorrem pastilhados em muitos locais, por vezes lembrando verdadeiros folhelhos (Figura 11).



Figura 11: Siltito argiloso cinza-azulado e laminado do Membro Taquaral. Rocha mostrando grande quantidade de fraturas na atitude média de 350/90. X: 221759 Y:7514762

O Membro Assistência é marcado pela intercalação rítmica entre carbonatos, por vezes silicificados, e folhelhos negros betuminosos. Em todos os locais estudados, apresentou nódulos silexíticos com morfologias variadas, centimétricos a decimétricos. O contato com a Formação Corumbataí é abrupto e não se mostra facilmente perceptível no relevo. Foram encontradas duas cavas desativadas de calcário na área, onde foram descritos e amostrados calcários preenchidos com óleo (Figura 12).



Figura 12: a: Calcário intensamente alterado de coloração amarelada, com nódulos de sílex alongados. b: Calcário cinza apresentado pontos com impregnação de óleo em pontos com maior permeabilidade. a: X: 222632 Y:7514031 b: X: 221422 Y: 7513114

Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí aflora na porção centro-leste do mapa, correspondendo à cerca de 15% do mapa geológico e possuindo espessura mínima de 35 metros. A formação é representada por siltitos de coloração arroxeada, por vezes avermelhados, em geral muito laminados e com eventuais intercalações arenosas e argilosas (Figura 13). Encontram-se também siltitos cinza-azulados com estrutura maciça, muito semelhantes aos siltitos da Formação Serra Alta descritos no sul do Brasil.



Figura 13: a: Siltito alterado de coloração cinza contendo laminações. b: Detalhe do mesmo siltito, evidenciando a coloração amarelada e as laminações presentes nos mesmos. X:220951 Y:7514199

O contato basal com a Formação Irati é abrupto e marcado pela ocorrência de arenitos finos repletos de fósseis de xenacantiformes, mostrando morfologia ovalada e dimensões milimétricas.

Diques Associados

No oeste da área, ocorre um dique de diabásio, com direção NW-SE que corta a Formação Corumbataí e é truncada pela Formação Rio Claro. Apresenta-se bastante alterado, com coloração arroxeada-avermelhada e possuindo por volta de 1,5 metros de espessura (figura 14). O dique ocorre em uma falha, mostrando estrias verticais e brechas no interior do mesmo, em seu contato com a Formação Corumbataí. Nesse afloramento, ocorre uma linha de laterita na Formação Rio Claro, resultante provavelmente da alteração e remobilização de ferro originado do dique de diabásio.

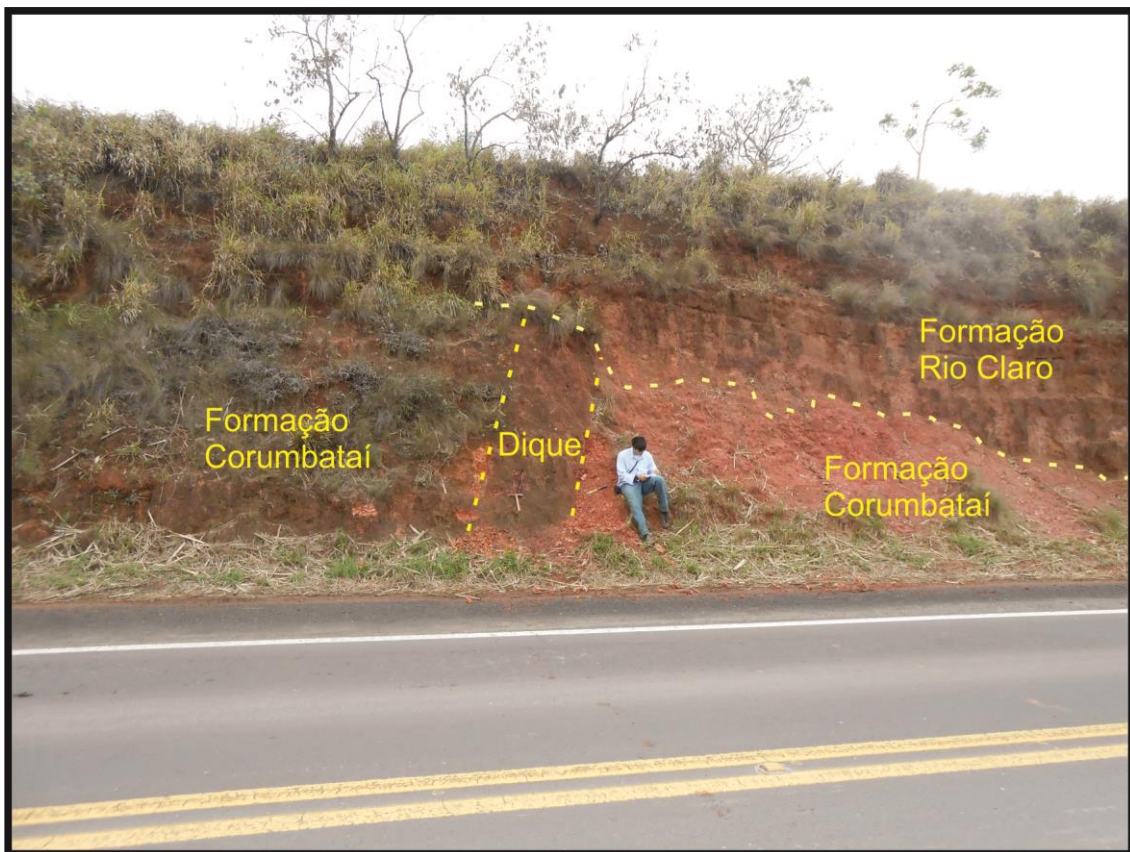


Figura 14: Afloramento na Rodovia SP-191 com ocorrência de dique de diabásio, em contato com as formações Corumbataí e Rio Claro. Esse dique ocorre em uma falha, mostrando brechas e estrias nos contatos. X:219966 Y:7514125

Formação Rio Claro

A Formação Rio Claro aflora praticamente em todos os platôs da área mapeada, sobrepondo principalmente depósitos da Formação Corumbataí e da Formação Irati. Ocupa por volta de 38% do mapa, apresentando-se de forma discordante (contatos erosivos) em relação às outras formações e mostrando-se frequentemente marcada por níveis de seixos (Figura 15). É representada por arenitos inconsolidados, avermelhados e mal selecionados, geralmente acompanhados de pequenas fácies siltosas e argilosas

subordinadas. A coloração e a presença de níveis seixosos na base facilitam sua identificação na área, além da ocorrência de lateritas ferruginosas em alguns pontos.



Figura 15: Afloramento da Formação Rio Claro em contato com a Formação Tatuí. Detalha na linha de cascalhos, feição característica do contato basal da Formação Rio Claro. X:223843 Y:7515514

Estruturas e Seções Geológicas

A região do Alto Estrutural de Pitanga encontra-se encaixada no vale do rio Corumbataí e mostra grandes diferenças geomorfológicas das bordas para o centro da estrutura. Por ser uma região extremamente fraturada, as drenagens normalmente possuem direções paralelas às fraturas. Nas zonas de falhas, tais diferenças tornam-se mais evidentes, e grande parte das drenagens lineares encontra-se encaixada em uma ou mais zonas de falhas, quase sempre evidenciando grandes lineamentos. Isso ocorre com o rio Passa-Cinco, que encontram-se encaixadas ao longo as falhas do Sistema Passa-Cinco Cabeças e condicionam as direções do rio. Já em outros locais, essas evidências não mostram-se tão nitidamente reconhecíveis.

Na região estudada, no vale do Córrego Água Vermelha e do Córrego das Lavadeiras, as feições de relevo mostram-se levemente diferentes das zonas de falha a norte. Normalmente, as principais drenagens da área possuem direções N20W à N40W, paralelas a uma das direções preferencias de fraturas (figura 16). No entanto, no

Córrego Água Vermelha essas feições não são observadas, já que o Córrego mostra direção por volta de E-W até a confluência com o Córrego das Lavadeiras, de direção N30W. A partir desse ponto, tal direção se altera gradativamente até se manter relativamente constante em direções por volta de N20W.



Figura 16: Afloramento do Membro Assistência intensamente fraturado. Atentar às direções principais de fraturas, NW e NE, que se repetem em todos os afloramentos da região. X:220951 Y:7514199

Nas etapas de campo, foram utilizadas como parâmetros de comparação as cotas de contato da Formação Tatuí e Formação Irati, onde se encontra a Fácies Ibicatu (Figura 17). Foram descritos seis locais onde afloram essas camadas, sendo um deles fora da área de detalhe para o presente estudo.

Ao redor do Córrego das Lavadeiras, de norte a sul, foi observado uma constante diferença altimétrica nos contatos das formações Tatuí e Irati. Próximo à confluência entre os dois córregos foram realizadas descrições de três afloramentos da Fácies Ibicatu, distanciados cerca de 500 metros uns dos outros.



Figura 17: Pequena queda de água no leito do Córrego Água Vermelha, onde aflora a “Fácies Ibicatu”, contato entre as formações Tatuí e Irati e correspondente ao *datum* utilizado para comparação. X: 221561 Y: 7514029

Dois desses pontos foram descritos nos leitos dos córregos (sendo um em cada córrego), localizados no centro-oeste do mapa, e o outro foi observado no topo da vertente norte do Córrego da Água Vermelha, localizado no centro-leste do mapa. A diferença altimétrica entre os dois pontos a oeste e o ponto a leste é de cerca de 20-25 metros e, além disso, todos os dados de contatos de outras formações mostram mudanças altimétricas em margens opostas do Córrego das Lavadeiras, implicando assim a ocorrência de falha no local.

