

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

Caracterização de sistema de falhas neotectônicas na borda oeste do Domo de Pitanga  
(Charqueada – SP) com apoio do método geofísico de Eletrorresistividade

Saul Hartmann Riffel

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Coorientador: Prof. Dr. Norberto Morales

Rio Claro (SP)

2017

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
**Campus de Rio Claro (SP)**

SAUL HARTMANN RIFFEL

**Caracterização de sistema de falhas neotectônicas na borda oeste do Domo de Pitanga (Charqueada – SP) com apoio do método geofísico de Eletrorresistividade**

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

Rio Claro – SP  
2017

551.4 Riffel, Saul Hartmann  
R564c Caracterização de sistema de falhas neotectônicas na borda oeste do Domo de Pitanga (Charqueada – SP) com apoio do método geofísico de eletrorresistividade / Saul Hartmann Riffel. - Rio Claro, 2017  
56 f. : il., figs., fots., mapas + 2 apêndices

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: César Augusto Moreira  
Coorientador: Norberto Morales

1. Geologia estrutural. 2. Neotectônica. 3. Trenching. 4. Geofísica. 5. Eletrorresistividade. I. Título.

SAUL HARTMANN RIFFEL

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE FALHAS NEOTECTÔNICAS NA BORDA  
OESTE DO DOMO DE PITANGA (CHARQUEADA – SP) COM APOIO DO MÉTODO  
GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE

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

Prof Dr. Norberto Morales (coorientador)  
Dr. Iata Anderson de Souza  
Msc. Pedro Lemos Camarero

Rio Claro, 07 de dezembro de 2017.

---

Assinatura do(a) aluno(a)

---

Assinatura do(a) orientador(a)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, em especial aos meus pais, Ester Maria Hartmann Riffel e Silmar Aloísio Riffel, por todo apoio e suporte necessário, não só durante a faculdade como por toda a minha vida.

Agradeço aos professores César e Norberto pela orientação e paciência durante todo este trabalho, sempre dispostos a ajudar, mesmo a distância ou nas horas mais corridas, apontando erros e acertos, sempre compartilhando sua sabedoria.

Ao Iata e Matheus Casagrande pelo auxílio nas atividades de campo, mesmo não estando diretamente ligados ao trabalho foram muito importantes para a conclusão do mesmo.

Agradeço a turma Geologia 2012, a qual ingressei e também a 2013, a qual me juntei em 2016 e finalizo o curso, não só pelas atividades acadêmicas como também pela amizade fora da faculdade, em especial a Debora Targa e Murilo Zaine, amigos que levo para a vida.

Aos membros das repúblicas que morei e convivi durante estes últimos anos, Magma, Grosa e Caçamba.

As pessoas com as quais convivi no meu primeiro estágio no Unespetro, em especial a Maria Gabriela Vicentelli e ao Sergio Cáceres, meus primeiros orientadores na Unesp.

Aos amigos que fiz ainda no colégio, amizades que permanecem até hoje.

Aos brasileiros com que convivi entre 2015 e 2016 no intercâmbio, onde criei grandes amizades e vivi os melhores momentos da minha vida, em um momento de importante aprendizado.

Agradeço as pessoas com quem trabalhei no trecho final do curso, na mineração Serra Grande em Goiás, onde aprendi muito e adquiri uma importante experiência na área da mineração.

*“Até a pé nós iremos,  
para o que der e vier,  
mas o certo é que nós estaremos,  
com o Grêmio e onde o Grêmio estiver...”*  
*Lupicínio Rodrigues*

## RESUMO

Na região nordeste da Bacia do Paraná, existem diversos altos estruturais, entre eles o Alto estrutural ou Domo de Pitanga, na região de Piracicaba, Rio Claro, Ipeúna e Charqueada. No Domo é possível identificar diversas falhas e camadas inclinadas, boa parte destas estruturas são inferidas e há um grande potencial para o estudo detalhado das mesmas. Na borda Oeste do Domo há presença de falhas neotectônicas aflorantes em uma trincheira, em que rocha e solo com seixos de fluxo de colúvio encontram-se lado a lado, além de camadas inclinadas e pequenas dobras. Este trabalho, além de realizar o levantamento destas estruturas em detalhe utilizando um trenching móvel, traz uma comparação com um perfil de caminhamento elétrico feito no local, determinando a eficácia deste método neste tipo de estudo. Os resultados obtidos foram falhas normais com direção NNW, direção coerente com a vista na literatura para a região, indicando uma possível reativação de alguma destas grandes falhas regionais, gerando estas novas falhas. Os métodos se mostraram eficazes, porém com limitações de espaço e precisão.

Palavras Chave: Geologia Estrutural, Neotectônica, *Trenching*, Geofísica, Eletroresistividade

## ABSTRACT

There are several structural domes in the northeast region of Paraná basin, between them, there's one that's called Pitanga structural Dome, located between the cities Piracicaba, Rio Claro, Ipeúna and Charqueada. In Pitanga's dome, it's possible to identify several faults and inclined rock layers, a fair amount of these ruptured structures is inferred and there is a high potential for new detailed studies of these structures. In the West border of this dome neotectonic faults, small folds and inclined rock layers were found in a trench, where rock and soil with colluvial pebbles lie side by side. This work consists in carrying out the survey of these structures with high detail, using a mobile version of the trenching method and comparing the results with a resistivity cross-section to verify if the method is effective for this type of study. The results were normal folds with a direction to NNW, very similar to regional structures, suggesting that the formation of these new faults was a result of a reactivation of the old ones. The methods showed themselves useful, but with some limitations with space and precision.

Key Words: Structural Geology, Neotectonics, Trenching, Geophysics, Resistivity Method

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização da área indicando cidades próximas e acesso a partir da UNESP .....	12
Figura 1.2 – Localização da Trincheira na área de estudo, seguindo a estrada principal ao norte encontra-se o bairro de Paraisolândia e ao sul Recreio .....	12
Figura 2.1 – Lei de Ohm – Fonte: Kearey, et al. (2002) .....	14
Figura 2.2 – Propagação do campo elétrico em meio isotrópico. Fonte: Telford et al. (1990) .....	15
Figura 2.3 – Posição dos eletrodos e pontos de leitura em profundidade - Fonte: Borges (2002) .....	15
Figura 2.4 – Disposição dos eletrodos, I para os de corrente e V para os potenciais - Fonte: Milsom & Eriksen (2011) .....	16
Figura 2.5 – Arranjo dipolo-dipolo para tomografia elétrica - Fonte: Elis (1998) .....	17
Figura 3.1 – Passagem do barbante em campo para facilitar o transporte do equipamento .....	20
Figura 3.2 – Equipamento do pseudotrenching pronto para uso em campo .....	21
Figura 3.3 – Terrameter no centro, com bateria a sua esquerda e eletrodos na parte superior .....	22
Figura 3.4 – Posição da linha de aquisição no campo, com aproximadamente 42 metros de extensão .....	23
Figura 3.5 – Disposição das bobinas, cabos e eletrodos no campo .....	23
Figura 4.1 – Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano - Fonte: Machado (2009) .....	25
Figura 4.2. – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com seu contorno estrutural - Fonte: Milani (2004) .....	26
Figura 4.3 – Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região - Fonte: Perinotto & Zaine (2008), modificado de Soares & Landim (1975) .....	27
Figura 4.4 – Geologia e localização da Área, porção oeste do Domo de Pitanga - Fonte: Etchebehere et al. (2015), adaptado de Sousa (2002) .....	31
Figura 5.1 – Panorâmica dá área de estudo feito a partir de 36 fotos integradas .....	32
Figura 5.2 – Primeiro trecho do afloramento, com solo variando de coloração e nível laterítico visível no canto inferior esquerdo, pequenos trechos da imagem foram completados pelo software .....	34
Figura 5.3 – Fraturas abertas preenchidas por solo argiloso avermelhado, ferruginoso .....	34
Figura 5.4 – Dobra aberta anticlinal, separada por fratura aberta e deslocamento da porção lateral esquerda, caracterizando uma falha .....	35
Figura 5.5 – Camadas inclinadas entre duas falhas, as variações do solo também se encontram inclinadas, indicando uma rotação posterior a alteração intempérica .....	36
Figura 5.6 – Dois grábens próximos ao final do terceiro trecho, a parte interior dos grábens é preenchida por um solo com um nível de seixos de sílex e Laterita .....	36
Figura 5.7 – Porção final do terceiro trecho, integrando duas imagens paronômicas com o contorno de suas estruturas e inclinações das camadas marcados para melhor visualização das mesmas .....	37

Figura 5.8 – Diabásio falhado no último trecho do afloramento .....	38
Figura 5.9 – Estereograma com polos dos planos de fratura e seus contornos .....	38
Figura 5.10 – Estereograma de Polos dos planos de Acamamento .....	39
Figura 5.11 – Estereograma com planos de falhas representados pelos grandes círculos vermelhos e estrias .....	39
Figura 5.12 – Estereograma de falhas e estricas com Paleotensões gerado no Wintensor .....	40
Figura 5.13 – Direções dos esforços representados no mapa com eixos de alongação .....	41
Figuras 5.14, 5.15 e 5.16 – Capturas do primeiro trecho do afloramento, com laterita no topo, seguido de um solo ferruginoso e um solo com fragmentos de rocha .....	42
Figuras 5.17 e 5.18 – Fraturas abertas preenchidas por solo avermelhado ferruginoso .....	42
Figura 5.19 – Captura de uma grande falha com uma pequena associada, com cerca de 15cm de reijeito .....	43
Figura 5.20 – Falha com presença de dobras de arrasto na Fm. Irati .....	44
Figura 5.21 – Falha na borda esquerda de um gráben .....	45
Figuras 5.22 e 5.23 – Afloramento de diabásio falhado com marcações de bandeiras para a aquisição do pseudotrenching .....	45
Figura 5.24 – Perfil de eletrorresistividade gerado a partir do arranjo Schlumberger .....	46
Figura 5.25 – Perfil de eletrorresistividade gerado a partir do arranjo Dipolo-Dipolo .....	46
Figura 5.26 – Perfil do terceiro trecho da linha de afloramento utilizando o arranjo Dipolo-Dipolo com interpretações feitas a partir da comparação com o perfil calibrado com o “pseudotrenching” .....	47
Figura 5.27 – Perfil Final calibrado com as imagens de pseudotrenching .....	48
Figura 5.28 – Esquema do Trecho 5, próximo a estrada .....	49

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivos e Justificativa .....	11
1.2 Área de estudo .....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1 Geofísica .....	13
2.2 Métodos Elétricos – Eletorresistividade .....	13
2.3 Técnicas e Arranjos .....	15
2.4 Laterita .....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
3.1 Levantamentos Bibliográficos .....	19
3.2 Confeção dos equipamentos para a captura das sequencias falhadas .....	19
3.3 Levantamento de Campo e aquisição de dados .....	20
3.3.1 Pseudotrenching .....	20
3.3.2 Eletorresistividade .....	21
3.4 Tratamento e interpretação dos dados coletados em campo .....	23
3.5 Integração dos dados .....	24
4 GEOLOGIA REGIONAL .....	25
4.1 Introdução: Contexto Regional da Bacia do Paraná .....	25
4.2 Contexto Geológico da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo .....	27
4.2.1. Contexto Estratigráfico .....	27
4.2.1.1 Grupo Itararé .....	27
4.2.1.2 Formação Tatuí .....	28
4.2.1.3 Grupo Passa Dois .....	28
4.2.1.4 Grupo São Bento .....	29
4.2.1.5 Grupo Bauru .....	30
4.2.1.6 Depósitos Cenozoicos .....	30
4.2.2 Contexto Estrutural Regional .....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1 Descrição do Afloramento .....	32
5.2 Estrutural .....	33
5.2.1 Estereogramas e direções dos esforços .....	38
5.3 Pseudotrenching .....	41
5.4 Eletorresistividade .....	46
5.5 Esquemas .....	48
5.6 Apêndices .....	49
5.7 Integração dos resultados .....	49
6 CONCLUSÃO .....	51
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos neotectônicos são de grande auxílio para a compreensão dos mecanismos e deformações geradas por terremotos e movimentos tectônicos. Sua definição varia entre os pesquisadores, alguns consideram que essas deformações estão relacionadas a eventos que ocorreram dentro de um intervalo de três milhões de anos até os dias atuais, já outros consideram que um intervalo de até 23 milhões também pode ser considerado para estas deformações. Porém a hipótese de que deformações neotectônicas podem possuir significados diferentes dependendo da geologia e do histórico de uma região é aceita, o que torna esse tema ainda mais abrangente e flexível (STEWART & HANCOCK, 1994).

O estudo da Neotectônica no Brasil ocorre há décadas e atualmente há diversos projetos nas diversas regiões do Brasil. Sob a liderança de pesquisadores da UNESP e apoiadas pela Rede de Geotectônica da Petrobrás, várias universidades das regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do Brasil desenvolveram o Mapa Neotectônico do Brasil (MORALES et al. 2014), representando um estudo de grande importância sobre o assunto, além de alguns trabalhos anteriores em menor escala como o de Hasui (1990).

A região Nordeste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo possui altos estruturais estudados há décadas como o Alto de Pitanga, Artêmis, Pau d'Alho e Anhembi, localizados próximos às cidades de Rio Claro (SP) e Piracicaba (SP).

O Domo de Pitanga ou Alto Estrutural de Pitanga (MORAIS REGO, 1930; SOUSA, 2002) vem sendo estudado desde o início do século XX e, segundo Sousa (1997), é uma feição assimétrica, em que o flanco oeste é marcado por falhas enquanto o Leste é marcado por camadas ligeiramente inclinadas. Seus principais sistemas de falhas, como Passa Cinco, Cabeça, Ipeúna e Piracicaba (ANDRADE & SOARES 1971), são marcados pelos lineamentos dos rios importantes que cortam a região. As falhas são em sua maioria normais e possuem um arranjo com direção preferencial para NW-SE (SOUSA 2002).

A região carece de estudos indiretos para a identificação de suas estruturas, abrindo espaço para a utilização do método geofísico de eletrorresistividade, podendo identificar contrastes que indicam a posição de falhas.

## 1.1 Objetivos e justificativas

O objetivo deste trabalho está voltado para a caracterização e descrição de um conjunto de falhas inseridas em uma trincheira projetada para drenar um pequeno lago.

O trabalho consiste no levantamento estrutural e litológico do local, além da aplicação do método de eletrorresistividade a fim de obter perfis de resistividade em linhas perpendiculares a direção preferencial das falhas, com o intuito de obter respostas das variações de materiais que se encontram dos dois lados da falha, sendo eles saprólitos e solos com níveis de seixos, e verificar se o método é eficaz para tais estudos.

Ao fim deste trabalho se obteve uma estimativa de direções dos esforços e melhor compreensão dos mecanismos dos mesmos na região, assim como sua continuidade em profundidade e lateralmente ao afloramento verificando a eficiência do método da eletrorresistividade.

O fato de a camada de solo com materiais inconsolidados encontrar-se falhada atua como um importante fator para se estimar a idade das falhas e assim testar a utilização de métodos investigativos indiretos no local, procurando obter boas respostas.

Apesar de apresentar diversas falhas já caracterizadas, ainda existem na região diversas estruturas inferidas devido à falta de estudos por métodos geofísicos indiretos, especialmente nos locais em que aluviões ou grandes camadas de solo recobrem essas estruturas, o que justifica trabalhos detalhados como este na região para a melhor compreensão destas estruturas.