Outra informação que indica a ocorrência de falha é a presença de blocos de sílex angulosos e centimétricos, típicos do topo da Formação Tatuí no leito do Córrego das Lavadeiras, em local onde aflora o Membro Taquaral. Nessa situação, a presença de uma falha indicaria que a Formação Tatuí esteve topograficamente acima da Formação Irati, possibilitando que esses blocos de sílex da Formação Tatuí fossem erodidos e transportados, do bloco alto para o bloco baixo, até o leito, onde aflora o Membro Taquaral. A Figura 18, esquemática, explica, através de falha, a ocorrência de blocos de sílex no leito do Córrego das Lavadeiras.

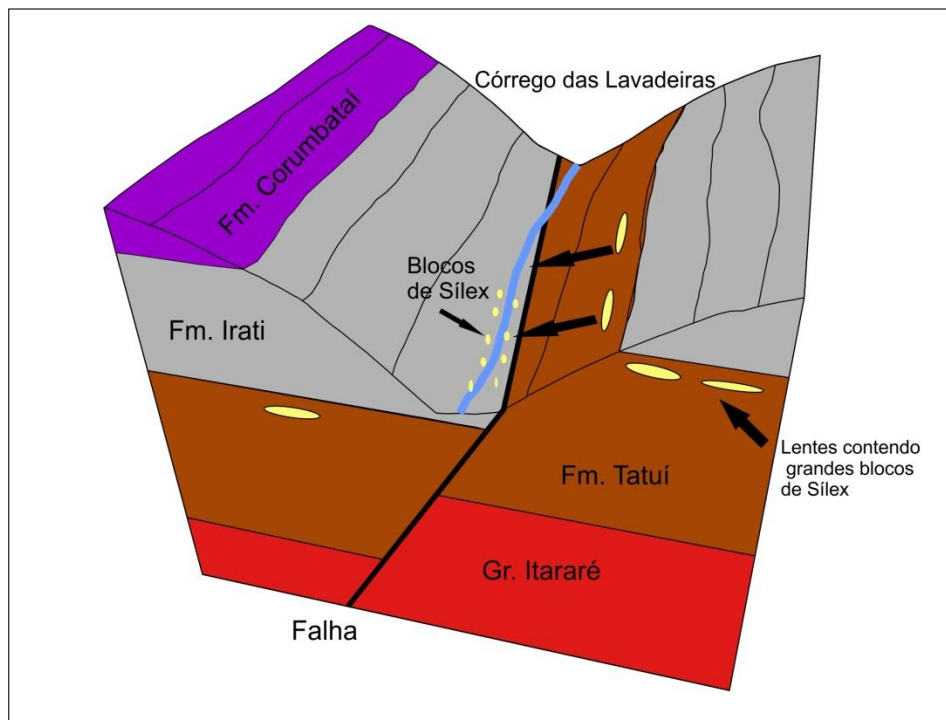


Figura 18: Bloco diagrama esquemático mostrando o transporte dos sedimentos erodidos da Formação Tatuí (apresentando inclusive grandes blocos de sílex) para o leito do córrego onde aflora o Membro Taquaral da Formação Irati.

A partir da análise desses dados, foi traçada uma falha normal com direção N25W, mergulho de 60° para sudoeste e com rejeito vertical variando de 20 a 25 metros no lineamento do Córrego das Lavadeiras, ajustando-se a todos os pontos coletados com perfeição.

A situação descrita acima origina uma configuração de bloco alto a nordeste e bloco baixo a sudoeste, colocando em alguns pontos a Formação Tatuí em contato direto com a Formação Irati e esta em contato lateral com a Formação Corumbataí. Os três perfis NE/SW realizados no Anexo 1 exibem essa situação.

A partir do Mapa Geológico 1:20.000 (Anexo 1) foi realizada a implantação e deste mesmo mapa no Mapa Geológico Regional realizado por Sousa (2002), modificando e detalhando os contatos e as estruturas presente da região noroeste do Alto Estrutural de Pitanga (Anexo 2).

6.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

As estruturas rúpteis encontradas no noroeste do Alto Estrutural de Pitanga correspondem a planos de fraturas, planos de falhas, estrias, brechas e pequenos arqueamentos de camadas. Tais estruturas são responsáveis pelo alçamento e basculamento de blocos e consequentemente pela existência de unidades litoestratigráficas mais antigas ao lado ou acima de outras mais jovens. Nessa região, as falhas são normais, conforme demonstrado pelas estrias encontradas nos planos de falhas. Essas estruturas foram devidamente descritas e caracterizadas com o intuito de obter um maior detalhe acerca dos eventos tectônicos e cinemáticos que se fizeram presentes no local, bem como correlacioná-las com os dados obtidos pelo trabalho de Sousa (2002).

Para caracterizar o padrão de fraturamento local, foram coletadas 158 medidas de fraturas e juntas em trabalho de campo. As fraturas medidas mostraram-se sub-verticais, com mergulhos variando entre 90° a 75° , e apresentaram quatro direções preferenciais, N35W, N60W, N45E e outra N70E, sendo que as fraturas NW são mais numerosas. São apresentadas nos estereogramas abaixo todas as medidas de fraturas e juntas obtidas (Figura 19).

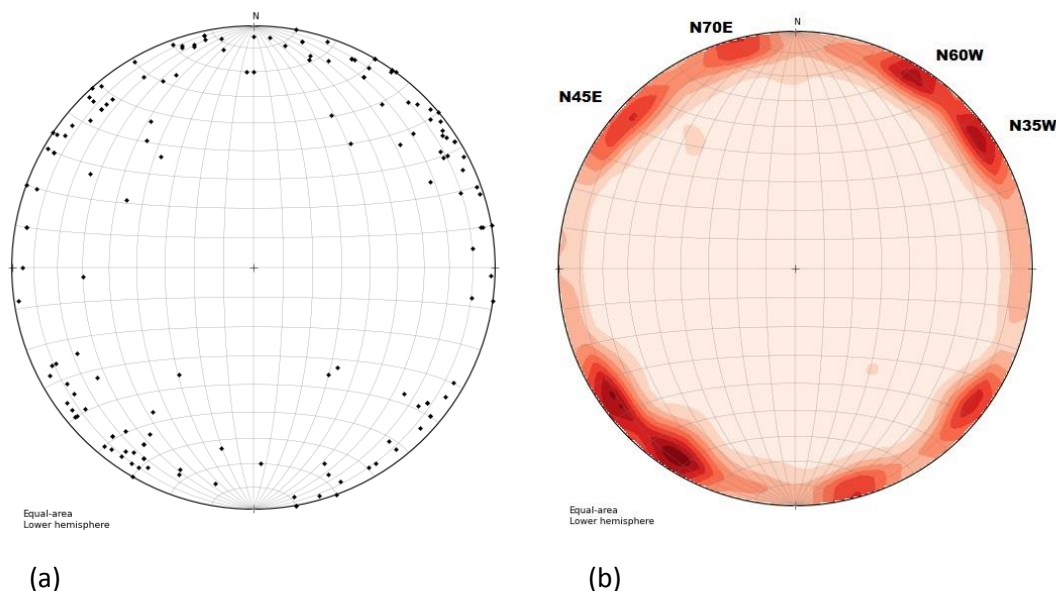


Figura 19: (a) Estereograma contendo as 158 medidas de polos dos planos de fraturas. (b) Estereograma de contorno evidenciando quatro direções principais de fraturas, duas NW-SE, NE-SW e ENE/WSW.

Os dados de fraturas e juntas coletados no noroeste do Alto Estrutural de Pitanga são correspondentes aos dados de faturamento regional do sistema Passa-Cinco Cabeças obtidos por Sousa (2002). Nesse local, a direção principal corresponde à fraturas com direções preferenciais NW e secundariamente direções NE.

As falhas normais que ocorrem na região foram descritas principalmente em cortes de estrada da Rodovia SP-191, bem como em afloramentos dispersos pela área de estudo, os quais mostram estruturas de menor escala. Algumas destas falhas mostram indícios de deslocamento (abatimento dos blocos) e outras são identificadas apenas devido a planos estriados. Foram coletadas 25 medidas de planos de falha, divididas em dois grupos: um grupo com direções NW/SE e outro NE/SW.

SISTEMAS DE FALHAS NW

As falhas com direção NW são as mais importantes da região, pois marcam todas as grandes falhas normais do Sistema Passa-Cinco Cabeças, que por sua vez limitam o Alto Estrutural de Pitanga a norte. Quanto à geomorfologia das áreas de ocorrência desse sistema notam-se grandes alinhamentos de drenagens e de relevo marcado por escarpas, confluências e inflexões de drenagens. Essas falhas e planos de falhas foram colocados em um mesmo sistema, pois devem pertencer a um mesmo pulso deformacional. Normalmente apresentam direções variando de N20W a N40W e com mergulhos de em média 60°. Foram coletadas 15 medidas de planos de falha com direções NW e 8 medidas de estrias, sendo que todas possuem rumos com mesma inclinação dos mergulhos dos planos. Na Figura 20 abaixo são expostos os planos de falhas e estrias nos estereogramas, com direções NW.

A análise cinemática é apresentada para os dois conjunto de falhas, a partir dos estereogramas elaborados através do software WinTensor. Para as falhas com direções NW-SE que foram coletadas medidas em conjugados de falhas e principalmente em fraturas de cisalhamento, o resultado indica o posicionamento de σ_1 com atitude de 357/69, σ_2 aproximadamente N38W subhorizontal e σ_3 N55E sub-horizontal (Figura 21).