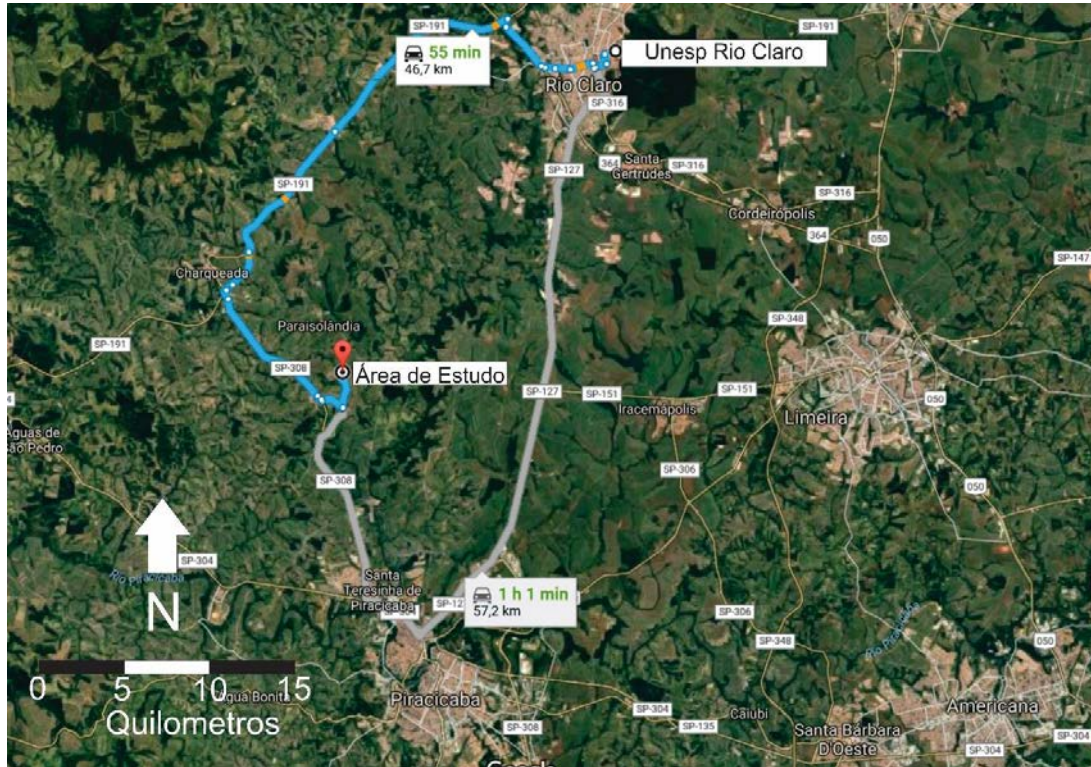
No mais, um trabalho prévio indicou que há na trincheira, além das rochas da Formação Irati e camadas de solo, um nível laterítico centimétrico, quase sempre seguindo o relevo atual (ETCHEBEHERE et al. 2015).

## 1.2 Área de Estudo

Como já citado anteriormente, a área de estudo deste trabalho é uma trincheira projetada para drenar a água um pequeno corpo d'água e encontra-se em um talude de colina em meio a uma plantação de cana de açúcar na zona rural da cidade de Charqueada (SP), próximo as cidades de Rio Claro (SP), Ipeúna (SP) e Piracicaba (SP), mais precisamente no bairro de Paraisolândia (Figura 1.1). Apesar de a trincheira ter sido feita pelo homem, processos erosivos intensificaram a abertura da mesma, deixando-a também mais irregular, tanto horizontalmente quanto verticalmente. A área encontra-se inserida na borda oeste do alto estrutural de Pitanga. O local é

de fácil acesso com carro e se dá saindo de Rio Claro seguindo a Estrada SP-191 rumo a Charqueada e em seguida a Rod. Herminio Peltrim, rumo ao bairro Santa Luzia.

Figura 1.1 – Localização da área indicando cidades próximas e acesso a partir da UNESP.



A porção estudada da linha de afloramentos compreende aproximadamente 100 metros de extensão, com uma direção WNW-ESE (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Localização da Trincheira na área de estudo, seguindo a estrada principal ao norte encontra-se o bairro de Paraisolândia e ao sul Recreio.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Geofísica

Geofísica é a ciência que estuda a terra por métodos indiretos, onde as propriedades físicas do subsolo são medidas por aparelhos em superfície, furos de sondagem ou até por levantamentos aéreos, captando as variações das propriedades físicas lateral e verticalmente, dependendo das rochas e constituintes presentes (KEAREY, *et al.*, 2002).

A utilização da geofísica como ferramenta para estudos geológicos é muito importante e presente nas mais diversas áreas de estudo, uma vez que são métodos que podem ser utilizados para estudos de grandes áreas, com baixo custo e profundidade em que muitas vezes estudos diretos não seriam possíveis ou viáveis. Enquanto a geologia estuda e descreve rochas e estruturas visualmente, a geofísica utiliza tais medições indiretas para serem interpretadas da mesma forma e estabelecer conexões com as observações diretas caso existam ou com modelos geológicos.

### 2.2 Métodos Elétricos - Eletrorresistividade

Os métodos elétricos exploram as diferenças das propriedades elétricas das rochas e no geral, são associados com prospecções minerais, porém podem e são utilizados também em diversas áreas, tais como hidrogeologia, contaminações subterrâneas, arqueologia ou até mesmo estudo de estruturas.

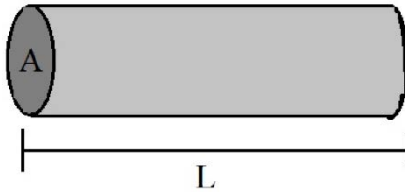
Entre os diversos métodos elétricos destacam-se: Investigação por resistividade (método utilizado), onde fiações estendidas na superfície emitem uma corrente elétrica, medindo a resistência elétrica do material na subsuperfície; Eletromagnético; Auto Potencial e Polarização induzida.

Dentre os diversos métodos geofísicos a serem utilizados o escolhido foi o da eletrorresistividade, como citado acima, um método geofísico elétrico que se baseia no estudo do potencial elétrico de campos elétricos naturais e provocados artificialmente. Tal estudo permite identificar estruturas geológicas e corpos minerais em subsuperfície (TELFORD *et al.*, 1990).

A capacidade de um material de se opor a passagem de corrente elétrica é chamada de resistência elétrica (R), sua unidade de medida é o  $\Omega$  (Ohm) e depende de três propriedades de um corpo, sendo elas sua área de seção transversal (A), seu comprimento (L) e sua resistividade ( $\rho$ ). A relação entre resistência, área, resistividade e comprimento é dada pela Lei de Ohm (figura 2.1):

Figura 2.1 – Lei de Ohm.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$



Fonte: Kearey, et al. (2002)

Em que:

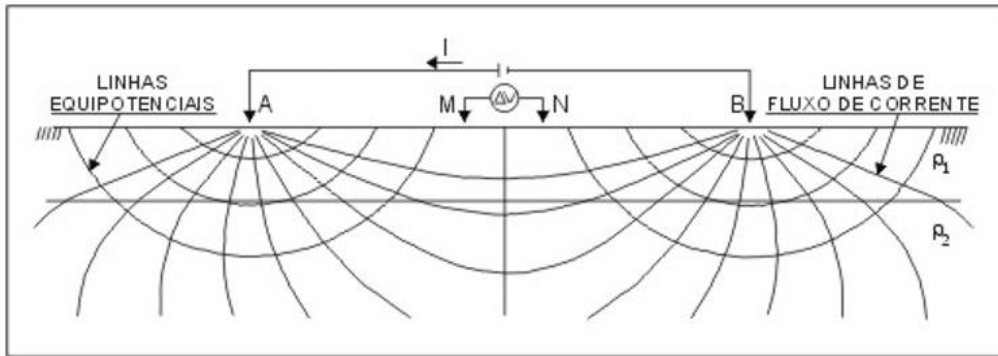
$$V(\text{volts}) / i (\text{Amperes}) = R(\Omega)$$

A resistividade das rochas depende de diversos fatores, entre eles há alguns que não são característicos das rochas especificamente, mas que podem alterar os valores obtidos, como a quantidade de água presente na rocha, os sais dissolvidos na mesma e a temperatura. Estes fatores são determinantes para que este método seja de tão importante e utilizados para estudos hidrogeológicos.

No método da eletrorresistividade, é gerada uma diferença de potencial (ddp) a partir da aplicação de uma corrente elétrica artificial no solo, utilizando um par de eletrodos conectados a bateria. Esta ddp gerada é aferida por outro par de eletrodos, chamados eletrodos potenciais e devido a mesma, passa a fluir uma corrente elétrica. No modelo teórico, em um meio homogêneo e isotrópico, quanto mais longe da fonte, menor seria o potencial elétrico, gerando superfícies semi-esféricas concêntricas com valores potenciais iguais. Perpendicularmente a estas linhas equipotenciais, passam as linhas de fluxo, cujo sentido é do maior para o menor potencial elétrico (ROBINSON, 1988).

São utilizados um par de eletrodos de corrente (que geram ddp) A e B (também chamados C1 e C2) e um par de eletrodos de leitura (eletrodos potenciais) M e N (também chamados P1 e P2) para a propagação do campo elétrico no meio (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Propagação do campo elétrico em meio isotrópico.



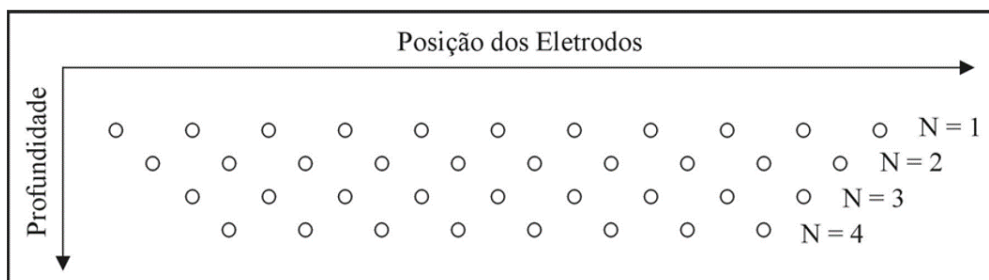
Fonte: Telford et al. (1990)

Dentre alguns dos problemas na utilização deste método está a não homogeneidade do meio, pois engloba o solo, a rocha subjacente e intercalações de outras rochas, nível freático e estruturas geológicas como falhas. Por conta destes fatores, em um meio heterogêneo, os valores de comprimento e área são substituídos por uma constante  $K$  que vai depender do arranjo utilizado. A resistividade medida não é representativa de uma rocha ou camada específica e sim uma resistividade média de todo pacote estudado, sendo chamada de resistividade aparente (BORGES, 2002).

### 2.3 Técnicas e Arranjos

A técnica utilizada no trabalho de campo foi a tomografia elétrica, onde um determinado número de eletrodos é posicionado em uma reta com a finalidade de gerar um perfil bidimensional da subsuperfície. Os ensaios são feitos em 4 eletrodos por vez, com mais de um tipo de arranjo, que apesar de variar a posição dos eletrodos utilizados, o posicionamento deles é sempre igual, com uma distância mantida entre eles (figura2.3).

Figura 2.3 – Posição dos eletrodos e pontos de leitura em profundidade.



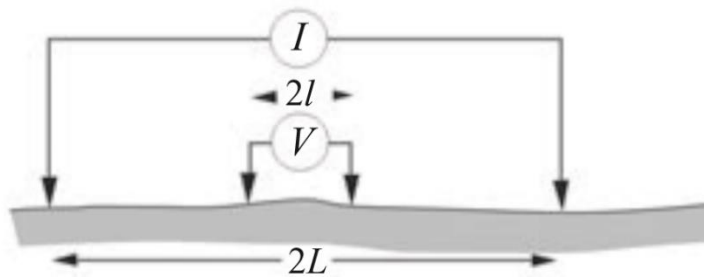
Fonte: Borges (2002)

Dentre as possíveis opções de arranjos utilizáveis no método da eletrorresistividade a partir da disposição dos eletrodos, foram escolhidos os arranjos Schlumberger e Dipolo-Dipolo, brevemente descritos abaixo:

### Schlumberger

No arranjo Schlumberger, há um espaçamento muito superior entre um par de eletrodos de corrente em relação aos de potencial, geralmente simétricos em relação ao centro do arranjo (figura 2.4). Segundo Telford et al. (1990), é o arranjo ideal para identificação de camadas horizontais, devido a sua boa resolução vertical.

Figura 2.4 – Disposição dos eletrodos,  $I$  para os de corrente e  $V$  para os potenciais.



Fonte: Milsom & Eriksen (2011)

A distância entre os eletrodos é aumentada durante a aquisição dos dados, simetricamente com relação ao centro do arranjo, sem que a distância dos eletrodos potenciais seja alterada entre si.

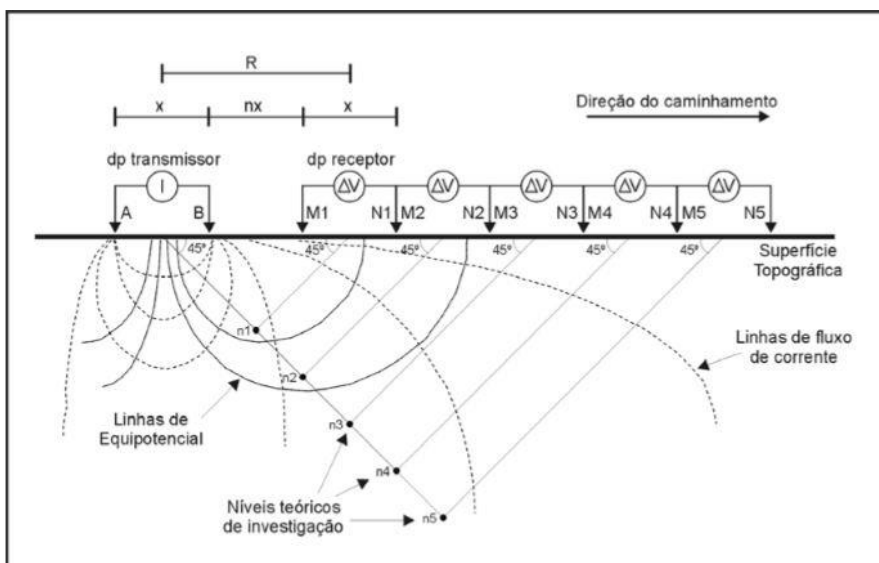
É comum utilizar uma nomenclatura de A e B no lugar de C1 e C2 para os eletrodos de corrente e M e N no lugar de P1 e P2 para os potenciais, neste caso sempre a distância MN será menor em relação a AB, como citado previamente, o K (Fator geométrico) varia para cada arranjo, neste arranjo novo seu valor é definido pela formula:

$$k = \frac{2\pi}{\left[ \left( \frac{1}{AM} \right) - \left( \frac{1}{AN} \right) - \left( \frac{1}{BM} \right) + \left( \frac{1}{BN} \right) \right]}$$

## Dipolo-Dipolo

Neste arranjo, diferentemente do Schlumberger, as distâncias entre os eletrodos de corrente e entre os potenciais é o mesmo, ou seja,  $AB = MN$ . Além deste fator, a disposição dos eletrodos se dá em pares, com os de corrente seguidos, assim como os potenciais. Trata-se de um arranjo que pode ser utilizado em sondagens elétricas verticais, porém, no caso deste trabalho, com um estudo de uma variação lateral, foi realizado uma tomografia elétrica, onde  $AB$  ficam fixos em relação aos eletrodos potenciais, que por sua vez se distanciam dos de corrente. No momento em que os eletrodos são afastados, a nova posição de  $M$  equivale a de  $N$  na medição anterior, pois a distância de afastamento é sempre a mesma da distância entre os eletrodos de corrente. A medida que a distância entre os pares de eletrodos aumenta, a profundidade de investigação cresce, como pode ser observado na figura 2.5.

Figura 2.5 – Arranjo dipolo-dipolo para tomografia elétrica.



Fonte: Elis (1998)

Para este arranjo, o fator geométrico ( $K$ ) é obtido através da fórmula:

$$k = 2\pi.G.X \quad \text{Em que:} \quad G = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{n} \right) - \left( \frac{2}{n+1} \right) + \left( \frac{1}{n+2} \right) \right]}$$

## 2.4 LATERITA

A formação de Lateritas ocorre por um processo de lixiviação, removendo alguns elementos, deixando a porção alterada relativamente enriquecida em alguns elementos como Fe e Al, cuja mobilidade é baixa, formando uma camada oxidada e endurecida, que tem como característica a impermeabilidade. É um processo muito comum em áreas quentes e úmidas como boa parte do território brasileiro na atualidade. Neste caso específico, pode-se tratar de uma Laterita de brejo (*Bog iron formation*), comum em locais, ou seja, uma laterita formada em uma região pantanosa, semelhante à de Nassawango Watershed em Maryland (ROBB, 2005), onde há formação de pisólitos semelhantes ao encontrados na região estudada, se formando em pequenas depressões próximas a encostas, um relevo também próximo ao da área em questão. Este tipo de laterita se forma em locais mais frios. Atualmente, nos locais onde se formam este tipo de laterita são feitas colheitas do óxido de ferro que é tratado como minério “renovável”.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O material utilizado compreende o conjunto rocha, solo e estruturas da trincheira já descrita no primeiro capítulo.

O trabalho foi realizado pela análise estrutural de detalhe em campo, com a “captura” da sequência falhada e o levantamento das estruturas reconhecidas (falhas e estrias, fraturas, rotação de camadas, pacotes sedimentares relativamente soerguidos e/ou abatidos), utilizando bússola, trena e nível, acompanhados da documentação fotográfica.

Estes estudos foram acompanhados da realização de pesquisa geofísica de eletrorresistividade. O método da eletrorresistividade já descrito previamente, consiste em transmitir corrente elétrica no solo e medir sua resistividade em função da profundidade.