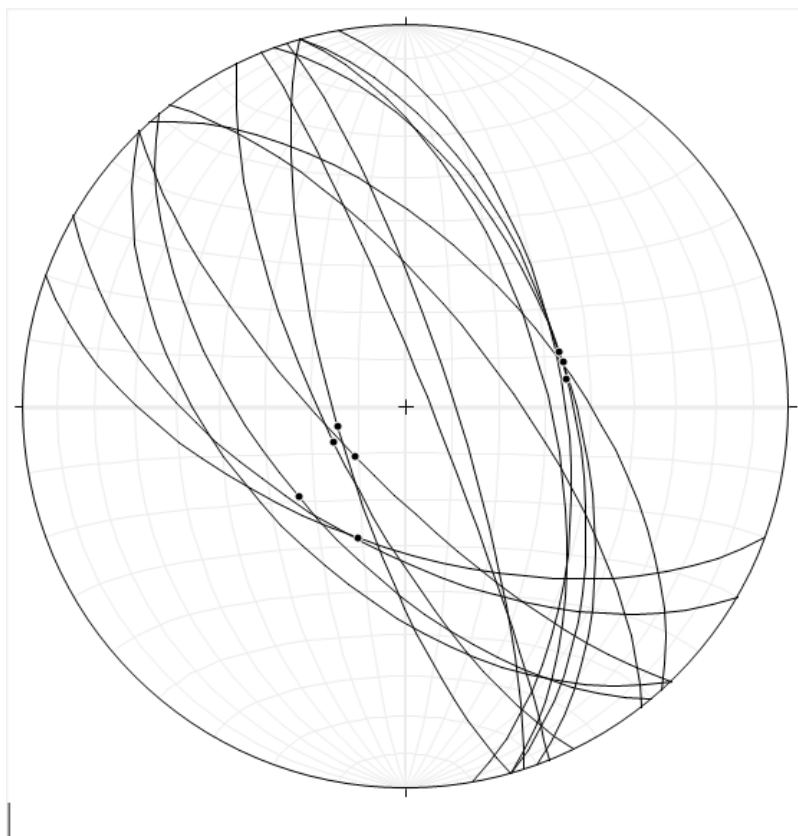


Figura 20: Estereograma exibindo as 15 medidas de planos de falhas com direção NW obtidas e as estrias de mergulho (representadas pelos pontos) em 4 afloramentos.

Tal situação aponta para distensão com direção NE-SW na época de formação destas falhas, o que pode ter sido responsável pela colocação dos diques de diabásio nas falhas normais NW.

No corte de estrada da Rodovia SP-191, foi possível a identificação de algumas zonas de falhas com direções NW, que mostraram estruturas variadas em diversas escalas. Nesse local, próximo a uma falha com direção NW, verificou-se a presença de um arqueamento gradual das camadas de calcário da Formação Irati, que tendem a uma maior inclinação próximo à falha, podendo alcançar até cerca de 25° (Figura 22). Essas camadas mostram-se truncadas por um dique de diabásio que preenche a falha.

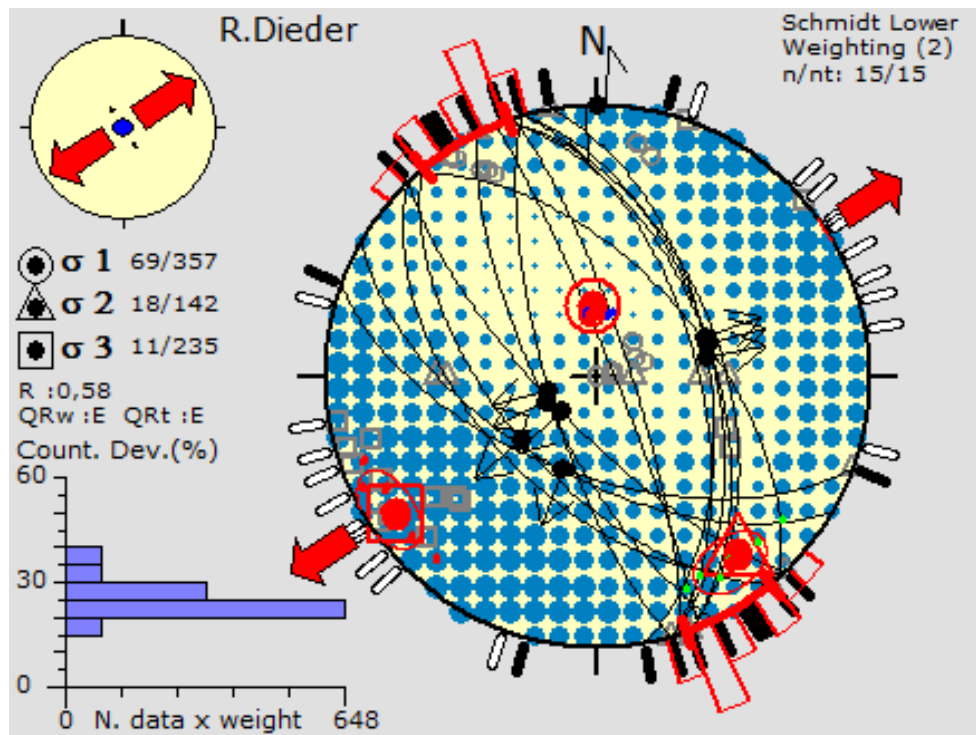


Figura 21: Estereograma apresentando a direção de distensão, aproximadamente N55E (setas vermelhas) e o posicionamento de σ_1 , σ_2 e σ_3 357/69, 142/18 e 235/11, respectivamente.



Figura 22: Camadas de calcário com atitude de 60/25, muito próximas da falha preenchida por diabásio.
X: 222730 Y: 7517329

Ao longo da Rodovia SP-191, cerca de 50 metros distantes do dique citado acima ocorre outra falha com direção N20W e mergulho de 55° para SW, que coloca a Formação Tatuí ao lado da Formação Irati (Mb. Taquaral) (Figura 23). No mesmo corte de estrada, por volta de 70 metros de distância dessa última, ocorre outra zona de falha, que evidencia um par conjugado responsável por deslocar lentes de arenitos da Formação Tatuí, inclinando-as, em média 20°. Pequenas falhas normais localizadas próximas às principais foram interpretadas como falhas de acomodação (Figura 24).

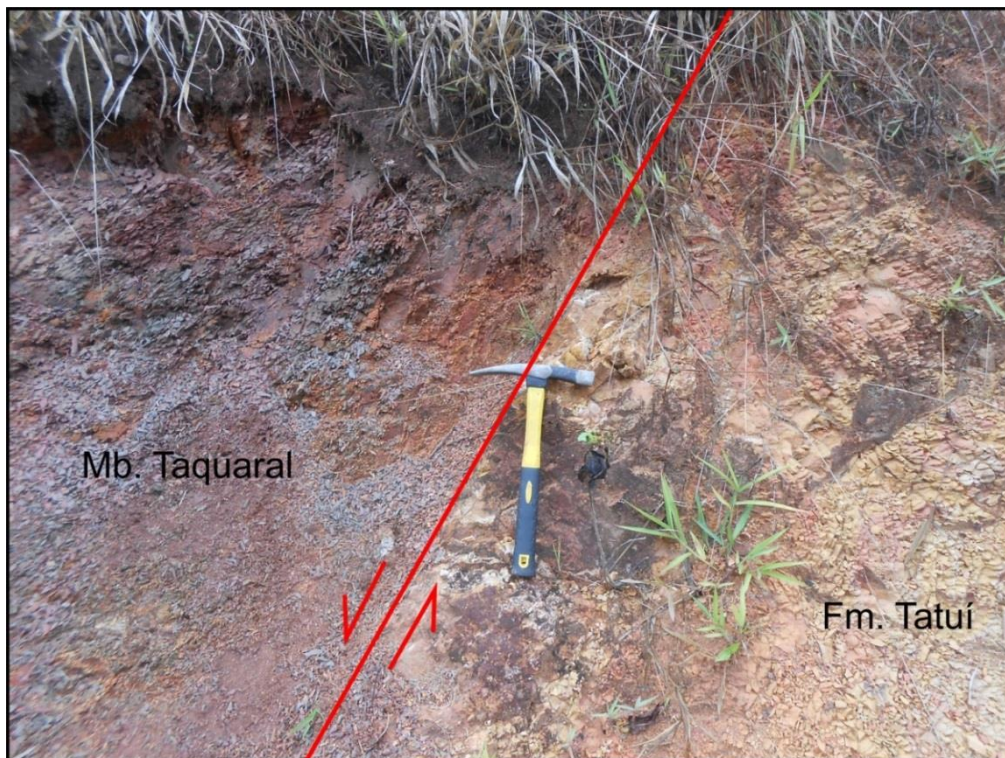


Figura 23: Falha Normal com atitude 70/55, que coloca o Mb. Taquaral da Formação Irati em contato com a Formação Tatuí. X: 222730 Y: 7517329



Figura 24: Pequenas falhas normais interpretadas como de acomodação, limitadas pela falha principal à esquerda. X: 222730 Y: 7517329

Todas essas estruturas com direções NW foram observadas em uma sequência de afloramentos localizada em cortes de estrada da Rodovia SP-191, com extensão média de 200 metros (Figura 25).