A fim de atingir os objetivos propostos acima, o trabalho foi dividido em cinco etapas, apresentadas abaixo assim como os métodos utilizados para as mesmas:

#### **3.1 Levantamento Bibliográfico (Atividade 1)**

A primeira etapa do trabalho consiste em realizar a revisão e compilação de trabalhos científicos realizados na área, no que diz respeito a Bacia do Paraná, altos estruturais da região, livros e artigos de tectônica, neotectônica e estrutural sob um ponto de vista mais amplo, visando compreender melhor a área e meios de realizar a sua caracterização geológica, assim como livros de geofísica aplicada para compreender os fundamentos e resultados do método da eletrorresistividade.

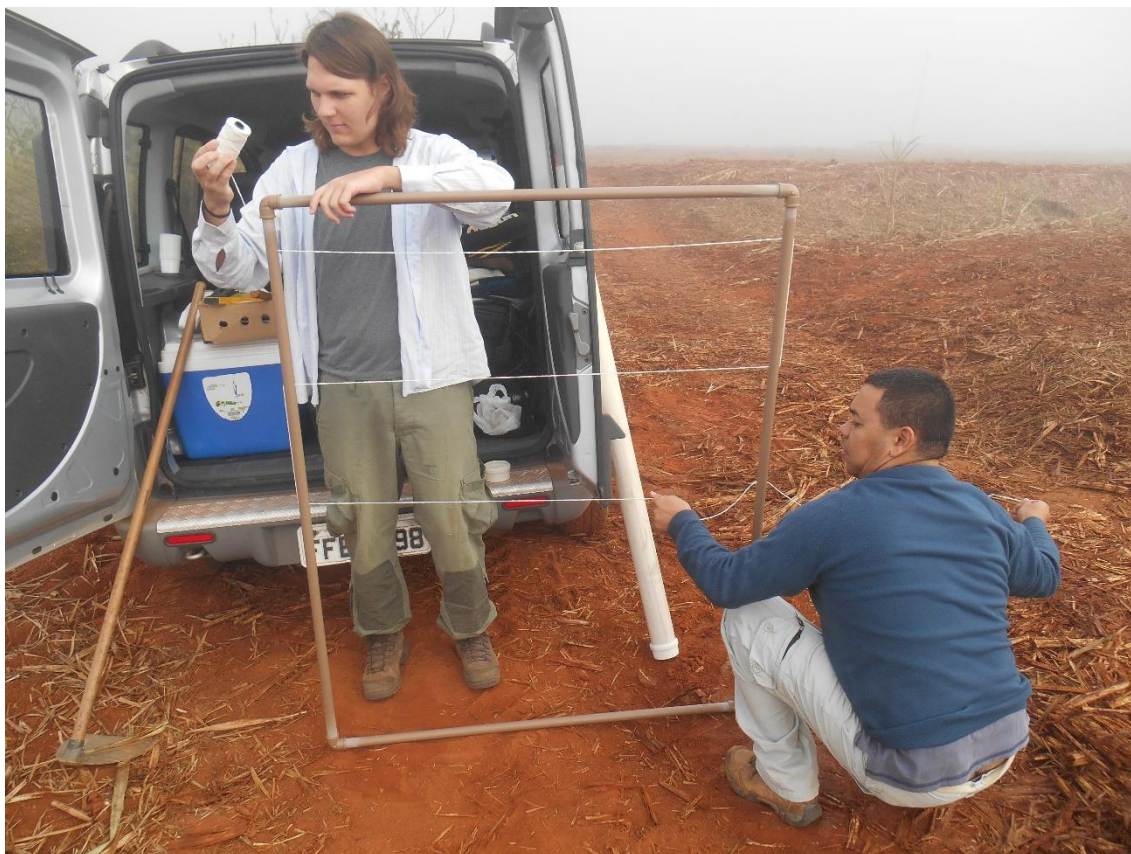
#### **3.2 Confeção dos equipamentos para a captura das sequências falhadas (Atividade 2)**

Foi confeccionada uma tela com malhas de barbante a serem utilizadas no campo, assim como bandeirinhas.

Foram utilizados quatro canos de pvc, onde dois possuem medidas de 1,1m e dois com 1,4m, que foram furados de 30 em 30cm descontando 10cm de cada extremidade, que por sua foram lixadas para o encaixe aos conectores, formando uma moldura retangular com 140x110cm. Por dentro dos furos se passou um barbante formando uma malha (em campo), resultando em quadrados 30x30cm (Figura 3.1). O arranjo resultou numa “tela” móvel, com quadrados de 30cm

X 30 cm delimitados pelos barbantes (escala fixa), permitindo a sua migração ao longo do afloramento, ajustada sempre com o auxílio de um nível de pedreiro.

*Figura 3.1 – Passagem do barbante em campo para facilitar o transporte do equipamento.*



As bandeirinhas foram feitas de palitos de churrascos cortados ao meio com fitas coloridas nas cores preta, branca, azul, vermelha, verde e amarela. As bandeiras serviram para, fixadas no corte, demarcar as falhas e os principais contatos entre as unidades litológicas e/ou de alteração.

### **3.3 Levantamento de Campo e aquisição de dados (Atividade 3)**

Esta etapa está subdividida em duas, a primeira consistiu na caracterização de litotipos, fraturas, falhas e estrias na trincheira, assim como a medição destas estruturas. Os levantamentos foram realizados com o deslocamento da tela ao longo da linha de erosão, controlado com o auxílio de uma trena. O arranjo permitiu o levantamento das estruturas, a preparação de um esquema geral do afloramento e, a partir da documentação fotográfica, uma “reconstrução” ou a “captura” do mesmo de uma forma fidedigna. A segunda etapa consistiu no levantamento de perfis de eletrorresistividade na área.

### 3.3.1 Pseudotrenching

A primeira etapa contou com a utilização do quadro confeccionado segundo a descrição da atividade 2 deste capítulo. O método foi baseado no *Trenching*, que é muito utilizado fora do Brasil, especialmente em locais onde há intensa atividade tectônica. O método do *Trenching* consiste em cavar uma trincheira, gerando um plano vertical com exposição do substrato, onde é estendida uma malha de barbantes formando quadrados de tamanhos idênticos e marcadores coloridos para as estruturas estudadas. Os quadrantes montados a partir deste método são fotografados de forma que mantenham suas proporções e as imagens geradas são integradas no software Photoshop gerando um mosaico. Devido à irregularidade da trincheira estudada, o método teve de ser adaptado, formando apenas um fragmento que é o quadro, o que gera uma mobilidade necessária para evitar as irregularidades e zonas com mata fechada, porém também impede que as imagens tenham uma continuidade. Por ser um método adaptado do *Trenching*, foi nomeado de “*pseudotrenching*” (figura 3.2).

Figura 3.2 – Equipamento do “*pseudotrenching*” pronto para uso em campo.



### 3.3.2 Eletroresistividade

A segunda etapa de campo consistiu na aquisição dos perfis de eletroresistividade. O equipamento necessário foi disponibilizado pelo Laboratório de Geofísica da Unesp de Rio Claro. Trata-se de um resistivímetro Terrameter LS, capaz de transmitir e receber sinais, com 250W, resolução de  $1\mu\text{V}$  e corrente máxima de 2,5 A. Entre suas diversas funções, mede a resistência do substrato ao trânsito de corrente (função utilizada no estudo). Além do equipamento Terrameter, foram utilizados eletrodos de liga metálica, quatro bobinas, cabos e uma bateria de carro (figura 3.3).

Figura 3.3 – Resistivímetro Terrameter LS no centro, com bateria a sua esquerda e eletrodos na parte superior.

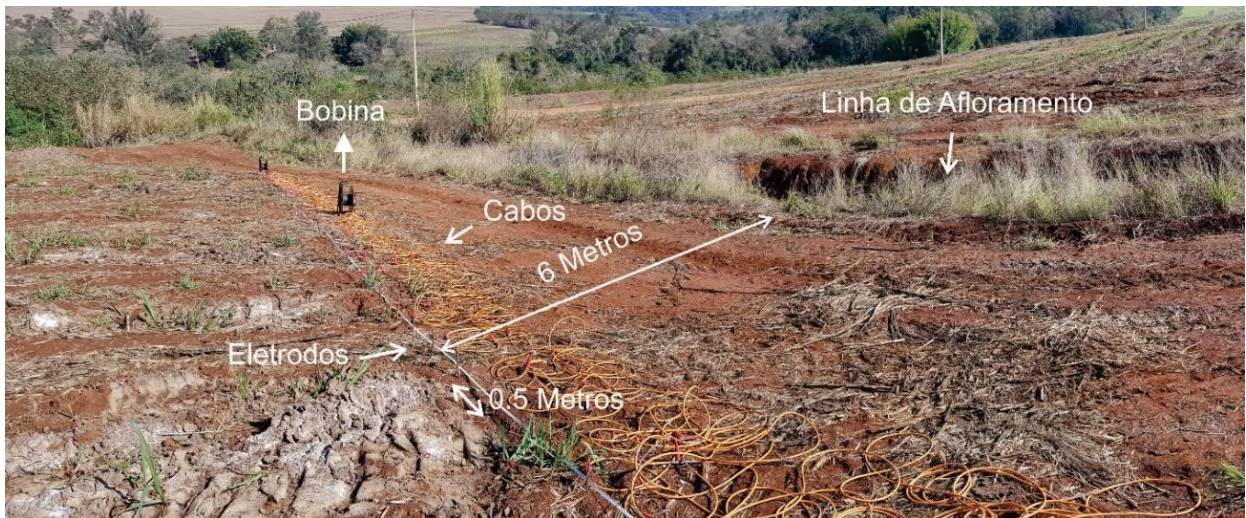


A aquisição foi feita em uma linha de tomografia elétrica, com direção N280, perpendicular a direção preferencial das estruturas, aproximadamente a uma direção paralela a linha de afloramentos, que não se encontra em uma linha reta perfeita (figura 3.4). Como as estruturas regionais que possuem direção preferencial NNW-SSE, as linhas tiveram direção WSW-ESE (também paralelas à direção do afloramento). Foram utilizadas quatro bobinas de cabos ligadas a 84 eletrodos no solo, com espaçamento de 0,5 metros entre cada eletrodo, totalizando uma extensão de 42 metros da linha geofísica (figura 3.5.)

Figura 3.4 – Posição da linha de aquisição no campo, com aproximadamente 42 metros de extensão.



Figura 3.5 – Disposição das bobinas, cabos e eletrodos no campo.



A escolha por utilizar apenas uma linha de tomografia se deve ao fato de apenas utilizar a linha como comparação ao esquema feito e calibrado com o “*pseudotrenching*”, para verificar a eficiência deste método para este tipo de estudo, com a confirmação da utilidade do método, outras linhas 2D serão realizadas, e em seguida interpoladas, a fim de obter um modelo 3D destas estruturas.

### **3.4 Tratamento e interpretação dos dados coletados em campo**

Os resultados obtidos em campo foram filtrados, processados e interpretados. A partir da geofísica foram gerados perfis de anomalias e das medições estruturais foram gerados estereogramas e esquemas da geologia estrutural para a melhor compreensão da mesma.

As imagens obtidas foram processadas no software Windows ICE, que realiza a interpolação de imagens que possuam áreas sobrepostas, gerando imagens panorâmicas.

A edição das imagens, tanto processadas no Windows ICE, como as demais, foi feito no software Corel Draw X7, para a elaboração de uma prancha em tamanho A3, integrando as imagens, os esquemas digitalizados e linhas geofísicas para a interpretação do conjunto.

Todas as medidas estruturais foram lançadas no programa OpenStereo 0.1 (GROHMANN, 2011), resultando em estereogramas que possibilitaram a comparação entre as medidas obtidas em campo e o aspecto estrutural geral da área. Além deste, foi utilizado o programa WinTensor, onde foram lançados apenas os dados das falhas com suas respectivas estrias, a fim de gerar dados dos paleoesforços responsáveis pela formação das falhas.

Os dados geofísicos foram processados em dois programas, primeiramente no Surfer, onde foram corrigidos dados negativos ou muito baixos, e posteriormente no Res2Dinv, resultando nos perfis finais, com escalas de cores que varia de cores frias para valores baixos e quentes para valores altos de resistividade.

### **3.5 Integração dos dados**

Os resultados obtidos na etapa anterior foram comparados e integrados para que os dados geofísicos sejam calibrados e interpolados com as medidas estruturais do local. Em seguida foi realizada a elaboração do relatório final do trabalho de conclusão do curso apresentando todas as etapas do trabalho, desde o levantamento bibliográfico até os resultados finais.

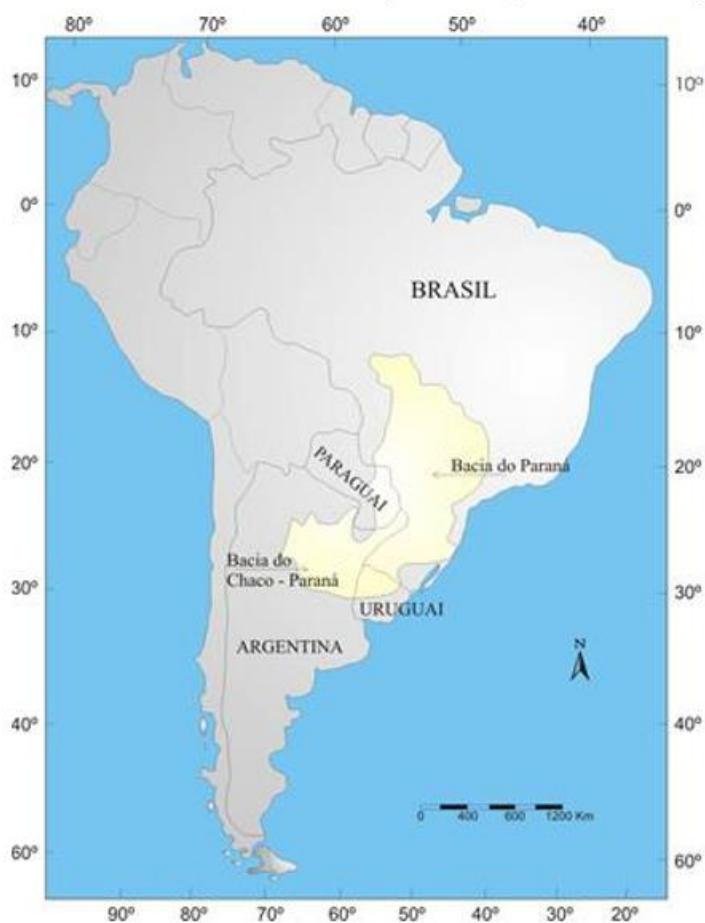
## 4 GEOLOGIA REGIONAL

### 4.1 Contexto Regional da Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar do continente Sul-Americano, e compreende uma área de aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados, que abrange porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (MILANI et al., 2007). No Brasil, a bacia se estende pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

O formato da bacia é ovalado, com o eixo maior na direção N-S, com aproximadamente 1750 km de comprimento e 900 km de largura, apresentando uma espessura máxima de aproximadamente sete mil metros na região próxima ao depocentro. Seu contorno atual foi definido por limites erosivos, relacionados à geotectônica meso-cenozóica do continente (MILANI et al., 2007).

Figura 4.1. - Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano.

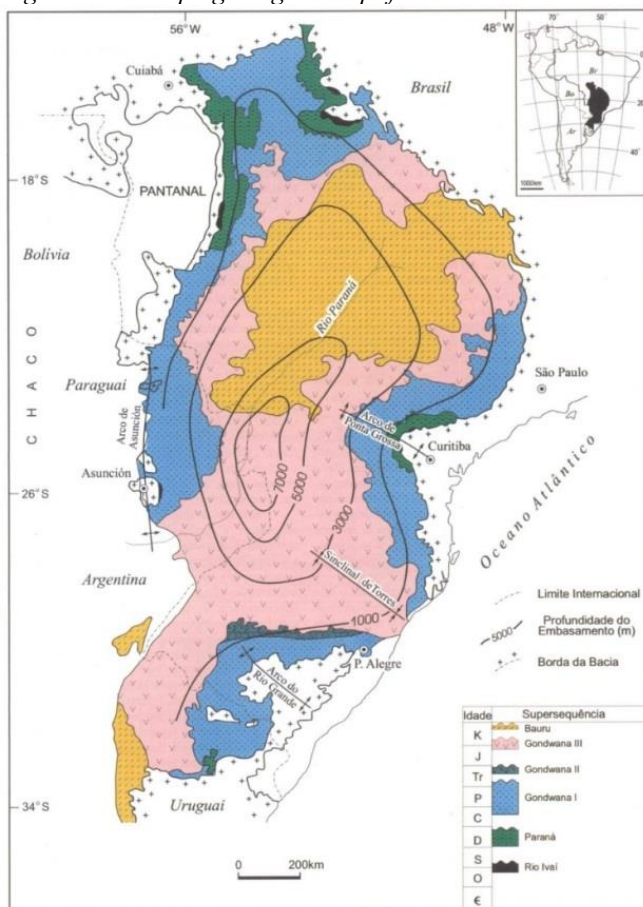


Fonte: Machado (2009)

No trabalho de Milani et al. (2007) a estratigrafia da bacia foi dividida em seis unidades de ampla escala ou Supersequências, que são separadas por hiatos deposicionais, sendo elas: Rio Ivaí (Ordoviciano–Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero–Eotriássico), Gondwana II (Meso- a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico a Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). A Bacia como um todo apresenta um conjunto litoestratigráfico de sucessões sedimentares e vulcânicas, e é considerada policíclica, com diversos ciclos de sedimentação cortados por rochas vulcânicas.