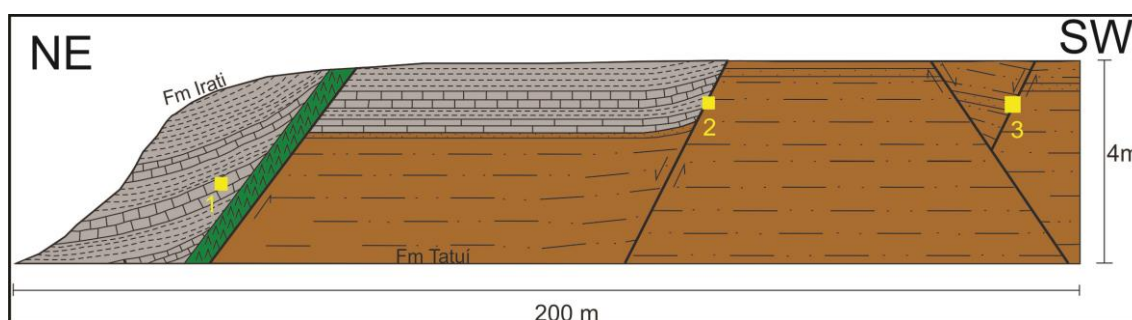


Figura 25: Desenho esquemático mostrando a sequência de afloramentos no corte de estrada da Rodovia SP-191 KM . Os locais em amarelo correspondem aos locais onde se inserem, respectivamente, as figuras 22, 23 e 24.

Na mesma rodovia, 4 km a sul dos pontos acima descritos, foi descrita outra falha preenchida por dique de diabásio e que intercepta a Formação Corumbataí. Não foi possível caracterizar sua extensão por meio de imagens aéreas ou por dados de campo, sendo descrita somente nesse local. O dique apresenta espessura média de 1,5

metros, mostrando direção N30W e mergulho subvertical. Em ambos os contatos laterais com a Formação Corumbataí, foi identificada a presença de estruturas rúpteis, sendo que de um lado ocorre planos com estrias verticais bem evidentes (Figura 26) e de outro uma brecha de contato (Figura 27). Na região interna do dique, foram identificadas pequenas falhas com direção semelhante a da falha de contato, mostrando, no entanto um mergulho de 60°.

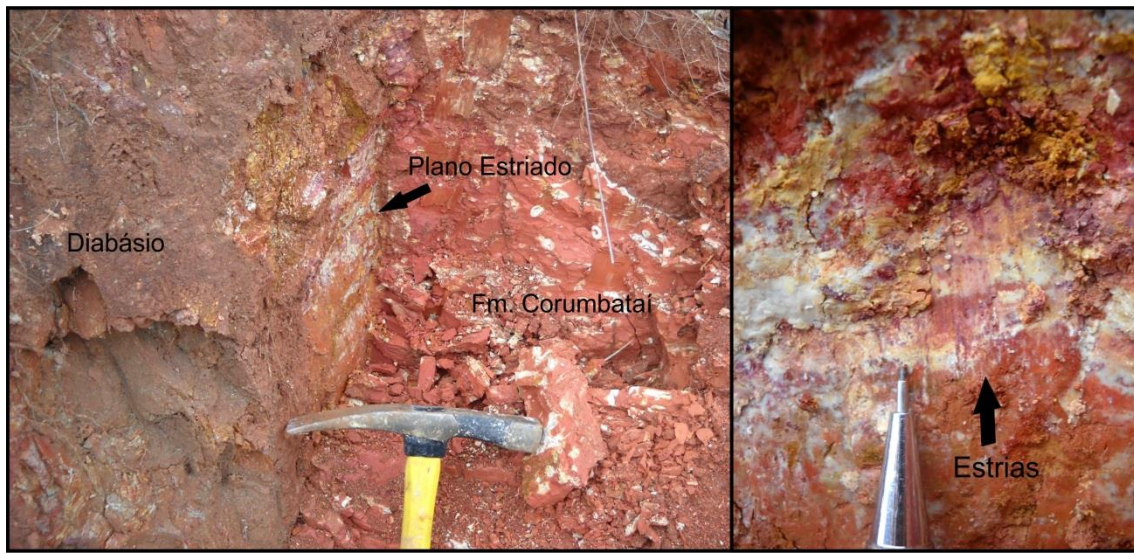


Figura 26: Fotos mostrando o plano de falha (72/82) presente no contato entre o dique de diabásio e a Formação Corumbataí, com destaque para as estrias identificadas no plano. X: 219966 Y: 7514125

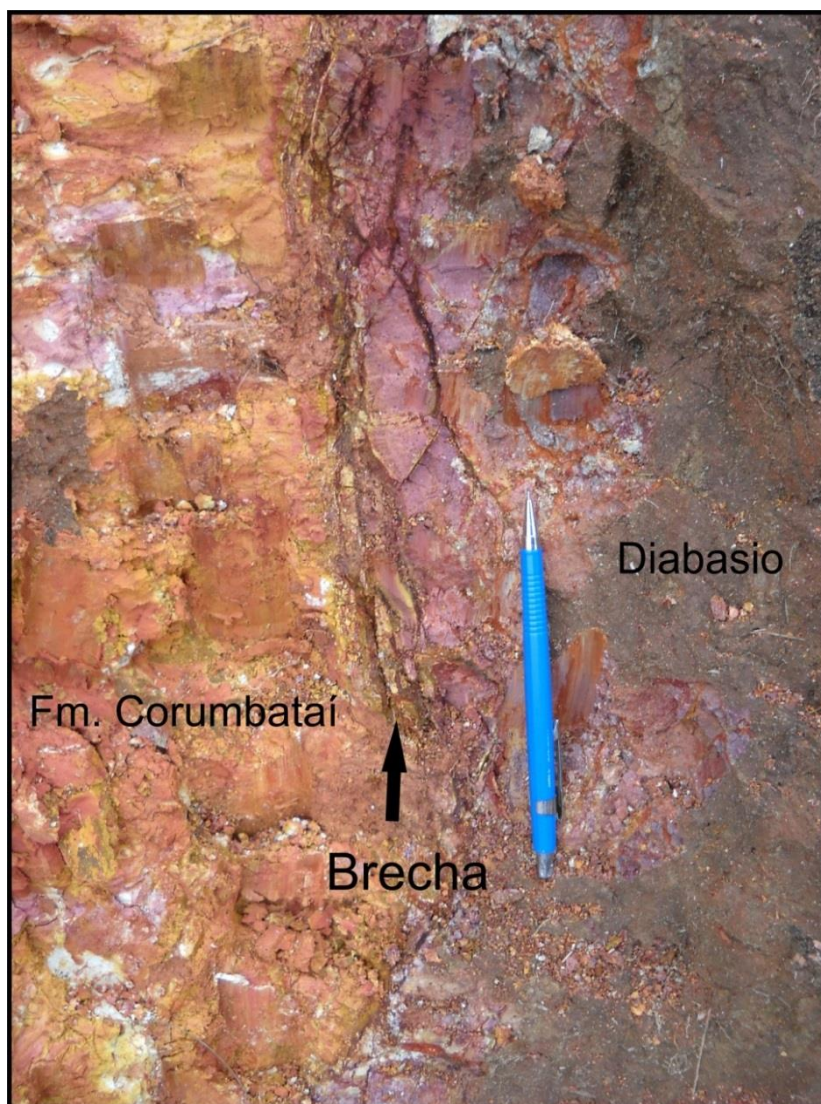


Figura 27: Foto mostrando brecha de contato (50/82), localizada no contato entre o dique de diabásio e a Formação Corumbataí. X: 219966 Y: 7514125

SISTEMAS DE FALHAS NE

As falhas com direção NE mostram-se menos evidentes na área de estudo em relação às NW, pois foram identificadas somente em alguns afloramentos, nos quais são caracterizadas por pequenas falhas e planos estriados. Essas falhas e planos de falhas foram colocados em um mesmo sistema, pois devem pertencer a um mesmo pulso deformacional e apresentam direções que variam de N20E a N50E, com mergulhos médios de 60°. Foram coletadas 10 medidas de planos de falha e 9 medidas de estrias nesses planos, sendo que as estrias apresentam rumos com mesma inclinação em relação aos mergulhos dos planos. No estereograma da Figura 28 abaixo, encontram-se ilustrados os planos de falhas e estrias identificados com direções NE.

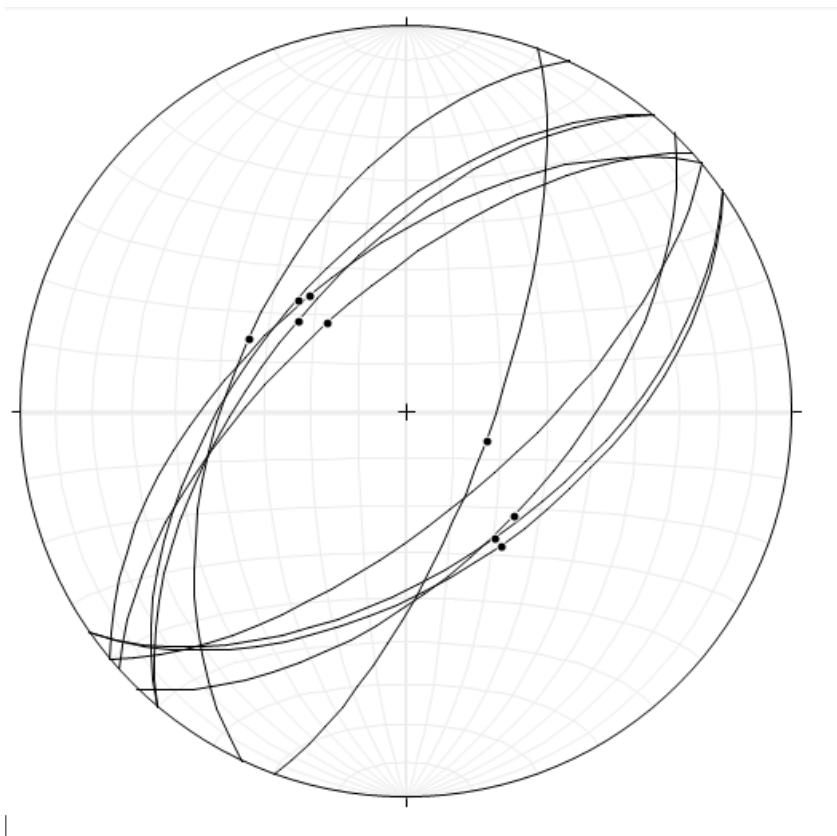


Figura 28: Estereograma exibindo 10 medidas de planos de falhas com direção NE e 9 estrias de mergulho (representadas pelos pontos).