Segundo Almeida (1981), a evolução tecto-sedimentar da Bacia teve influência de eventos compressivos de diversas naturezas durante o Paleozóico, que afetaram a margem ocidental do Gondwana, enquanto no Mesozóico, um tectonismo distensivo ligado à separação da América do Sul da África teria tido influência marcante na Bacia. Segundo Zálan et al. (1990) e Melo (1995), tanto as estruturas de orientação NW como as de direção NE apresentam evidências de movimentações tectônicas com componente horizontal predominante, atribuídas aos estágios finais do magmatismo Serra Geral.

Figura 4.2. - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com seu contorno estrutural.



Fonte: Milani (2004)

## 4.2. Contexto Geológico da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo (Destaque para a Depressão Periférica)

### 4.2.1. Contexto Estratigráfico

A área de estudo localiza-se na porção centro-norte da Bacia Sedimentar do Paraná, onde se encontra apenas a Supersequência Gondwana I, com registros de formações mais recentes que o Carbonífero Médio.

O contexto estratigráfico da Bacia do Paraná na região de estudo (região de Rio Claro – Piracicaba) pode ser definido a partir da coluna estratigráfica mostrada na figura abaixo:

Figura 4.3 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região.

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 NIVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS, FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO <i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para betão)</i>	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESPERADOS, POUCA ARGILA <i>Aquífero Guarani</i>	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESPERADOS. DIVERSOS NIVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
				CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NIVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI Mb. Assistência Mb. Taquaral		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS <i>Quartzo de calcário na região de Assistência, Itirapetina e Piracicaba/Itapetina</i>	TRANSICIONAL: LAGUNA MARINHO RASO: PLATAFORMA
		GUATÁ	TATUI		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	TRANSICIONAL: PLANÍCIE COSTEIRA MARINHO RASO: PLATAFORMA
	CARBONIFERO	ITARARÉ	Grupo ITARARÉ <i>(indiviso no Estado de São Paulo)</i>		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS SILTITOS) <i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>	CONTINENTAL (GLACIAL): ALUVIAL - LEQUES E FLUVIAL; LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMAL
			Pré-Cambriano	EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS

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

#### 4.2.1.1 Grupo Itararé

No estado de São Paulo o Grupo itararé é indiviso, e apresenta uma grande complexidade faciológica, sendo constituído por conglomerados, arenitos, diamictitos, argilitos e folhelhos com clastos caídos de icebergs, além de apresentar estruturas do tipo estratificação cruzada acanalada

a plano-paralela (SOARES, 1972). A espessura deste pacote, datado do Permo-Carbonífero, pode chegar até 900 metros no Estado de São Paulo. Segundo Mattos (2012), a deposição dos sedimentos do Grupo Itararé envolveu paleoambientes deposicionais fluvio-deltáicos a marinhos plataformais e esteve sujeita a influências da glaciação permocarbonífera e da tectônica ativa, refletida em subsidências e soerguimentos em áreas próximas ou dentro da bacia. Dentre os fósseis encontrados nessa unidade, destacam-se os braquiópodos, palinórfos, restos de peixes, moluscos e plantas (SCHENEIDER et al., 1974), além de icnofósseis.

#### **4.2.1.2 Formação Tatuí (Grupo Guatá)**

A Formação Tatuí, de idade Eo-Permiana, recobre o Grupo Itararé e é constituída basicamente de siltitos e siltitos arenosos, com intercalações pouco proeminentes de rochas carbonáticas. Segundo Chahud (2011), podem ser classificadas quatro fácies principais nessa unidade: a inferior de arenitos finos e paleoambiente incerto, duas refletindo contexto não marinho e a de topo com influência marinha. As duas fácies do contexto predominantemente não marinho são respectivamente siltitos arenosos com fósseis de água doce e arenitos grossos ou conglomeráticos, denominadas fácies Ibicatu, localmente com caules fossilizados. Em sua porção de topo são encontradas grandes estratificações cruzadas e estratificações do tipo “*hummockie*”. O conteúdo fóssil dessa formação é basicamente constituído por caules vegetais, dentes e outras partes ósseas de peixes, palecípodos, gastropodos e palinórfos (SCHENEIDER et al., 1974).

A Formação Tatuí é exclusiva do estado de São Paulo, sendo o único representante do Grupo Guatá na região.

#### **4.2.1.3 Grupo Passa Dois**

O Grupo Passa Dois é representado por duas formações na região de estudo, são elas as formações Irati e Corumbataí.

A Formação Irati, do Permiano Inferior, é subdividida em Membro Taquaral (base) e Membro Assistência (topo). O Membro Taquaral é representado por siltitos cinzas e folhelhos cinza-esverdeados escuros, com espessura que varia de 3 a 15 metros. Por sua vez, o Membro Assistência apresenta folhelhos escuros pirobetuminosos intercalados com calcários dolomíticos e pelitos subordinados com presença de nódulos de sílica e estromatólitos. Segundo Perinotto & Zaine (2008), os sedimentos da Formação Irati foram depositados em ambiente misto lagunar e/ou marinho raso e esta apresenta espessuras da ordem de 40 m em superfície. Há diversos fósseis

característicos e descritos nesta unidade, como os répteis *Mesossaurus brasiliensis* e *Stereosternum tumidum* e os crustáceos *Paulocaris* e *Clarkecaris*, além de fragmentos vegetais, palinomorfos e restos de peixes.

O Membro Assistência é o que se encontra presente na área de estudo, onde se encontram presentes as intercalações descritas acima com um elevado grau de alteração, com presença de nódulos de sílica e fragmentos de troncos silicificados.

A Formação Corumbataí, de idade permiana, é composta principalmente por siltitos e argilitos de coloração que varia desde cinza-avermelhados/esverdeados até arroxeados. Entre as fácies de granulação mais finas ocorrem lentes e camadas de arenitos muito finos. O ambiente de deposição proposto para essa unidade trata-se de um ambiente marinho costeiro e pantanoso (principalmente dominado por marés) e eventualmente lacustre (PERINOTTO & ZAINE, 2008). Nesta região, esse pacote pode chegar até 100 metros de espessura, podendo conter coquinas, fósseis de moluscos e restos de peixes ósseos e cartilagineos (SIMÕES E FITTIPALDI, 1992). Dentre as estruturas encontradas nessa formação destacam-se as estratificações plano – paralelas.

#### **4.2.1.4 Grupo São Bento**

As formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral são as três representantes do Grupo São Bento. As três são correspondentes aos três períodos da era Mesozoica.

A Formação Pirambóia é composta predominantemente por arenitos médios a finos, com grãos esféricos a arredondados e coloração que varia de tons amarelados e esbranquiçados até avermelhados. No geral, apresentam estruturas como estratificações cruzadas, planar e acanaladas, porém, também há pacotes maciços, já os níveis pelíticos apresentam estratificação plano paralela (SCHNEIDER *et al.*, 1974). O ambiente deposicional é continental fluvial e desértico, com idade triássica, apresentando fósseis de crustáceos e bivalves (SIMÕES & FITTIPALDI, 1992). Assim como a Formação Pirambóia, a Formação Botucatu também é de predomínio de arenitos, porém essencialmente eólico, de ambiente desértico. Além dos arenitos bem selecionados eólicos há eventuais presenças de conglomerados e arenitos conglomeráticos formados por correntes efêmeras de drenagem no deserto Botucatu.

A Formação Serra Geral, do Cretáceo, é composta por derrames basálticos, diques e soleiras de diabásio na região (na região sul também há registros de magmatismo ácido), de coloração cinza escuro a preto com intercalações de camadas arenosas na porção basal. Segundo Soares & Landim (1975), trata-se de um magmatismo fissural que ocorreu nas condições desérticas da Formação Botucatu.

#### **4.2.1.5 Grupo Bauru**

Definido por Almeida & Barbosa (1953), a Formação Itaqueri, presente no topo das serras de Itaqueri, Santana, São Carlos e Cuscuzeiro é representante do Grupo Bauru na região de estudo, tratam-se de depósitos areno-conglomeráticos. Estende-se principalmente a partir das encostas do Planalto Ocidental Paulista para oeste, não ocorrendo na área de estudo (FREITAS, 1955, 1964; MEZZALIRA, 1974).

#### **4.2.1.6 Depósitos Cenozoicos**

A Formação Rio Claro, de depósitos aluvionares, é constituída por sedimentos mal consolidados cenozoicos presentes na região, com arenitos arcoseanos, arenitos conglomeráticos e argilitos, podendo atingir uma espessura de até 40 metros (SCHNEIDER et al., 1974).

#### **4.2.2 Contexto Estrutural Regional**

A área de estudo está inserida no contexto tectônico da borda leste da Bacia do Paraná, cuja evolução está relacionada à estabilização da Plataforma Sul Americana inserida no Supercontinente Gondwana, ao final do Ciclo Brasileiro. No interior da bacia, há uma série de lineamentos regionais nas direções NE-SW, NW-SE e E-W. O lineamento NW-SE, ou Rio das Pedras-Piracicaba-Ipeúna, tem suas falhas secundárias N-S e E-W concordantes com os diques intrusivos de diabásio relacionados à Formação Serra Geral. Já o sistema Passa Cinco-Cabeça, apresenta falhas normais com direção preferencial NW-SE e falhas isoladas NNE-SSW (SOUSA & MORALES, 1999). As zonas de falhas de direção NE-SW e NW-SE são as mais importantes e caracterizam os mais antigos eventos que foram ativos ao longo da evolução da bacia. A presença de grandes diques e deformação está associada a essas zonas de falhas de direção NW-SE (ZÁLAN et al., 1990).

Mais especificamente na região onde se encontra a área de estudo, os tipos básicos de estruturas que ocorrem na área são: sistemas lineares de falhas, falhas isoladas, horstes, grábens, domos e flexuras (SOARES, 1974).

As falhas são longitudinais ou oblíquas, concordantes e apresentam uma direção preferencial NW – N, com rejeitos pequenos (inferiores a 100m) e estão associadas à intrusões magmáticas presentes por toda região. De forma geral, o sistema de falhas está associado à subsidência da bacia, o que explica o fato deste ser longitudinal e concordante com a estrutura

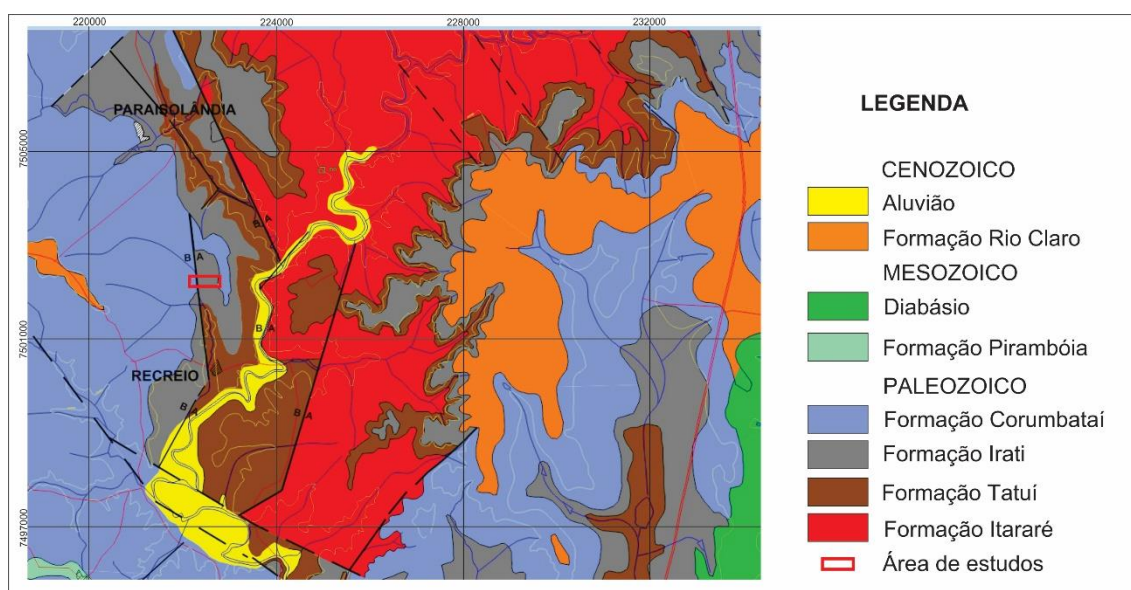
regional. As falhas obliquas estão frequentemente associadas a diques, estas podem ser contemporâneas as falhas longitudinais, porém a variação da direção em relação aos esforços dominantes permite a injeção de material magmático. O sistema de horst e gráben presente na área é caracterizado por um conjunto de falhas de direção, predominantemente, N40 – 50W (SOARES, 1974). O grande número de falhas nessa região faz com que cada setor apresente seu próprio mergulho, graças às diferenças de rejeito em falhas distintas.

Já entre as estruturas dômicas, a que mais se destaca é a estrutura do Domo de Pitanga, cuja presença faz com que porções das formações Irati, Tatuí e Itararé aflorem em áreas de ocorrência da Formação Estrada Nova.

O Alto Estrutural de Pitanga, foi reconhecido pela Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (1929 *apud* ALMEIDA & BARBOSA 1953) como uma estrutura anticlinal, e assim como citado anteriormente, é assimétrica, com sua borda Leste marcada por camadas inclinadas e sua borda Oeste (foco do estudo, figura 3.4) marcada por falhamentos (conforme indicado por SOARES et al. 1974, figura 3.5).

A parte estrutural também tem importância na geomorfologia da região, principalmente no que diz respeito às drenagens, boa parte delas segue as direções dos lineamentos estruturais (falhas de rejeito horizontal e falhas normais) com direções NE-SW (principalmente) e NW-SE, além de algumas quebras de relevo.

Figura 4.4 – Geologia e localização da Área, porção oeste do Domo de Pitanga.



Fonte: Etchebehere et al. (2015), adaptado de Sousa (2002).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A divisão dos resultados obtidos está apresentada seguindo as etapas de obtenção, que consequentemente refletem os métodos de obtenção dos dados.

Além dos resultados apresentados neste capítulo, foi elaborado um resultado final com a elaboração de figuras com suas devidas interpretações, resultado da integração dos resultados das diversas etapas, gerando o anexo 1 e 2, presentes ao final do trabalho.

A etapa de descrição estrutural detalhada e a verificação do funcionamento da técnica nomeada neste trabalho de “*pseudotrenching*” gerou uma sequência de 10 imagens utilizando o quadro com escala, e a partir das medidas estruturais foram gerados quatro estereogramas que estão divididos em: falhas com suas devidas estrias (com e sem esforços); fraturas sem deslocamento; medidas de acamamento representativas ao longo do afloramento.

As imagens processadas no software *Windows ICE*, geraram 4 imagens panorâmicas que ocupam e representam boa parte do afloramento.

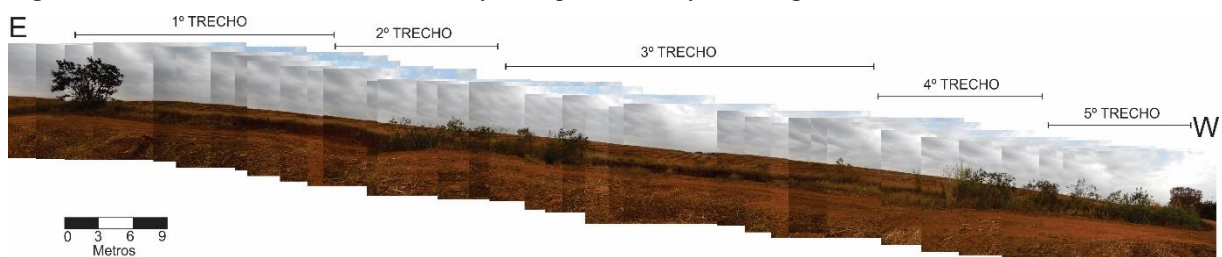
A partir do estudo geofísico de eletrorresistividade foram gerados dois perfis paralelos a porção com maior concentração de falhas no afloramento, sendo que apenas um deles foi utilizado na interpretação ao comparar com os demais resultados.

### 5.1 Descrição da linha de afloramentos

O conjunto de exposições que constitui a linha de afloramentos estudada é decorrente de uma linha de erosão acentuada, provavelmente escavada em seu início de progressão pela empresa agrícola que explora o terreno com o plantio de cana de açúcar, com o objetivo de drenar uma antiga lagoa, localizada no meio da vertente (figuras 1.2 e 3.4).

Segue abaixo uma sequência de 36 fotos integradas que representam o local onde se encontra o afloramento de forma panorâmica (Figura 5.1)

Figura 5.1 – Panorâmica da área de estudo feito a partir de 36 fotos integradas.



Já citado anteriormente, o afloramento apresenta rochas e perfil de alteração que correspondem principalmente à Formação Irati, mais precisamente o Membro Assistência. Não são encontradas rochas sãs, todas estão moderadamente a completamente alteradas.

Os locais onde há os fragmentos menos alterados apresentam intercalações de rochas finas como argilitos escuros e siltitos com camadas de carbonato, e presença de níveis de bonecas de sílex. Os níveis de pelitos e carbonatos variam de espessura que no geral possui apenas poucos centímetros.

Os “pacotes” observados podem ser apresentados na forma de quatro níveis, um nível inferior com fragmentos da Formação Irati, acima deste um nível argiloso amarelado, mal selecionado, amarelado com concentração de seixos na base, seguido de um nível de um solo argiloso avermelhado, também mal selecionado com clastos e nódulos de limonita, e por fim o nível endurecido no topo, preservando a crosta laterítica.

Além da Formação Irati e o produto de sua alteração, encontra-se uma intrusão básica altamente alterada e falhada na extremidade oeste do afloramento, correlacionada a provável *sill* das rochas básicas correlatas à Formação Serra Geral.

A respeito da formação da Laterita presente na porção superior do afloramento, presume-se que a mesma esteja *in situ*, ou seja, se formou no mesmo local em que se encontra atualmente, devido a sua espessura e pelo fato da mesma seguir o formato da encosta, indicando inclusive ter se formado posteriormente a formação do relevo.

## 5.2. Estrutural

O afloramento é marcado pela sequência de falhas com forte componente normal, constituindo em significativo arranjo de horstes e grábens alternados, com rotação de blocos e deformação do perfil de alteração e das coberturas superficiais, de rastejo de rampa de colúvio ou de alteração intempérica. Predominam falhas normais com rejeito de mergulho, mas foram reconhecidas também falhas de rejeito oblíquo e falhas com forte componente direcional.

O afloramento pode ser subdividido em cinco trechos, em que a contagem (apartir de uma origem, com o auxílio da trena) começa na extremidade leste da linha de afloramentos e onde os dois últimos não se encontram representados junto ao esquema principal.

O primeiro trecho, que começa na árvore utilizada como referência no trabalho, consiste apenas em um solo aflorante com mais de um nível de alteração e o nível laterítico no topo; neste trecho foram observadas apenas fraturas, sem deslocamento ou preenchimento. A figura 5.2 é a

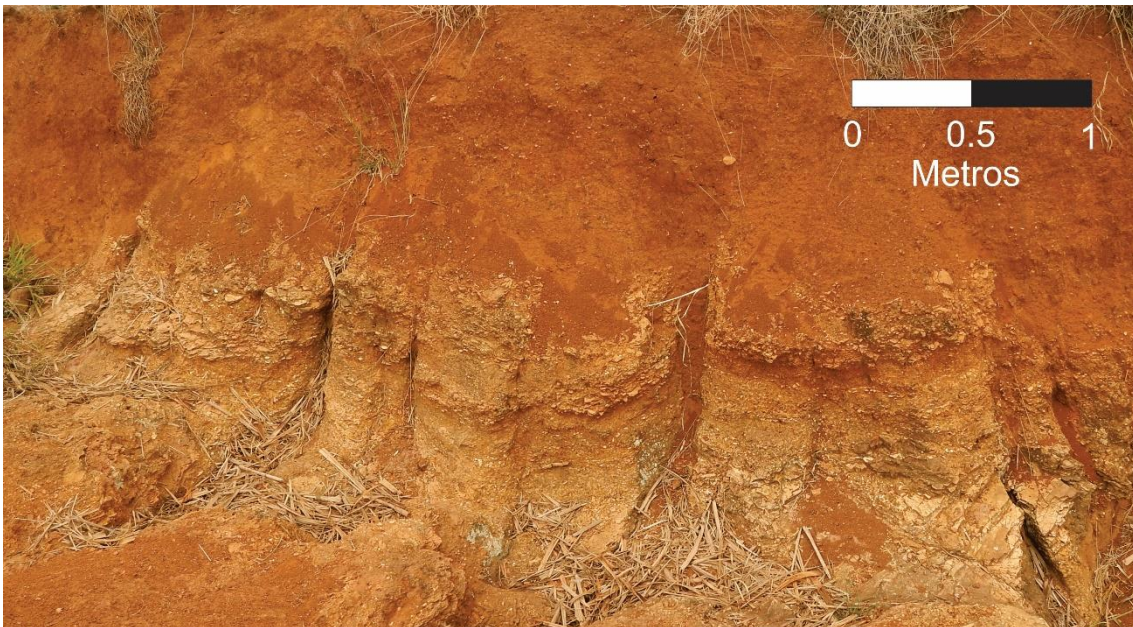
primeira imagem panorâmica, resultado da integração de uma série de imagens no software Windows Ice, representativa deste primeiro trecho descrito acima.

*Figura 5.2 – Primeiro trecho do afloramento, com solo variando de coloração e nível laterítico visível no canto inferior esquerdo, pequenos trechos da imagem foram completados pelo software.*



O segundo trecho caracteriza-se pela presença da rocha alterada recoberta pelo solo avermelhado. Neste trecho encontram-se fraturas abertas, preenchidas por material argiloso e avermelhado, semelhante ao material da cobertura de solo ferruginoso (figura 5.3). Algumas destas fraturas abertas apresentam deslocamento, caracterizando falhas. Também neste trecho encontra-se uma dobra, fragmentada por fraturas abertas e falhada (figura 5.4).

*Figura 5.3 – Fraturas abertas preenchidas por solo argiloso avermelhado, ferruginoso.*



*Figura 5.4 – Dobra aberta anticlinal, separada por fratura aberta e deslocamento da porção lateral esquerda, caracterizando uma falha.*



O terceiro e último trecho representado no esquema geral é marcado por uma sequência de horstes e grábens, com falhas normais em que a falha deixa lado a lado rocha alterada e solo ocre, outras vezes rocha alterada e solo ferruginoso. O horizonte de solo ferruginoso apresenta concentrações de pisólitos, ou seja, concreções subcentimétricas arredondadas de limonita, indicando transporte lateral declive abaixo. Estas concentrações são resultado da erosão, onde frentes de fluxo de colúvio (rampas de colúvio) migraram encosta abaixo, principalmente para dentro dos grábens. Pelo fato destas falhas afetarem as rochas alteradas, o perfil de alteração da Formação Irati, os materiais de fluxo de detritos das rampas de colúvio e, finalmente, os nódulos e concreções decorrentes da desagregação da crosta laterítica, pode-se deduzir que estas estruturas representam falhas neotectônicas. Apesar de em todo o afloramento os acamamentos apresentarem um pequeno mergulho, este é o trecho em que as camadas apresentam maior inclinação e as rotações dos blocos falhados estão mais evidentes.

As imagens 5.5 e 5.6 são resultado da integração de diversas imagens, gerando duas imagens panorâmicas que são representantes de pontos consecutivos do terceiro trecho. Como a

visada é para sul, as duas figuras representam as estruturas conforme observadas progressivamente de Leste (à esquerda) para Oeste (à direita).

*Figura 5.5 – Camadas inclinadas entre duas falhas, as variações do solo também se encontram inclinadas, indicando uma rotação posterior a alteração intempérica.*



*Figura 5.6 – Dois grábens próximos ao final do terceiro trecho, a parte interior dos grábens é preenchida por um solo com um nível de seixos de sílex e Laterita..*



Sobre as figuras 5.5 e 5.6, geradas a partir da integração de fotos no software Windows ice, foi feito um esquema englobando as duas representantes do terceiro trecho para a melhor visualização da inclinação das camadas e posição das falhas (figura 5.7).

*Figura 5.7 – Porção final do terceiro trecho, integrando duas imagens panorâmicas com o contorno de suas estruturas e inclinações das camadas marcados para melhor visualização das mesmas.*



O quarto trecho é o trecho onde a mata é mais fechada que as demais, o que impossibilitou estudar e definir suas características pelo estudo direto.

O quinto e último trecho se encontra próximo à estrada, onde a mata ainda é fechada, porém em uma clareira é possível ver com clareza o afloramento, neste ponto além da rocha e solo da Formação Irati, encontra-se uma soleira de diabásio, que está alterado com coloração verde e roxo amarronzado e aparentemente concordante com o acamamento da Formação Irati, e que também se encontra falhada. Devido à descontinuidade dos trechos, o quinto trecho teve uma representação a parte dos demais (figura 5.8).

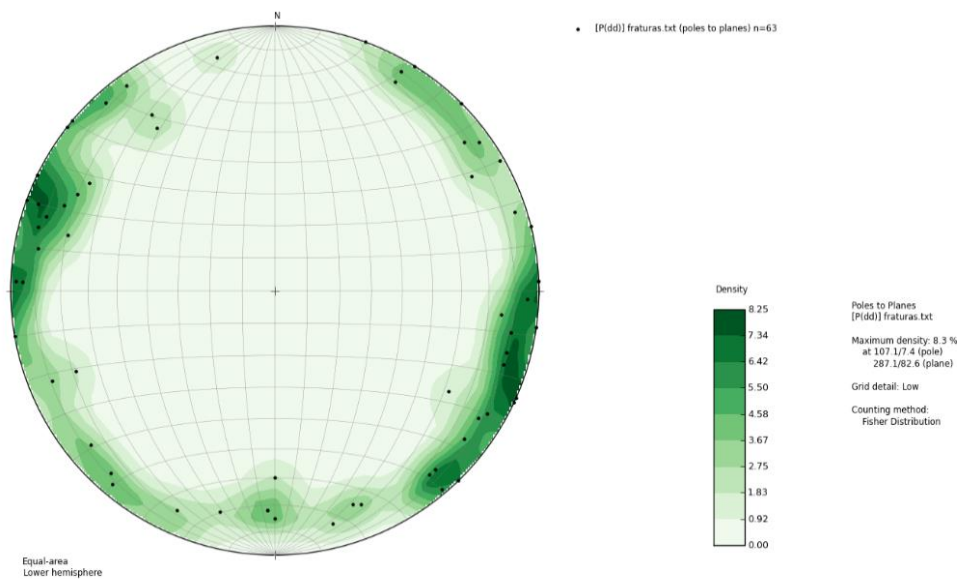
*Figura 5.8 – Diabásio alterado e falhado no último trecho do afloramento.*



### 5.2.1 Estereogramas e direções dos esforços

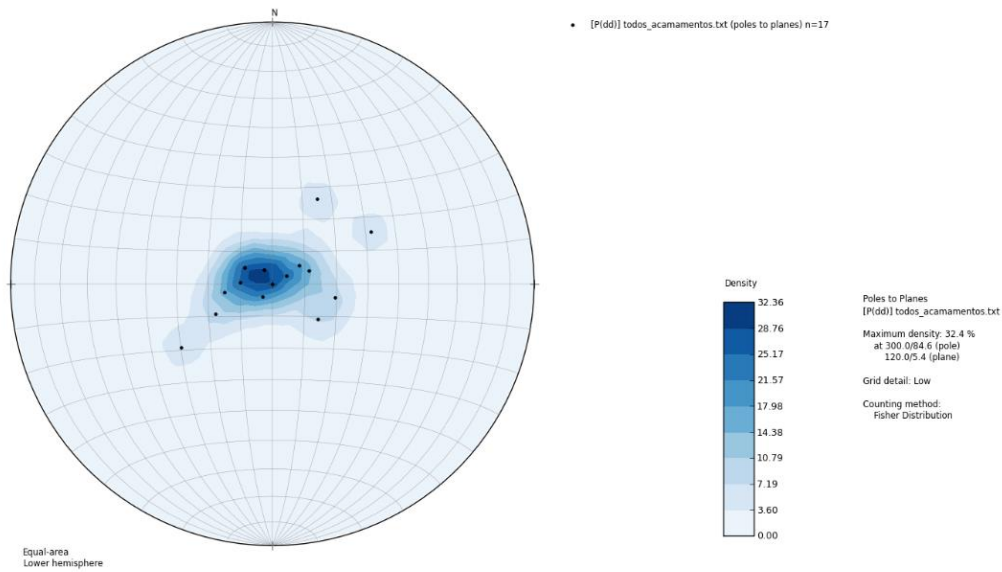
O primeiro estereograma gerado (figura 5.9) apresenta todas as medidas de fraturas descontando as falhas. Neste estereograma pode-se observar que há diversas famílias de fraturas, cujas orientações preferenciais são, em ordem de importância, N20E/subvertical, NS/subvertical, N50E/80NW e outras famílias secundárias, com direção E-W com mergulho para N e NW com mergulho subvertical.

Figura 5.9 – Estereograma com polos dos planos de fratura e seus contornos.



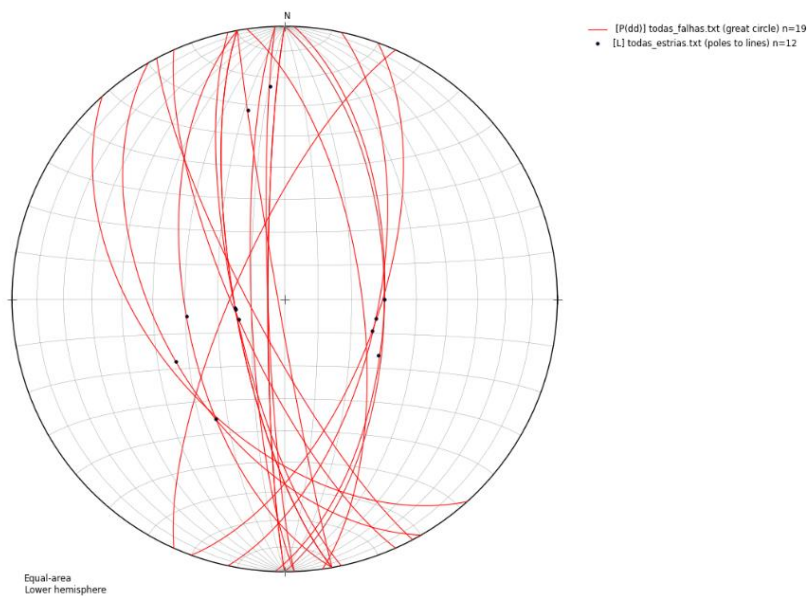
O segundo estereograma gerado apresenta os polos dos acamamentos e o contorno de concentração dos mesmos (figura 5.10), indicando que no geral os planos possuem uma baixa inclinação, próxima de horizontal, mas que há uma tendência em se inclinarem para NE e SW. Aliás, esta direção preferencial NE-SW é, no geral, perpendicular à direção preferencial das falhas encontradas (figura 5.11). Este fato, associado ao que foi observado em campo, indica que tais inclinações foram, em sua maioria, associadas a rotações e abatimentos dos blocos promovidos pelas falhas.

Figura 5.10 – Estereograma de Polos dos planos de Acamamento.



O terceiro estereograma (figura 5.11) possui as medidas das falhas (em grandes círculos) e, quando medidas, de suas estrias; as direções preferencias das falhas são de N10W, seguido de NS, e N30W, com um total de 19 falhas medidas e 12 estrias.

Figura 5.11 – Estereograma com planos de falhas representados pelos grandes círculos vermelhos e estrias.