A análise cinemática é apresentada para o conjunto de falhas NE, a partir dos estereogramas elaborados por meio do software WinTensor. Para as falhas com direções NE, o resultado indica o posicionamento de σ_1 subvertical, σ_2 subhorizontal com direções próximas a N12E e σ_3 subhorizontal com direção aproximada de N78W (figura 29). Tais dados apontam para distensões NW-SE na época de formação destas falhas. Por não apresentarem diabásio preenchido essas falhas provavelmente são mais jovens que as falhas com direções NW-SE.

Em local próximo à ponte da Rodovia SP-191, ao longo de cerca de 50 metros no leito do Rio Passa-Cinco, foram descritos siltitos avermelhados da Formação Tatuí contendo planos de falhas estriados com direção NE e estrias de mergulho. Em alguns locais, as estrias de falha apresentaram-se mais visíveis, provavelmente em função de sua cor de alteração, os quais propiciaram a coleta de medidas das mesmas (figuras 30 e 31).

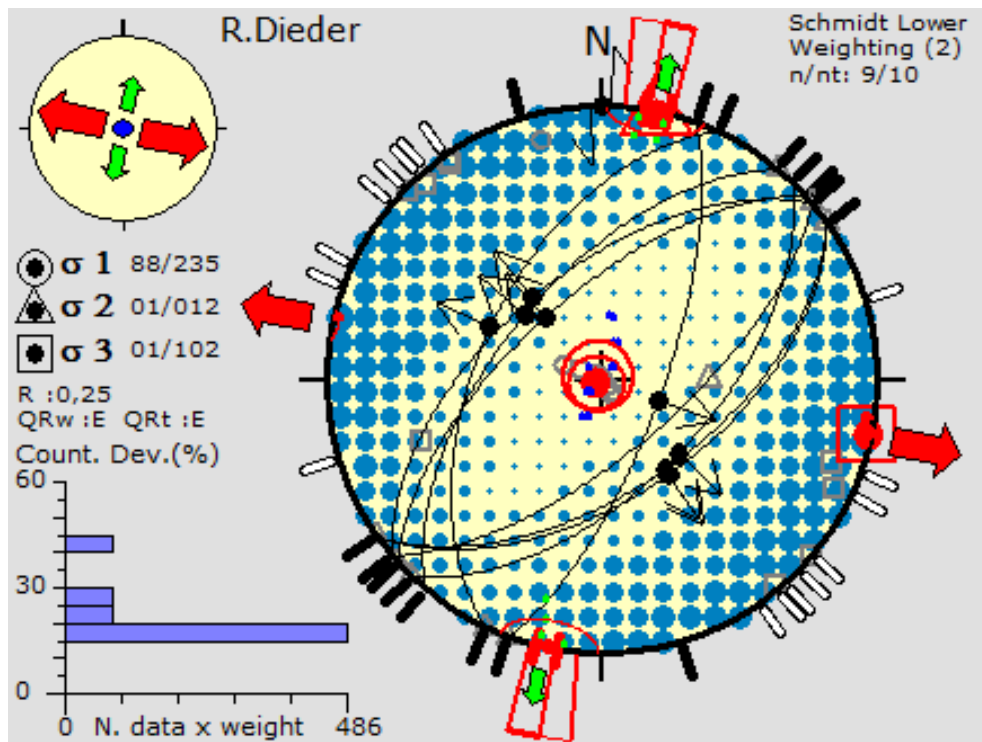


Figura 29: Estereograma apresentando a direção de distensão, aproximadamente N78W (setas vermelhas) e o posicionamento de σ_1 , σ_2 e σ_3 235/88, 12/01 e 102/01, respectivamente.



Figura 30: Fotos mostrando planos estriados (318/65) em siltitos avermelhados da Formação Tatuí.
X: 222417 Y: 7516969



Figura 31: Estrias de falhas (318/65) que ocorrem em planos de falha na Formação Tatuí, no leito do Rio Passa-Cinco. X: 222417 Y: 7516969

6.3 HIDROCARBONETOS NA FORMAÇÃO IRATI

Desde os primeiros estudos da Formação Irati, são frequentes as descrições de folhelhos geradores de hidrocarbonetos (HC), que ocorrem principalmente associados às rochas básicas da Bacia do Paraná. Na região central do Alto Estrutural de Pitanga, a sul do Córrego da Água Vermelha, esse tipo de ocorrência de HC foi observado e descrito. Em uma cava abandonada de calcário, foram identificadas rochas do Membro Assistência, calcários intercalados com folhelhos negros, apresentando grande quantidade de nódulos de sílex. Essas rochas mostravam pequenas e grandes fraturas contendo impregnações de HC, sendo que em alguns locais o HC ocorre em poucos poros relacionados à permeabilidade dos calcários. Tais amostras foram coletadas para análise do HC nelas contido (Figura 32).



Figura 32: (a) Amostras de calcário com concreções de sílex do Membro Assistência, preenchidas por óleo em pequenas fraturas. (b) Grande fratura impregnada com HC. (c) e (d) Pequenas fraturas com cerca de 2 centímetros, preenchidas por HC, assemelhando-se a fraturas de distensão (*Tension Gashes*). X: 220873 Y: 7514097

As amostras coletadas apresentam um padrão de pequenas fraturas paralelas, com no máximo 2 centímetros de comprimento, e que mostram geometria lenticular. Essas fraturas ocorrem perpendicularmente às fraturas principais e encontram-se quase sempre preenchidas por HC, assemelhando-se por vezes a fraturas de extensão (*Tension Gashes*).

6.4 AMOSTRAGENS DE ARENITOS PREENCHIDOS

No vale do Córrego Água Vermelha, mais especificamente na vertente norte do córrego, foram coletadas amostras de arenitos da Formação Tatuí impregnados com um material aparentemente asfáltico. No topo dessa formação, normalmente são encontrados siltitos arenosos de coloração amarelada e esverdeada, embora em alguns locais do Alto Estrutural de Pitanga, possam ser encontradas lentes areníticas de

diferentes espessuras, centimétricas a decimétricas, com pouca continuidade lateral. Nessas lentes, a variação de granulometria é marcante: enquanto que algumas lentes possuem matriz média à fina, outras apresentam matriz média a grossa, muitas vezes relacionadas a arenitos conglomeráticos contendo seixos de sílex. Algumas dessas lentes apresentam material asfáltico impregnado nos vazios da rocha, embora esse preenchimento não necessariamente ocorra em outras camadas próximas a essas. (Figura 33).

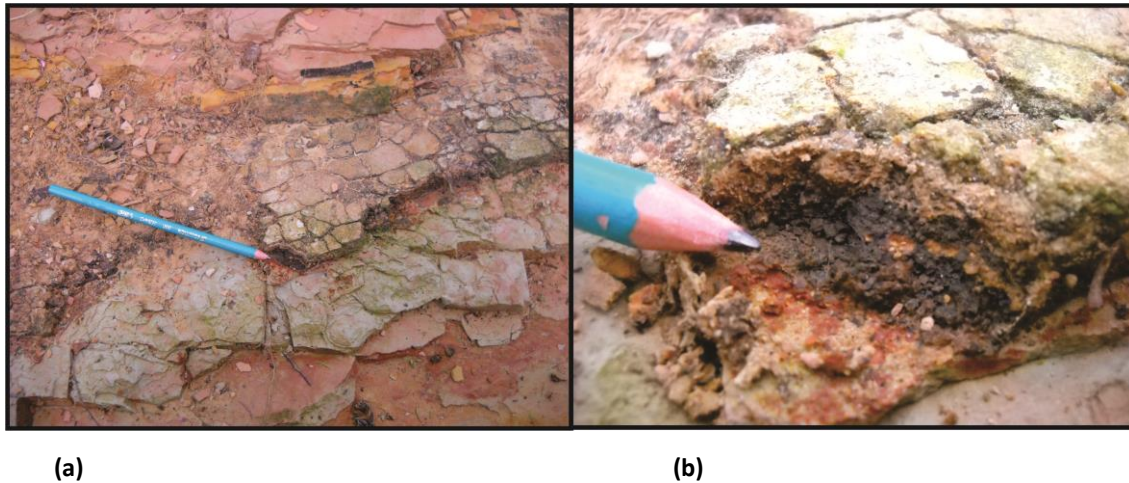


Figura 33: (a) Foto mostrando lente de arenito com matriz de areia média, com 2 cm de espessura, entre pacotes de siltitos. (b) Foto evidenciando presença de material asfáltico nos poros da rocha. X: 22453 Y: 7513937

No mesmo local, além desses arenitos impregnados, algumas fraturas nos arenitos e siltitos da Formação Tatuí apresentaram-se preenchidas. Essas fraturas preenchidas se repetem na vertente sul do Córrego Água Vermelha, embora nesse local as fraturas preenchidas ocorram nos calcários e folhelhos da Formação Irati (Figura 16). O padrão regional de faturamento com direções NW-SE e NE-SW se repete em todos os afloramentos da região, embora tenha sido possível identificar que o preenchimento por material asfáltico ocorre somente nas fraturas com direções NW-SE (Figura 34), assemelhando-se com o quadro dos diques de diabásio.