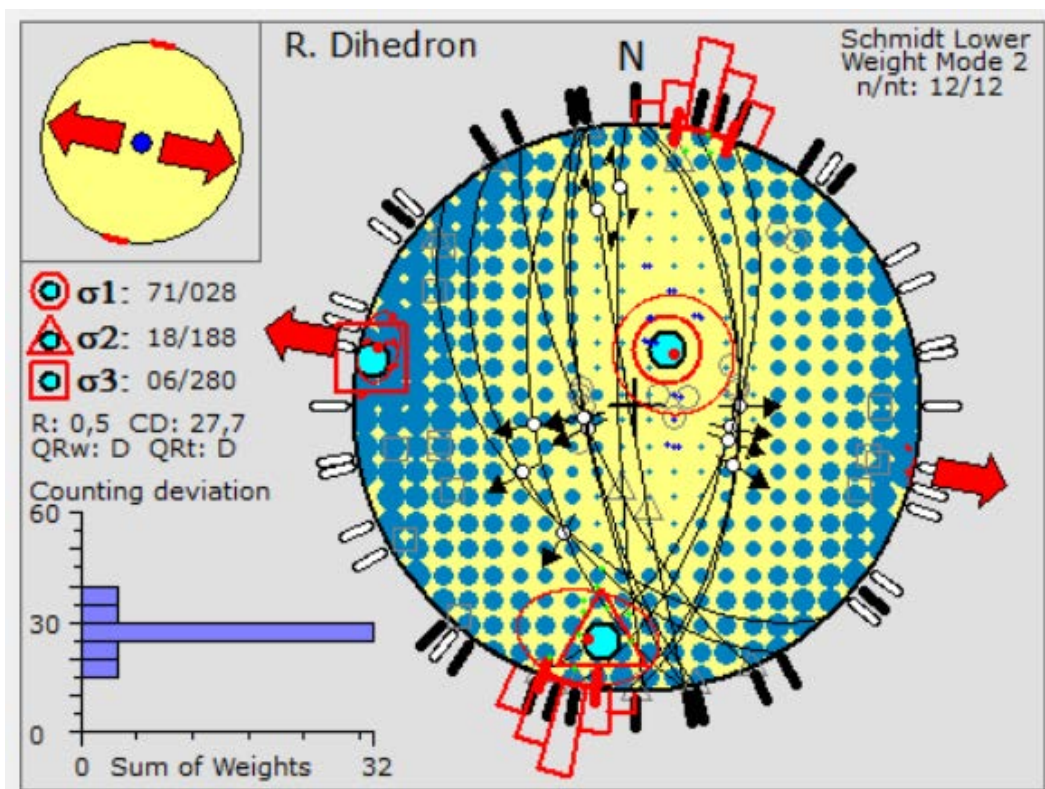
O quarto e último estereograma (figura 5.12), assim como o terceiro, possui as medidas das falhas e suas estrias, porém, foi gerado no software WinTensor, e apresenta informações adicionais

em relação ao anterior, neste estereograma são representadas as direções de Paleotensão Sigma 1 ( $\sigma_1$ ) de maior esforço, Sigma 2 ( $\sigma_2$ ) de esforço intermediário e Sigma 3 ( $\sigma_3$ ), de menor tensão, são representados respectivamente por círculos, triângulos e quadrados, Onde os  $\sigma$  marcados na cor preta são referentes a cada uma das falhas enquanto os em vermelho são representantes de uma resultante feita com a média dos dados que desconta apenas os valores muito discrepantes em relação a maioria. Estas informações permitem análises cinemáticas que serão abordadas a abaixo.

Há apenas duas falhas que apesar de obliquas são muito próximas de falhas transcorrentes, com direção muito próxima de NS e um valor alto de mergulho, seus sigmas possuem direções diferentes dos demais, logo não são incluídos e conseqüentemente não alteram a média por terem valores muito discrepantes com os demais como citado acima.

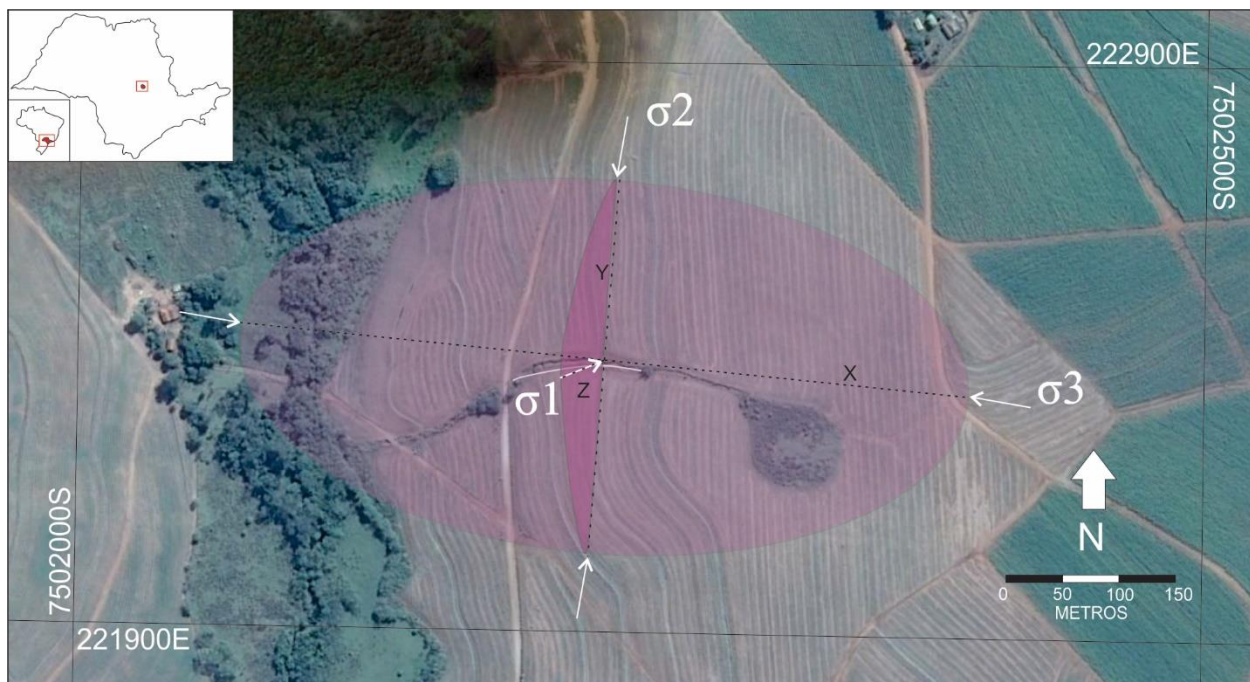
Em relação a grande maioria das medidas, observa-se que a direção de maior esforço ( $\sigma_1$ ) tem direção N28 com um caimento de 71 graus, junto ao  $\sigma_2$  formam um plano quase vertical, cuja direção seria NNE, este plano representa o plano com maior esforço, e em planta a direção do mesmo indica a direção de maior compressão. Enquanto a direção de menor esforço ( $\sigma_3$ ) encontra-se sub-horizontal, e sua direção por si só já representa em planta a direção de menor esforço e maior alongação, N280, que conseqüentemente reflete a resultante da direção da movimentação da maioria das falhas.

Figura 5.12 – Estereograma de falhas e estricas com Paleotensões gerado no Wintensor.



A partir dos dados de paleotensão foi possível representar no mapa da área as direções de paleotensões ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$ ), assim como o elipsoide de deformação com os eixos x, y e z, apresentados na figura (5.13).

Figura 5.13 – Direções dos paleoesforços representados no mapa com o elipsoide de deformação.



### 5.3 Pseudotrenching

Os resultados do “*pseudotrenching*” consistem em uma série de 11 imagens, que após o corte mantêm uma dimensão de 120x90cm; porém, devido a limitação de espaço no afloramento para conseguir o ângulo ideal pois as paredes da linha de erosão localmente são muito próximas entre si), as proporções das imagens não são totalmente iguais, devido à perspectiva. Apesar deste fator, a escala ainda é válida, possibilitando o estudo do afloramento mantendo, com pequeno erro, as dimensões das estruturas, assim como eventuais medições de rejeitos.

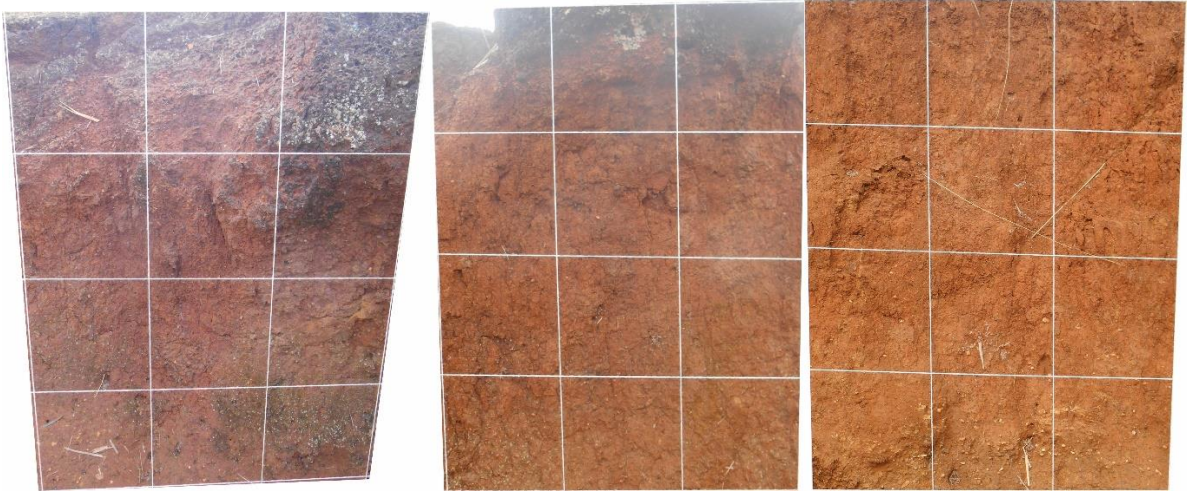
A sequência da captura das imagens seguiu a mesma ordem da sequência dos diversos afloramentos apresentados anteriormente, começando da porção mais alta para a mais baixa em direção a estrada.

As imagens encontram-se no anexo 1 devido a dimensão das mesmas e estão numeradas seguindo as descrições abaixo.

O primeiro “*pseudotrenching*” feito que se encontra no topo da linha de afloramentos (figura 5.14), apresenta três variações no solo, no topo a camada laterítica, com uma camada de

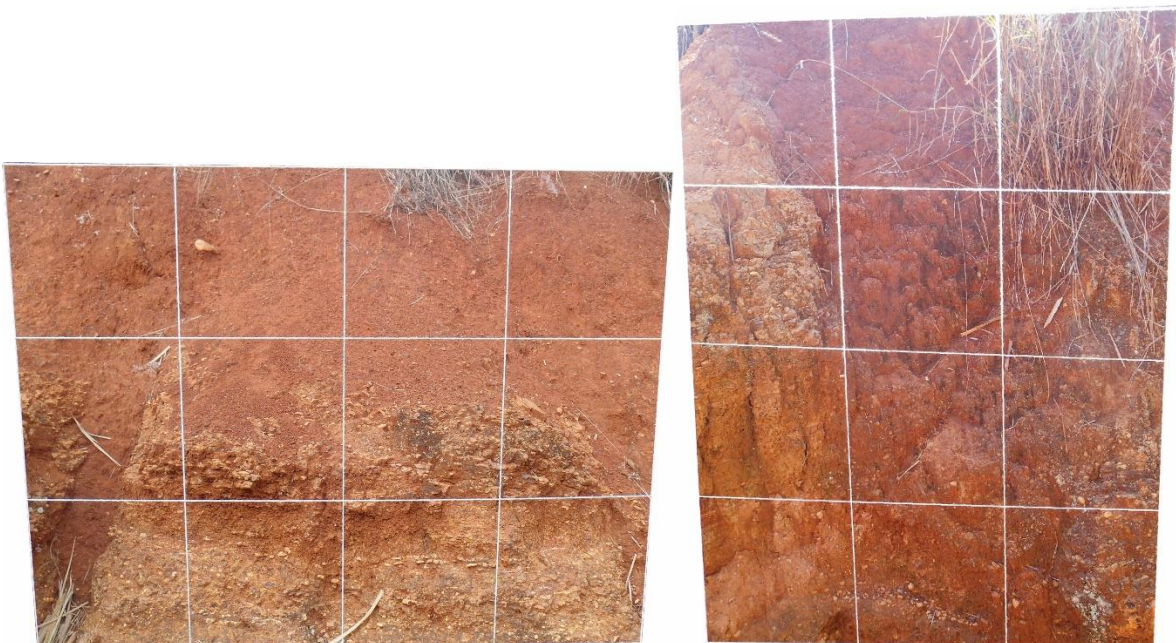
solo endurecida com Laterita abaixo e por fim encontra-se uma camada de solo com fragmentos da Fm. Irati. A segunda e terceira capturas (figuras 5.15 e 5.16), registradas logo em seguida, possuem apenas a camada endurecida e a camada de solo com fragmentos do Irati.

*Figuras 5.14, 5.15 e 5.16 – Capturas do primeiro trecho do afloramento, com laterita no topo, seguido de um solo ferruginoso e um solo com fragmentos de rocha.*



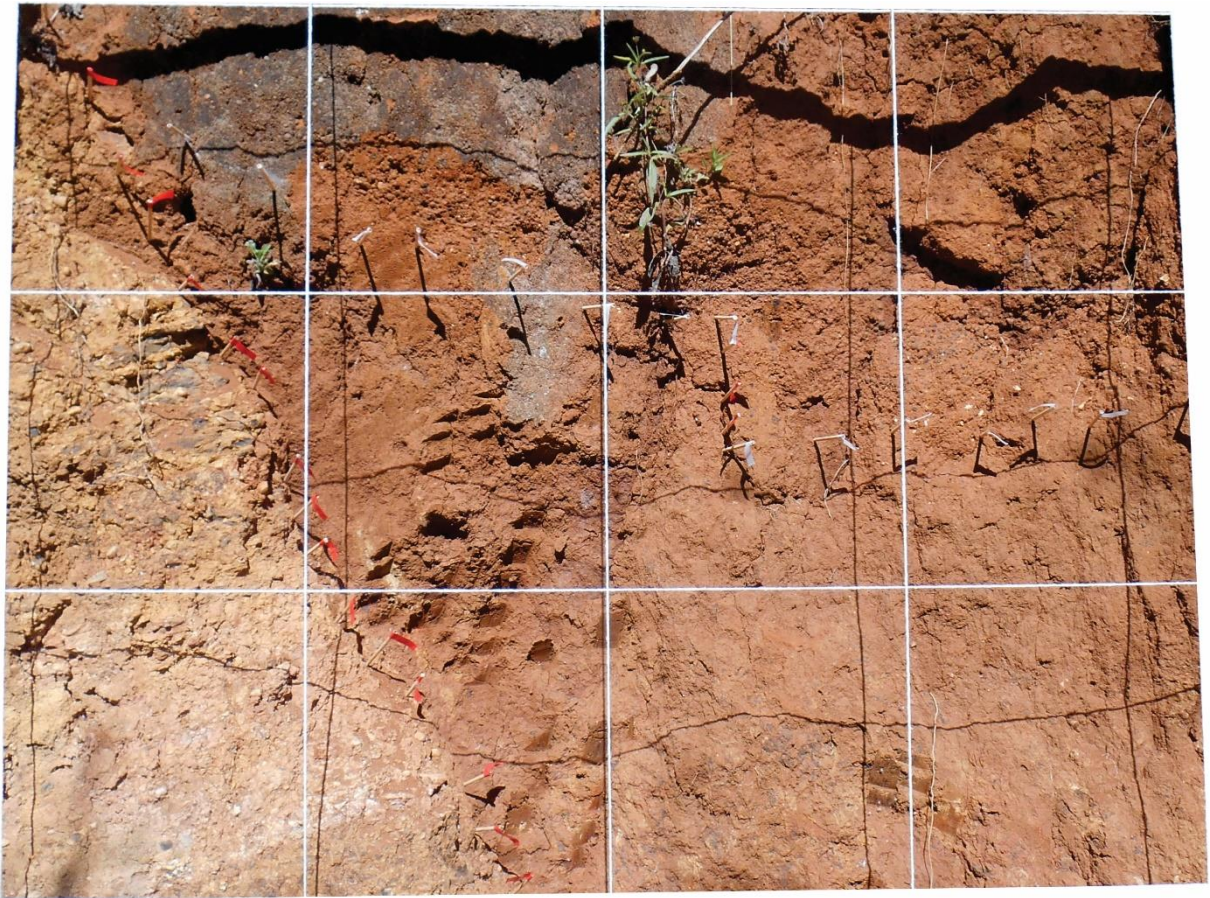
A quarta e quinta capturas (figuras 5.17 e 5.18), representantes do segundo trecho, apresentam o contato da rocha alterada da Fm. Irati na base com um solo avermelhado no topo, em que a rocha se encontra cortada por fraturas abertas.

*Figuras 5.17 e 5.18 – Fraturas abertas preenchidas por solo avermelhado ferruginoso.*



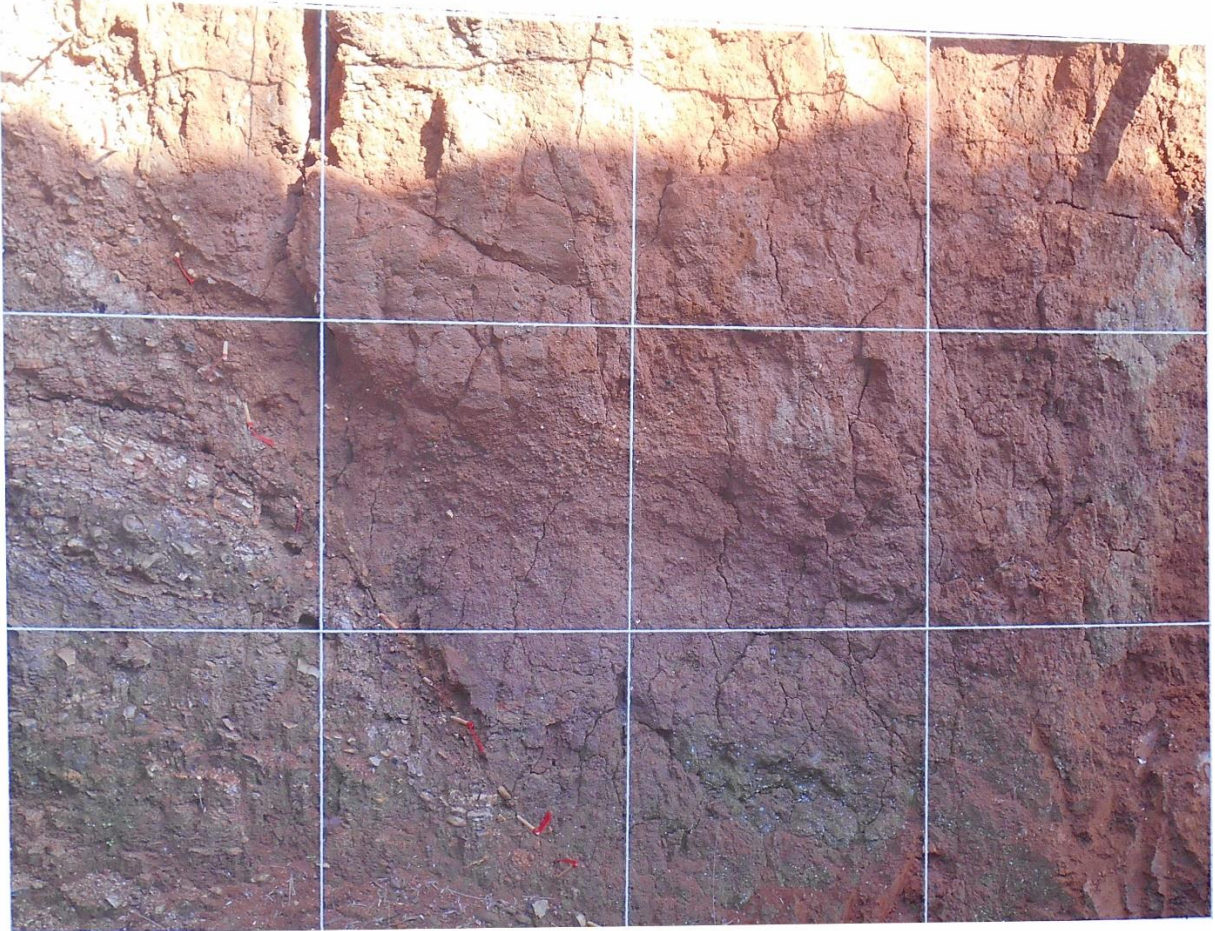
A partir do sexto registro, começam os “pseudotrenchings” realizados no terceiro trecho, onde há a maior concentração de camadas inclinadas e falhas na linha de afloramentos. O Sexto “pseudotrenching” (figura 5.19) apresenta uma grande falha com a rocha alterada da Fm. Irati a esquerda da falha e um solo avermelhado ferruginoso a direita, com presença de uma linha de seixos de fluxo de colúvio, que por sua vez também está com uma falha, porém com um rejeito pequeno, de cerca de 15cm, possível de identificar e medir com o auxílio das bandeirinhas na captura.

*Figura 5.19 – Captura de uma grande falha com uma pequena associada, com cerca de 15cm de rejeito.*



A captura de número 7 (figura 5.20) está localizada a direita de um horste, e consiste, assim como o anterior em uma falha onde a sua esquerda é observada a rocha alterada do Irati, desta vez com camadas se inclinando para baixo no contato com a falha normal, caracterizando dobras de arrasto, enquanto do lado direito da falha novamente o solo avermelhado está presente.

*Figura 5.20 – Falha com presença de dobras de arrasto na Fm. Irati.*



A última captura do terceiro trecho, de número 8 (figura 5.21), está posicionada na borda esquerda de um gráben, novamente com camadas inclinadas da rocha alterada no lado esquerdo e um solo avermelhado ao lado direito da falha.

Figura 5.21 – Falha na borda esquerda de um gráben..



No quinto trecho foram realizadas as três capturas finais, 9, 10 e 11, todas em seguida para gerar uma continuidade maior de imagens para a calibração do esquema. Segue abaixo um exemplo de aquisição das feições no “*pseudotrenching*”, com as devidas marcações em falhas no diabásio X Formação Irati (figura 5.22) com a captura de número 9 em seguida (figura 5.23).

Figuras 5.22 e 5.23 – Afloramento de diabásio falhado com marcações de bandeiras para a aquisição do “*pseudotrenching*”.



## 5.4 Eletrorresistividade

A partir do estudo geofísico de eletrorresistividade, foi gerado 2 perfis, ambos localizados em um mesmo local, um utilizando o arranjo Schlumberger e o outro Dipolo-Dipolo (figuras 5.24 e 5.25), em que a escala de cor apresenta cores quentes para valores mais altos de resistividade e cores frias para valores mais baixos.

Figura 5.24 – Perfil de eletrorresistividade gerado a partir do arranjo Schlumberger.

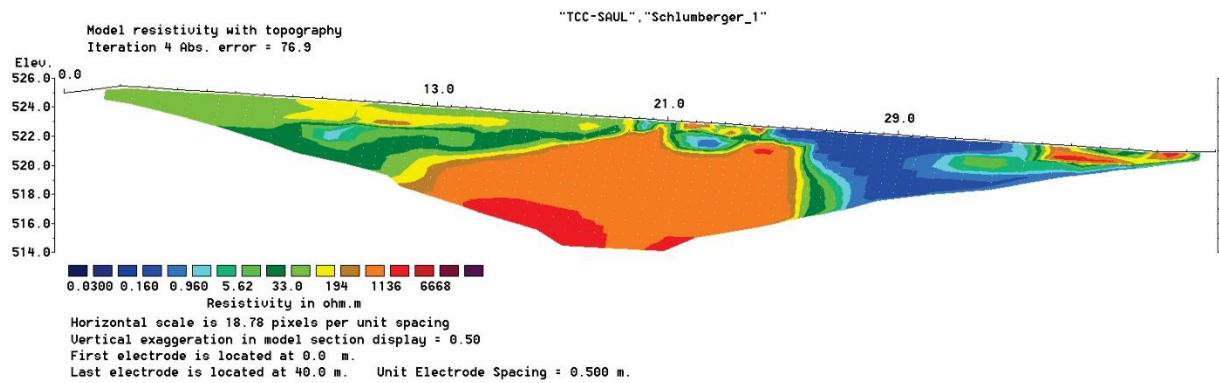
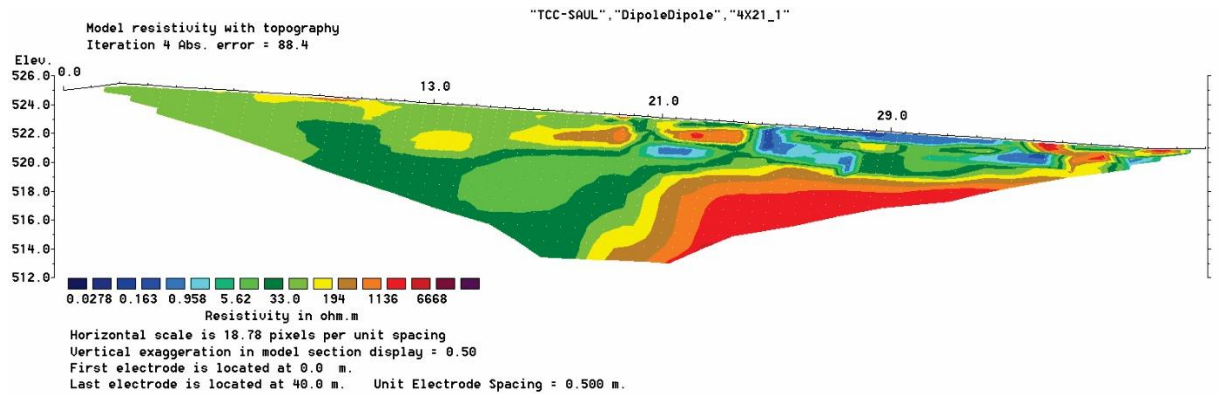


Figura 5.25 – Perfil de eletrorresistividade gerado a partir do arranjo Dipolo-Dipolo.



Os perfis foram tratados no software res2dinv, porém o perfil utilizado na comparação com o esquema geral e interpretado foi apenas o do Arranjo Dipolo-Dipolo, por apresentar resultados mais próximos a realidade observada no afloramento (Figura 5.26).

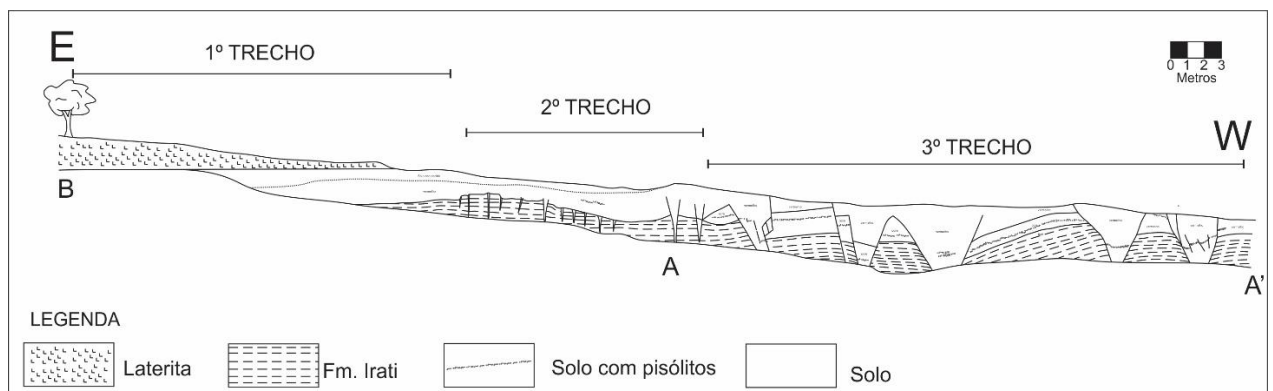


Por fim, além das estruturas já identificadas em afloramento, o perfil possibilitou indicar uma possível continuidade em profundidade destas falhas, em que um par de falhas em um graben se juntem em profundidade, onde apenas um plano de falha se propaga e também falhas presentes no trecho 4, cujo acesso não foi possível em campo, indicando presença de falhas sozinhas e sistemas de grabens assim como no trecho 3.

## 5.5 Esquemas

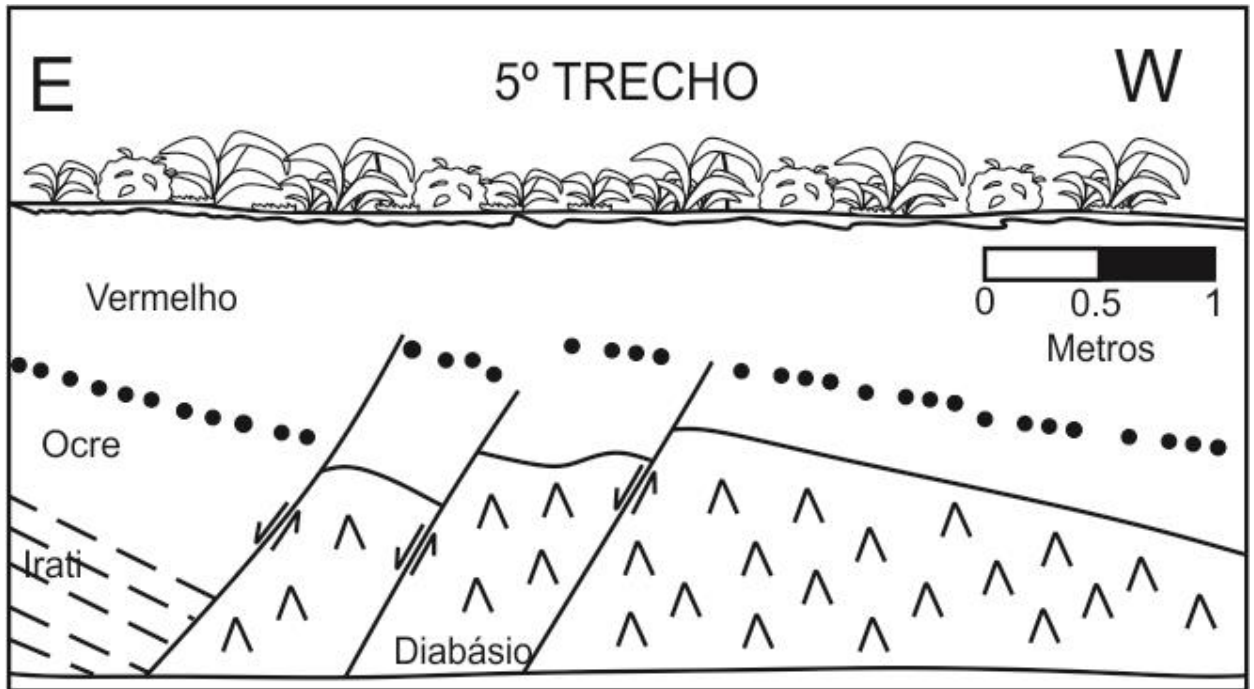
O esquema geral engloba os três primeiros trechos citados anteriormente e uma pequena porção do quarto trecho. Segue abaixo o perfil final (Figura 5.27), em que as letras na base têm como propósito apenas a amarração em mapa para verificar a fidelidade da distância dos pontos no GPS em relação a distância medida na trena, onde a diferença foi inferior a 4% enquanto os números indicam a posição da captura do “*pseudotrenching*”.

Figura 5.27 – Perfil Final calibrado com as imagens de “*pseudotrenching*”.



A figura 5.28 representa o quinto trecho, com a presença de falhas no diabásio alterado, formando um padrão de dominó. Como já citado é o trecho que presente em uma clareira em meio a mata fechada, na porção mais baixa do afloramento, próximo a estrada.

Figura 5.28 – Esquema do Trecho 5, próximo a estrada.



## 5.6 Apêndices

O trabalho possui dois apêndices em folhas A3, que se encontram ao final do Trabalho.

O Apêndice 1 apresenta a integração de uma série de imagens da sequência do afloramento junto ao esquema geral, com a posição do “*pseudotrenching*” indicado com as imagens do mesmo abaixo.

O Apêndice 2 traz a comparação do trecho em que foi realizado o caminhamento geofísico com o esquema em si, para identificar as estruturas vistas em campo e outras estruturas inferidas, como já apresentado no subcapítulo subcapítulo 4 deste mesmo capítulo.

## 5.7 Integração dos resultados

Como apresentado nos resultados, as falhas estudadas afetam não só a Formação Irati, mas também diferentes níveis de solo, camadas de seixos de frente de fluxo coluvionar e outros materiais inconsolidados, indicando que tais falhas são mais recentes que a formação destas feições e materiais. Este fator foi determinante para classificar as falhas como de origem neotectônica, apesar de não se saber com precisão a idade destes eventos. Para se obter uma aproximação mais

precisa da idade da geração destas falhas, seria necessária uma datação da Laterita, cuja idade é mais antiga a idade das falhas.

Saindo do afloramento, em direção a Oeste, encontra-se uma grande drenagem que, segundo o quadro da Geologia Regional, observável no mapa geológico (figura 4.4) é controlada uma grande falha normal, cuja direção é NNW, com bloco abatido a W, que representa o limite oeste do Domo de Pitanga, este fato junto aos valores semelhantes de direção de falhas encontradas neste trabalho sugerem que há a possibilidade de que estas falhas neotectônica tenham se formado como produto de uma reativação desta grande falha regional, outro fator que corrobora para esta hipótese é de que na própria linha de afloramento, a densidade de quantidade de falhas aumenta à medida que se aproxima das porções mais baixas, que são também, mais próximas a esta grande falha.