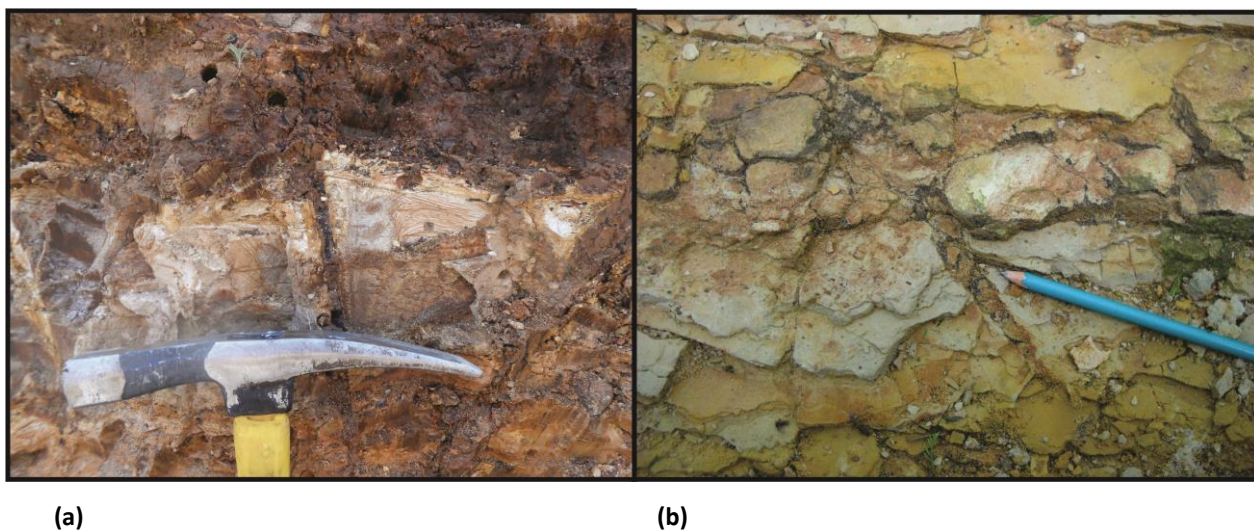


Figura 34: (a) Calcário do Membro Assistência com Fratura preenchida por material negro. (b) Camada de siltito e lentes de arenito grosso com fraturas NW-SE preenchidas por material negro. a: X: 220951 Y: 7514199 b: X: 22453 Y: 7513937

Nas falhas do Sistema Passa-Cinco Cabeças descritas por Sousa (2002), na porção norte de Ipeúna, também ocorrem camadas de arenitos da Formação Tatuí e arenitos conglomeráticos da “Fácies Ibicatu” impregnados com HC (figura 35), além de uma ocorrência de dique de diabásio no local.



Figura 35: Arenito médio a fino da Formação Tatuí com intercalação de camadas com diferentes porosidades, gerando essa feição mostrando pequenas camadas negras e brancas. X: 221695 Y: 7513903

6.5 ANÁLISES DE CALCINAÇÃO

Nas etapas de campo foram coletadas amostras de interesse para o presente trabalho, rochas que apresentavam feições incomuns ou com preenchimento dos poros. Dessas amostras, foram selecionadas lentes areníticas do topo da Formação Tatuí de diferentes pontos da região, todas elas contendo material negro preenchendo os poros e fraturas. Essas amostras foram documentadas para serem posteriormente analisadas pelo processo de calcinação, que consiste na queima do material em uma estufa durante um determinado tempo, a fim de se comparar os pesos iniciais e finais das amostras e, assim, calcular a quantidade de matéria orgânica contida nas mesmas.

Foi realizada a calcinação de cinco amostras de arenitos da Formação Tatuí, três delas retiradas da vertente norte do Córrego Água Vermelha (LH-1), correspondendo a arenitos conglomeráticos maciços, com matriz média a grossa, subangulosas a subarredondadas, com grãos de seixos e outras duas do corte de estrada da Rodovia SP-191 (LH-20), sendo arenitos maciços com granulometria fina e grãos subangulosos. Em ambos os locais, essas lentes areníticas ocorrem próximas a falhas que colocam a Formação Irati ao lado e/ou abaixo da Formação Tatuí, sendo que no afloramento da Rodovia SP-191 foi possível a identificação de um dique de diabásio próximo ao local de amostragem. Das cinco amostras coletadas, quatro continham material preenchido nos poros e apenas uma possuía o material nas fraturas (LH1b) (Figura 36).

Primeiramente, as amostras foram selecionadas, pesadas (balança de precisão) e desagregadas para aumentar a superfície de contato e melhorar a queima de todo o material (Figura 37). As cinco amostras foram colocadas em uma primeira estufa de secagem a 95° C durante quatro horas, para que toda a umidade nelas contida fosse retirada.

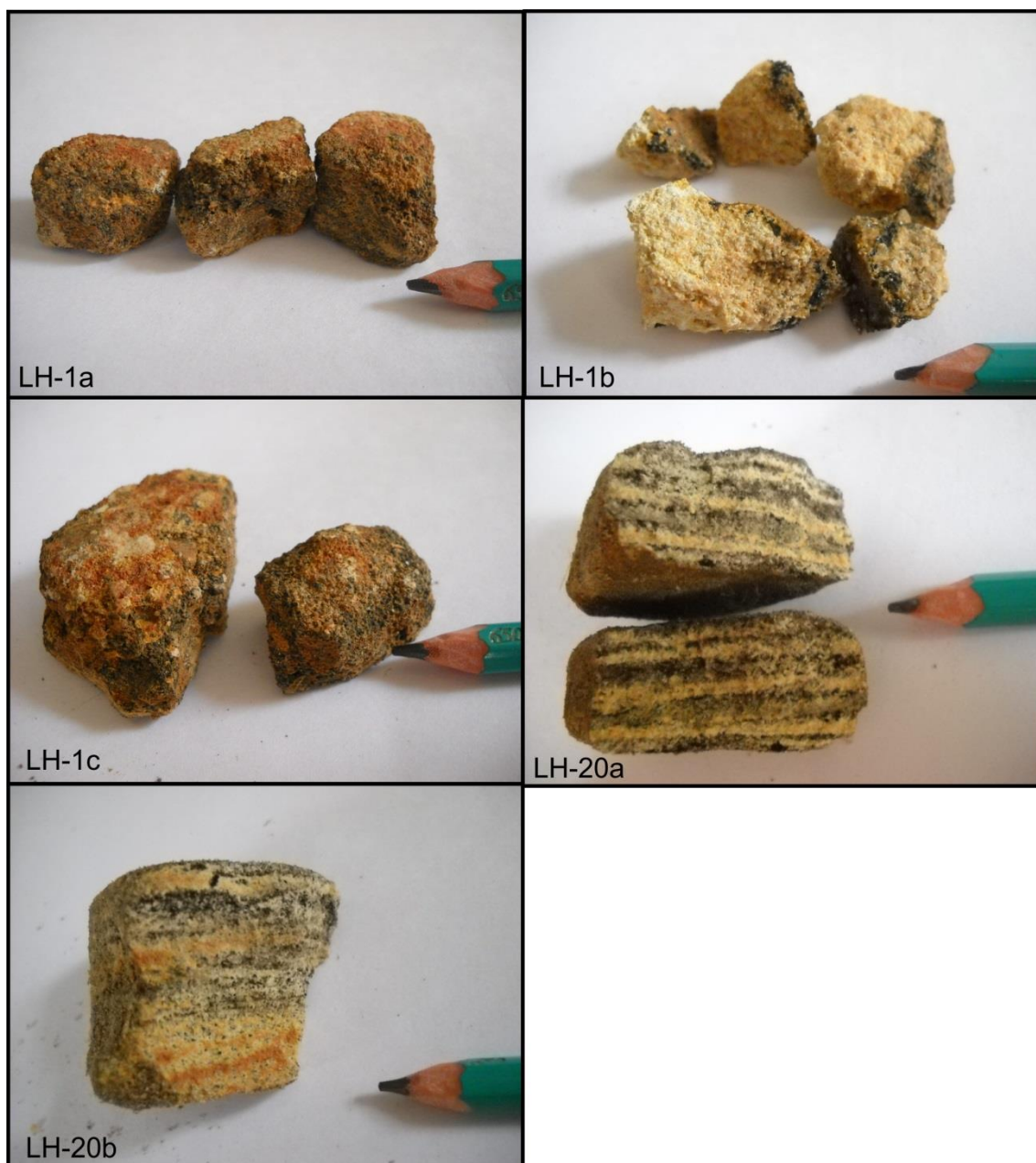


Figura 36: LH-1a: Lente de arenito de granulometria média a grossa com impregnação de material negro nos poros. LH-1b: Lente de Arenito de granulometria grossa que apresenta material negro nas fraturas. LH-1c: Lente de arenito de granulometria média a grossa com impregnação de material negro nos poros. LH-20a: Lente de arenito de granulometria fina mostrando locais com maior permeabilidade (lentes escuras, com impregnação) e locais com menor permeabilidade (lentes brancas sem impregnação) LH-20b: Lente de arenito de granulometria fina mostrando locais com maior permeabilidade (lentes escuras, com impregnação) e locais com menor permeabilidade (lentes brancas sem impregnação). Essa amostra apresenta lentes avermelhadas de óxido de ferro.

Após esse processo, as amostras foram pesadas novamente e colocadas em uma segunda estufa. Esse segundo processo ocorreu a uma temperatura de 500° C e durante 120 minutos, a uma taxa aumento de 25° C/min, tempo e temperatura suficientes para a

queima total de toda a matéria orgânica presente. O intervalo de tempo entre a pesagem inicial e a final foi de 26 horas.

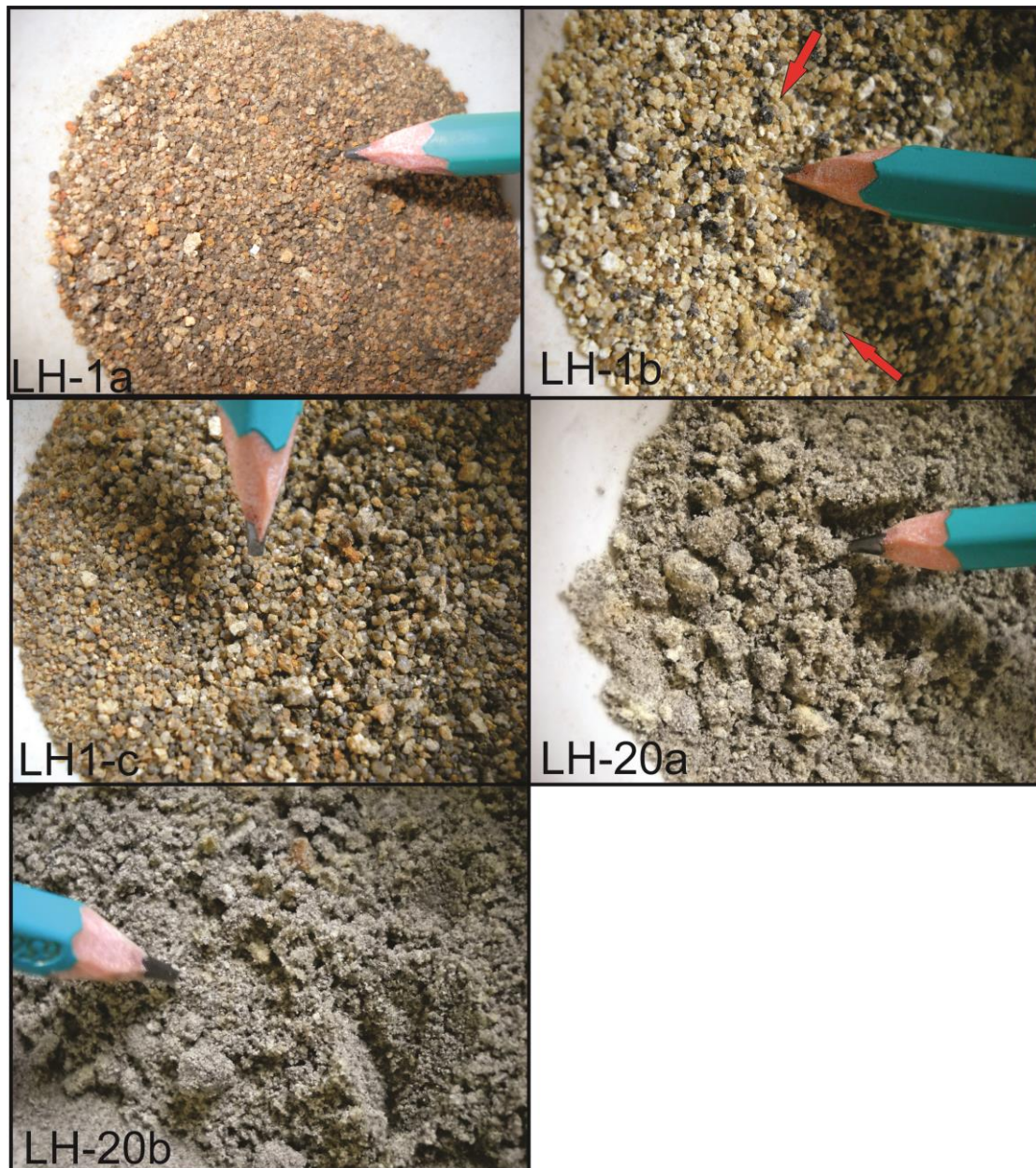


Figura 37: LH-1a: Amostra desagregada apresentando grande quantidade grãos de quartzo impregnados. LH-1b: Amostra desagregada apresentando grãos inteiramente negros (setas em vermelho), diferentemente das outras amostras. LH-1c: Amostra desagregada apresentando grande quantidade grãos de quartzo impregnados. LH-20a: Amostra desagregada apresentando granulometria fina, coloração cinza e grande quantidade de umidade. LH-20b: Amostra desagregada apresentando granulometria fina, coloração cinza e grande quantidade de umidade.

A tabela 1 a seguir apresenta os pesos iniciais, os pesos obtidos após a retirada da umidade, os percentuais de umidade, o peso após a calcinação e o percentual dos pesos após a calcinação.

Amostras	Peso Inicial (g)	Peso sem umidade (g)	Porcentagem de umidade (%)	Peso após calcinação (g)	Porcentagem de perda M.O (%)
LH-1 a	19,309	19,024	1,47	18,887	0,72
LH-1 b	21,711	21,518	0,89	21,408	0,51
LH-1 c	29,764	29,444	1,07	29,279	0,56
LH-20 a	32,211	29,182	9,40	28,947	0,80
LH-20 b	28,574	25,780	9,78	25,271	1,97

Tabela 1: tabela contendo todas as informações de pesos iniciais, pesos após a retirada da umidade, percentuais de umidade, peso após calcinação e percentual dos pesos após a calcinação das amostras.

Após a primeira passagem pela estufa de secagem, houve uma diferença muito grande entre as quantidades de umidade das amostras LH-1 e LH-20. Nas amostras LH-1 a umidade contida gira em torno de 1,1%, bem diferente dos 9,6% das amostras LH-20. Isso pode ser explicado pelas condições do tempo no dia da amostragem. As amostras LH-20 foram coletadas em um dia úmido, em que ocorreram chuvas durante o dia, isso explica a grande quantidade de umidade, já as LH-1 foram amostradas em um dia ensolarado.

Após a segunda passagem pela estufa, agora a 500°C, foi possível observar que as amostras mudaram de coloração, tornando-se um pouco avermelhadas. Houve uma diminuição de matéria impregnadas nos grãos de quartzo das amostras LH-1a, LH-1c, LH-20a e LH-20b. Já na amostra LH-1b, a única que possuía o material negro na fratura, essa mudança não ocorreu, permanecendo a aparência negra dos grãos (Figura 38).

Em relação às porcentagens de matéria orgânica contida nas amostras, a amostra LH-1b que não sofreu mudança significativa após a calcinação mostrou a menor perda de peso, 0,51%. Nas outras quatro amostras essa mudança foi ligeiramente maior nas amostras LH-1a, LH-1c e LH-20a, que apresentaram perda em torno de 0,7%. Dentre todas as amostras, a LH-20b mostrou a maior perda de peso, 1,97% mais que dobrando as porcentagens em relação ao restante.



Figura 38: a: Foto apresentada as cinco amostras dentro da estufa após a calcinação. LH-1a: Os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada e aparentemente mais “limpos”, sem o material negro impregnado. LH-1b: os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada, mas grande parte dos grãos negros não sofreu alteração, como indicado nas setas vermelhas. LH-1c: Os grãos apresentam-se com coloração levemente avermelhada e aparentemente mais “limpos”, sem o matéria negro impregnado. LH-20a: Os grãos apresentam-se com coloração mais clara em relação à antes do processo, sem o material negro impregnado. LH-20b: Os grãos apresentam-se com coloração mais clara em relação à antes do processo, sem o material negro impregnado.

Thomaz-Filho (1982), em seu trabalho no Domo do Anhembi, calculou as porcentagens de peso de óleo nos arenitos impregnados da Formação Pirambóia. Nesse estudo ele determinou porcentagens médias de 5,5% de óleo em peso nos arenitos.

Comparando essa informação com os dados acima, nos quais a porcentagem de matéria orgânica chega próximo de 2%, e levando-se em conta as feições de impregnação nessas lentes, a superior permo-porosidade média dos arenitos da Formação Pirambóia em relação às lentes da Formação Tatuí e que o possível óleo contido nessas lentes sofreu um processo de intemperismo (biodegradação do óleo) consideravelmente maior que o óleo contido no domo do Anhembi, é possível que essa matéria orgânica seja um resíduo final do óleo gerado na Formação Irati, que migrou através das falhas e fraturas e ficou armazenado nessas lentes. É possível afirmar que o material negro impregnado nos grãos que ocorrem nas fraturas da amostra LH-1b não corresponde à matéria orgânica como nas outras amostras, pois a mesma não sofreu alteração significativa após a calcinação.

6.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

As amostras de arenitos preenchidos da Formação Tatuí foram analisadas através do método de difração de raios-X, com o objetivo de caracterizar a estrutura cristalina e confirmar ou não a presença de óxido de manganês que, quando microcristalino pode ser confundido com matéria orgânica amorfa entre os grãos. Foi feita a análise da amostra LH-1, retirada da vertente norte do Córrego Água Vermelha e a mesma confirmou presença quase que total de quartzo, contendo feldspatos como mineral traço. Além disso, a amostra não contém material amorfo e óxido de manganês, confirmado assim que todo o material preenchido corresponde à matéria orgânica (Figura 39).

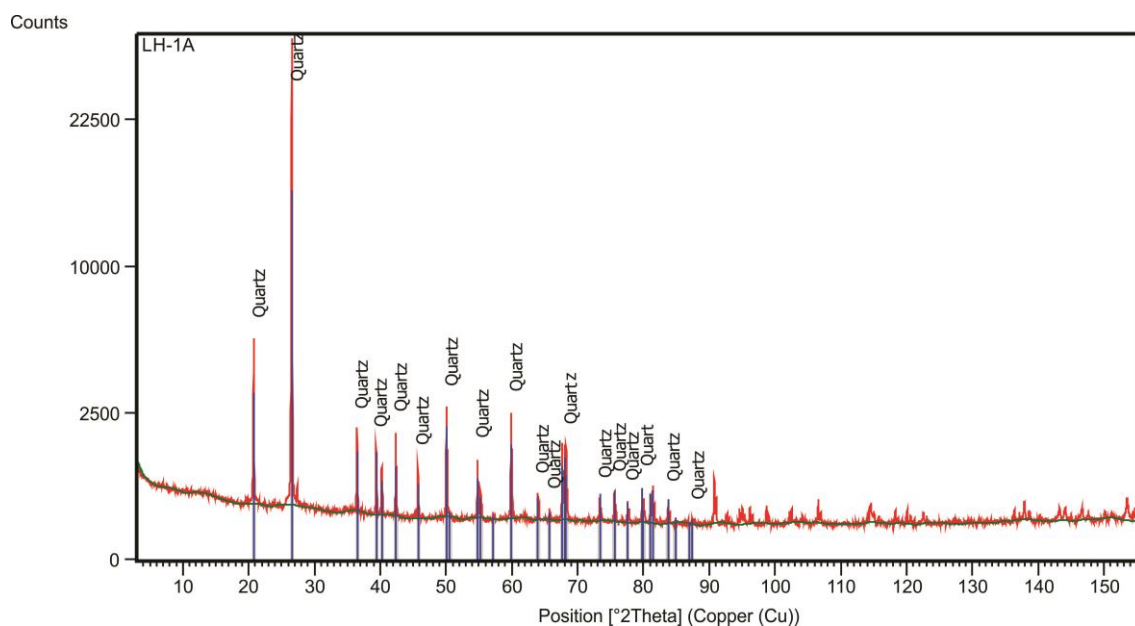


Figura 39: Difratoograma de raios X contendo análise de amostra total em pó, de cobertura intemperizada. Foi adotada análise de grande amplitude para determinação de minerais acessórios. A amostra, entretanto, exibe fase mineral exclusivamente composta por quartzo e sem indícios de fases amorfas.

7. CONCLUSÕES

A região noroeste do Alto Estrutural de Pitanga serviu como base dos estudos para caracterização das estruturas rúpteis da região, que podem ser meios de migração de hidrocarbonetos em situações não comuns, como a acumulação de óleo em formações mais antigas (Formação Tatuí) que a rocha geradora (Formação Irati). A região dos córregos da Água Vermelha e das Lavadeiras, a sul de Ipeúna, foi remapeada em uma escala 1:20.000, por meio da descrição de litologias e estruturas presentes no local.

As informações retiradas das imagens aéreas juntamente com as descrições de campo, principalmente dos dados sobre as cotas dos contatos das formações Tatuí e Irati e sobre as falhas reconhecidas na região foram determinantes para a colocação de uma falha do tipo normal com direção N30W e mergulho de 60° para SW no lineamento do Córrego das Lavadeiras. Possuindo rejeito de 20-25 metros, essa falha separa a área em dois blocos, a oeste, o bloco baixo, e, a leste, o bloco alto, colocando os siltitos e lentes areníticas da Formação Tatuí no bloco alto em contato com os calcários e folhelhos da Formação Irati.

Na região estudada, foram reconhecidos dois sistemas de falhas: um com falhas NW e outro com falhas NE. As falhas com direções NW são as mais importantes, pois

marcam os grandes lineamentos de relevo e de drenagens e são as principais falhas que limitam o alto estrutural a norte. Relacionados a essas falhas, ocorrem os dois diques e o preenchimento por material asfáltico descritos na área. As falhas NE ocorrem somente em alguns locais da área, na forma de planos estriados em pequenos afloramentos e dificilmente marcam o relevo as drenagens com lineamentos. Analisando os dados obtidos sobre os sistemas de falhas e comparando-os com os dados de Sousa (1997), Sousa (2002) e Godoy (2006), é possível que as falhas com direções NW, por apresentarem preenchimentos por diabásio e material asfáltico sejam mais antigas que as falhas com direções NE, pois essas se apresentam sem preenchimento de rochas básicas, sendo portanto possivelmente formadas em um evento posterior às falhas NW.

Nessas situações onde a Formação Tatuí ocorre acima da Formação Irati, é possível a ocorrência de um *play* petrolífero devido às circunstâncias locais. Dentre essas circunstâncias, é relevante a grande dispersão de diques e sills de rochas básicas pela região, concedendo temperaturas suficientes para a maturação do querogênio contido na Formação Irati, além da migração primária e saída do HC por meio de microfraturas e macrofraturas, e finalmente a migração secundária através das falhas NW-SE que, além disso, colocam as formações lado a lado e permitem a acumulação de HC nas lentes areníticas do topo da formação Tatuí e na “Fácies Ibicatu”. A ocorrência desse arranjo é completamente possível em outros locais do Alto Estrutural de Pitanga, onde outras falhas promovem a mesma situação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Boletim. Divisão Geologia e Mineralogia/DNPM, São Paulo, n. 143, 96 p., 1953.
- AMARAL S. E. 1971. Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. Bol. Instit. Geociências e Astronomia, 2:3-81
- ANDREIS, R. R., CARVALHO, I. S. A Formação Corumbataí (permiano Superior-Triássico Inferior) na Pedreira Pau Preto, Município de Taguaí, São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia, N2, 2001.

- ARAÚJO, C.C.; YAMAMOTO, J.K.; ROSTIROLLA, S.P. Distribuição espacial e caracterização geológica dos arenitos asfálticos da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. Rev. Bras. Geociências 34(2): 187-200. 2004.
- ASSINE, M.L; ZACHARIAS, A.A. & PERINOTTO, J.A.J. - 2003 - Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São paulo. Revis. Bras. Geociências V33, pags. 33-40.
- ASSINE, M. L., SOARES, P. C. Interação flúvio-eólica na Formação Piramboia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4., 1995, Águas de São Pedro. Boletim... Águas de São Pedro: SBG, 1995. p.65.
- BARBOSA, O.; GOMES, F. A. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí. Boletim Divisão Geologia e Mineralogia/DNPM, Rio de Janeiro, n. 171, 40p., 1958.
- BARBOSA-GIMENEZ N. L. B. Estudo Petrológico dos Arenitos da Formação Tatuí no Estado de São Paulo. São Paulo. 1996. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CAETANO-CHANG, M. R., WU, F. T. As formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4., 1995, Água de São Pedro. Boletim... Águas de São Pedro: SBG, 1995. p.64.
- CHAHUD, A., PETRI, S. Sarcopterygii from the upper most Tatui Formation and base of the Irati Formation, São Paulo, Brazil. Revista UnG – Geociências, V.8, N. 1, 2009, pag. 39-46.

- 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. 590-610, 1982.
- FULFARO, V. J.; STEVAUX, J. C.; SOUZA FILHO, E. E.; BARCELOS, J. H. A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.2, p. 711-724.
- FULFARO, V. J.; GAMA JR, E.; SOARES, P. C. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo: PAULIPETRO, 1980. (Consórcio IPT/CESP – Relatório 008/80).
- GODOY D. F. 2006. Termotectônica por Traços de Fissão em apatitas dos altos estruturais de Pitanga, Pau d'Álho e Jiboia - Centro do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 128 p.
- IPT - 1981 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - escala 1:1.000.000. São Paulo. 2v. (IPT. Séries Monografias).
- LANDIM, P. M. B. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP). 1967 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Faculdade de Filosofia de Ciências e Letras, Rio Claro.
- LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C.; GAMA JR., E. Estratigrafia do nordeste da Bacia do Rio Paraná. Rio Claro: IPT/UNESP, 1980. 45p. (Curso de Especialização).
- MELO, M. S. A Formação Rio Claro e depósitos associados – sedimentação neoceno-zóica na depressão periférica paulista. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82. 1994.
- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A. & FRANÇA, A. B. - 2007 - Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 265-287.
- MILANI, E.J. & ZALÁN, P.V., 1998. Brazilian Geology Part I: The geology of Paleozoic cratonic basins and Mesozoic interior rifts of Brazil. In: 1998 AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Brasil. Short Course Notes. 184p.
- MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MORAIS REGO, L. F. A. A Geologia do Petróleo no Estado de São Paulo. Boletim Serviço Geologia, Rio de Janeiro, n 46, 110p. 1930.
- NARDY, A. J. R. *et al.* Aspectos geológicos e estratigráficos das rochas vulcânicas ácidas do Membro Chapecó. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 1999, São Pedro. Resumos... São Pedro: SBG, 1999. p. 68.
- PIRES, F. A. Análise Paleoambiental e estratigráfica do Subgrupo Itararé na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. 2001. 113f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- RICCOMINI, C. 1997. Ar4cabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da bacia Bauru no Estado de São Paulo. *Rer. Bras. Geoc*, 27: 153-162.

- ROHN, R.; LAVINA, E. L. Cronoestratigrafia do Grupo Passa Dois. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., 1993, Rio Claro. Resumos... Rio Claro: UNESP, 1993. p. 83.
- SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974. v.1, p. 41-65.
- SIMÕES, M. G.; FITTIPALDI, F. C. Fósseis da região de Rio Claro. Rio Claro: Arquivo do Município, 1992. 77p.
- SOARES, P. C. 1972. O limite glacial - pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **44**: 333-341.
- SOARES, P. C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 28., 1974, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974. v.4, p.107-121.
- SOUSA, M. O. L. Caracterização Estrutural do Domo de Pitanga – SP. 1997. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- SOUSA, M.O.L. Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d’Alho e Jibóia – centro do Estado de São Paulo. 2002. 227 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- THOMAZ-FILHO A. 1982. Ocorrência de Arenito Betuminoso em Anhembi (SP) Cubagem e Condicionamento Geológico. In: Congr.Bras.Geologia, 32, Salvador, Anais, 5:2344-2348.

ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha de Rio Claro (SP). 1994. 90 f.
Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade
Estadual Paulista, Rio Claro.