A geofísica apresentou resultados positivos no sentido de visualização das principais estruturas observadas no afloramento. O solo seco apresenta valores superiores de resistividade em relação a rocha alterada, tornando possível a identificação dos grábens presentes no trecho em questão. Valores baixos com pouca espessura acima de valores altos podem ser reflexo da presença de seixos de fluxo de colúvio, que contém fragmentos das rochas do Irati, deixando um pequeno rastro de valores baixos sobre os altos valores do solo. Além deste fator, alguns valores anômalos podem ser reflexo de porções mais úmidas no substrato.

Apesar de ser possível identificar as estruturas, o fato de ser um perfil de anomalia não permite que a continuidade e comprimento dos rejeitos sejam medidos com precisão, principalmente pelo fato de serem estruturas com rejeitos pequenos. Inclusive a dispersão dos valores por interpolação do software se torna maior que muitos dos rejeitos.

Em um âmbito regional, a literatura identifica muitas falhas na região, porém sempre representando as mesmas como verticais, pois são inferidas e traçadas em retas de rios. Apesar deste trabalho ser feito em uma escala muito pequena e limitado a apenas uma localidade, não são encontradas falhas verticais, assim como em muitos outros trabalhos de campo, levantando a possibilidade de que talvez muitas destas falhas inferidas não sejam verticais, e que nos trechos em que as retas dos rios acabam, as falhas podem aparecer em outras cotas, necessitando um mapeamento das mesmas considerando uma geometria descritiva a partir de um mergulho, que quase sempre é desconhecido.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho como já previsto, serviu o propósito de verificar a eficácia do método para este tipo de estudo e testar uma versão móvel de *Trenching*, além da própria descrição e análise das estruturas, possibilitando elaborar teorias sobre o desenvolvimento das mesmas assim como ligar as mesmas a um contexto regional.

No que diz respeito ao “*pseudotrenching*”, o método se mostrou útil para calibrar esquemas, de modo que os mesmos permaneçam com as proporções fiéis a realidade, além de permitir medir rejeitos e dimensões das estruturas estudadas. Trata-se de um método simples e que cumpriu sua tarefa, principalmente no que diz respeito ao estudo de detalhe.

Apesar de ter suas vantagens, o método também mostrou limitações, devido não só ao próprio método como também ao afloramento. As dimensões do quadro utilizado não foram suficientes para medir rejeitos maiores de 1,5 metros e dimensões de estruturas maiores, assim como não foi possível capturar nenhum trecho de sua porção mais baixa até o topo, porém, não seria viável fazer um equipamento maior, devido aos problemas de transporte e manuseio do mesmo. Devido a irregularidade do afloramento, em muitos pontos não havia a largura necessária para enquadrar o equipamento em uma foto, além de distorcer a mesma nas bordas, deixando uma imprecisão de poucos centímetros na dimensão ou requerendo a edição posterior da foto em algum software como o Coreldraw, que apesar de concertar as dimensões também perderia um pouco de sua precisão.

Como foi observado, a geofísica de eletrorresistividade mostrou resultados interessantes, com algumas estruturas, porém não todas, claramente pelo fato de deixar evidente apenas os pontos onde varia o material, que reflete na resistividade, portanto estruturas que cortam um mesmo tipo de material não são detectadas por este método, deixando evidente esta limitação da eletrorresistividade para o estudo de falhas.

As informações obtidas de direções de paleotensão e o elipsoide de deformação também foram dados importantes para compreender mesmo que localmente os processos responsáveis por gerar as falhas, possibilitando integrar tais dados com outros da mesma região, para compreender melhor as deformações em uma escala regional.

Por fim, pode-se dizer que o trabalho apresentou bons resultados, dentro do esperado e que dão margem a novos estudos, principalmente no que diz respeito a estudos em um âmbito mais regional, novos estudos geofísicos na sua proximidade para verificar a continuidade das camadas e melhor compreensão das limitações da eletrorresistividade neste tipo de estudo e uma datação

acompanhada de um estudo mais detalhado da origem da laterita para estimar com mais proximidade a idade das falhas e demais deformações encontradas no campo, além de uma possível datação pelo método de fotoluminescência (LOE) dos grãos de areia presentes no fluxo de colúvio, que também contribuiriam para datar melhor as falhas, gerando valores mais próximos da idade da falha do que a própria datação da laterita.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F. F. M. de. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, v. 41, p. 167–263, 1964.

ALMEIDA, F. F. M. de. **Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná**. In: Simpósio Regional de Geologia, 1, Curitiba. Anais... Curitiba: SBG, 1981.

ALMEIDA, F. F. M. de; BARBOSA, O. **Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo**. Boletim DNPM/ DGM, v. 143, p. 96, 1953.

ANDRADE, S. M.; SOARES, P. C. **Geologia de semi-detalhe do centro-leste do Estado de São Paulo**. Relatório interno, DESUL/PETROBRÁS. 1971.

BORGES W. R. **Investigações geofísicas na borda da bacia sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eletrorresistividade**. Dissertação de Mestrado, Usp, 2002.

CHAHUD, A. **Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ELIS, V. R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos**. 1998. 264f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

ETCHEBEHERE, M. L. de C.; MORALES, N.; SOUZA, I. A.; HASUI, Y.; BREDA, C. F. B. 2015. **Deformação Neotectônica no Alto Estrutural de Pitanga, Rio Claro (SP)** XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS IX INTERNATIONAL, Vitória - ES – Brasil

FREITAS, R. O. de. **Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru**. Boletim Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, v. 194, p. 1–185, 1955.

FREITAS, R. O. de. **Grupo Bauru**. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, v. 41, p. 126–147, 1964.

GROHMANN, C.H., CAMPANHA, G.A.C. and SOARES Junior, A.V., 2011. **OpenStereo: um programa Livre e multiplataforma para análise de dados estruturais**. In: XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos.

HASUI, Y. **Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil**. In: Boletim Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: 1990.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to Geophysical Exploration**. 3. ed. London: Blackwell Science, 2002.

MACHADO, F. B. **Petrologia e caracterização geoquímica das fontes mantélicas da região noroeste da província magmática do Paraná**. 2009. 209 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2009.

MATTOS, N. **Caracterização geológica e potencial para reservatórios no Grupo Itararé, na região Centro-Leste do Estado de São Paulo**. 2012, p. 64, TCC (Graduação em Geologia) - Unicamp, Campinas.

MELO, M. S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados – Sedimentação Neocenoica na Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1995.

MEZZALIRA, S. **Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru**. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, v. 51, p. 1–163, 1974.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**.

MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, CDR, p. 265-291, 2004.

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

MILSOM J. & ERIKSEN A. **Field Geophysics**. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74984-5, 2011

MORAIS REGO, L. F. A. **A Geologia do Petróleo no Estado de São Paulo**. Boletim Serviço de Geologia, Rio de Janeiro, n 46, 110p. 1930.

MORALES, N; HASUI, Y.; SOUZA, I.A. ; ETCHEBEHERE, M. L. C.; SALAMUNI, E.; SILVA, C. L.; SOARES JR., A.V.; VINCENTINI, M.G.C.. **Projeto mapa neotectônico do Brasil: Caracterização da deformação neotectônica do território brasileiro**. In: 47 Congresso Brasileiro de Geologia, 2014, Salvador - BA. Anais. Salvador - BA: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014. v. único.

PERINOTTO, J. A. J. & ZAINÉ, J. E. **Coluna Estratigráfica da Região de Rio Claro**. 2008. 12.

ROBINSON, E. S. **Basic Exploration Geophysics**. [S.l.]: John Wiley & Sons Inc., 1988. 562 p.

SCHNEIDER, R. L.; MULMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974.

SIMÕES, M. G.; FITTIPALDI, F. C. **Fósseis da região de Rio Claro, SP**. Arquivo do Município, Rio Claro, São Paulo State, 1992.

SOARES, P. C. **O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo**. Anais Academia Brasileira de Ciências, v. 44, p. 333–342, 1972.

SOARES, P. C. **Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e gênese**. (SBG, Ed.) In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: 1974.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. **Campanion between the tectonic Evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil**. Anais Academia Brasileira de Ciências, v. 48, n. supl., p. 313–324, 1975.

SOUSA, M. O. L. **Caracterização Estrutural do Domo de Pitanga – SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, 1997.

SOUSA, M. O. L. **Evolução tectônica dos Altos Estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D’Alho e Jiboia – Centro do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, 2002.

SOUSA, M. O. L.; MORALES, N. **Evolução Tectônica do Alto Estrutural de Pitanga – SP.**  
In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Lençóis. Anais... Lençóis: SBG, 1999. Disponível em: <[http://www.sbgeonucleobase.org.br/Simposios/SNET 7, 1999.pdf](http://www.sbgeonucleobase.org.br/Simposios/SNET_7_1999.pdf)>.

SOUSA, S. H. M. **Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 1985.

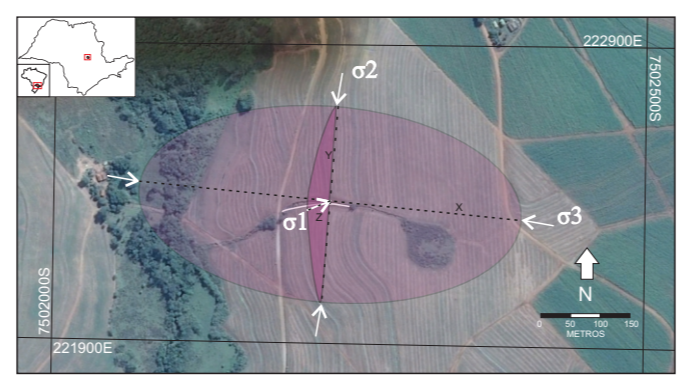
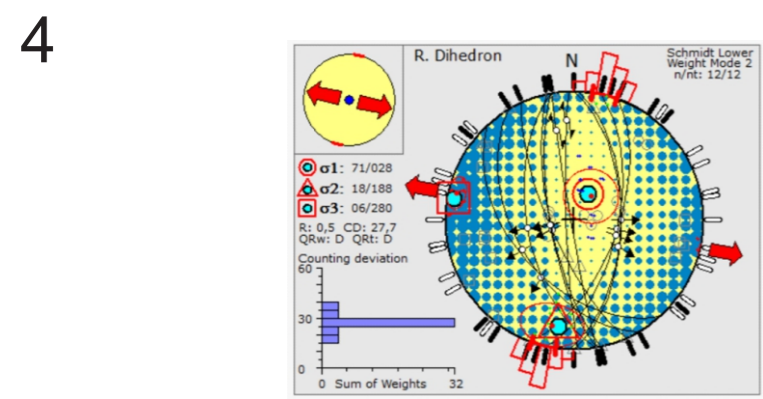
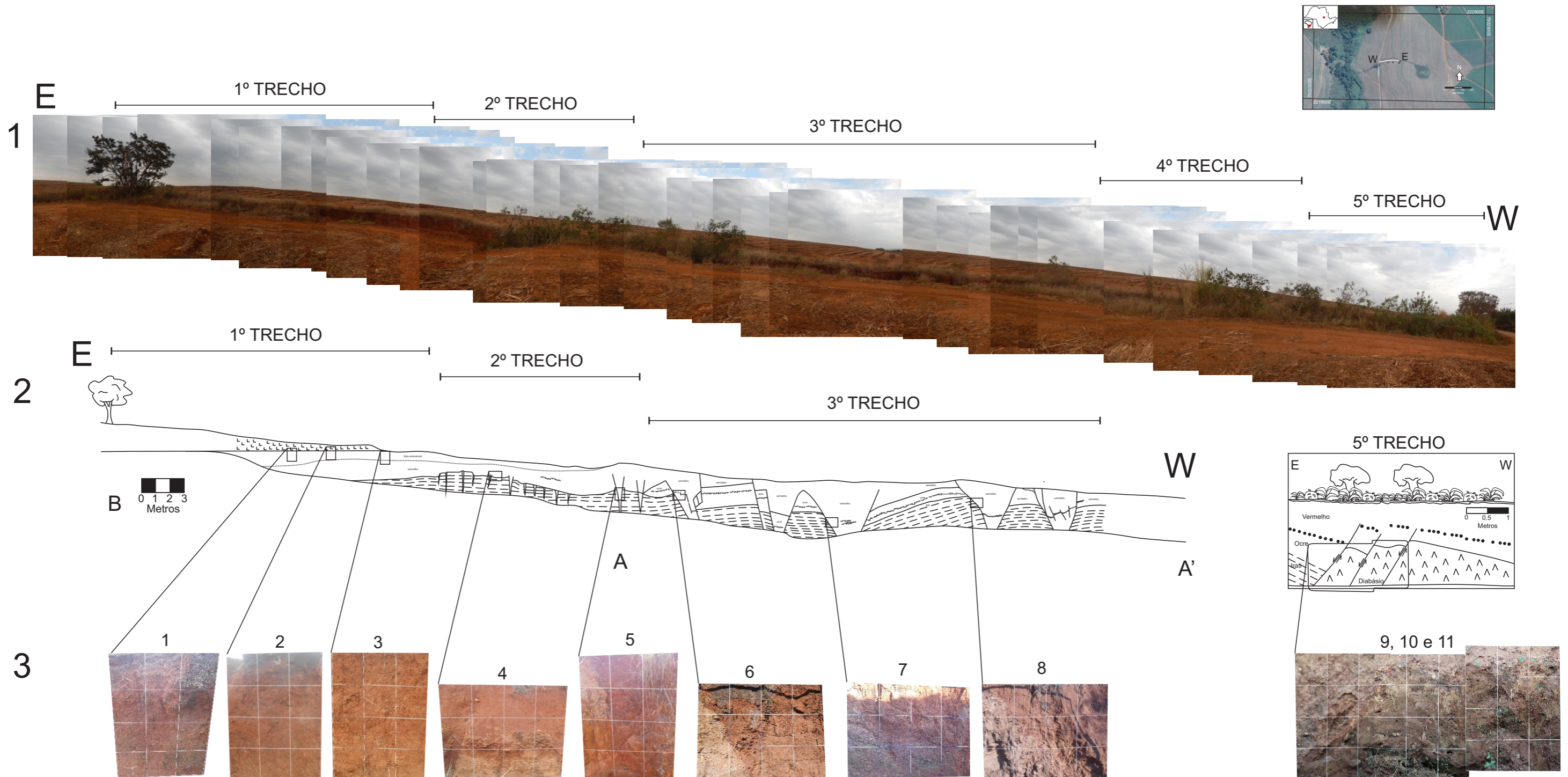
STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. **Neotectonics Continental deformation.** Oxford: Pergamon Press, 1994. p. 370-409.

ROBB, L. **Introduction to Ore-Forming Processes .** Blackwell Science Ltd, 2005.

TELFORD, W. M. W.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics.** London, UK: Cambridge University Press, 1990.

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

# Apêndice 1 - Integração de Imagens, Esquemas, Pseudotrenching e Paleoesforços

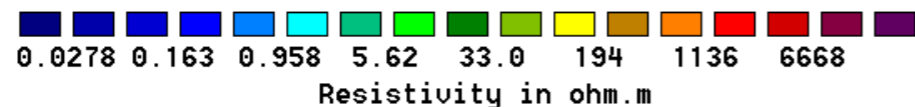
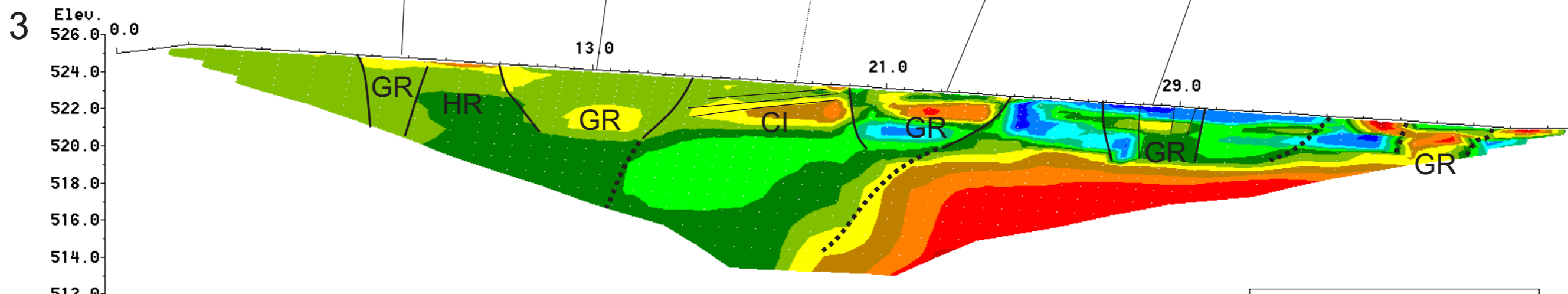
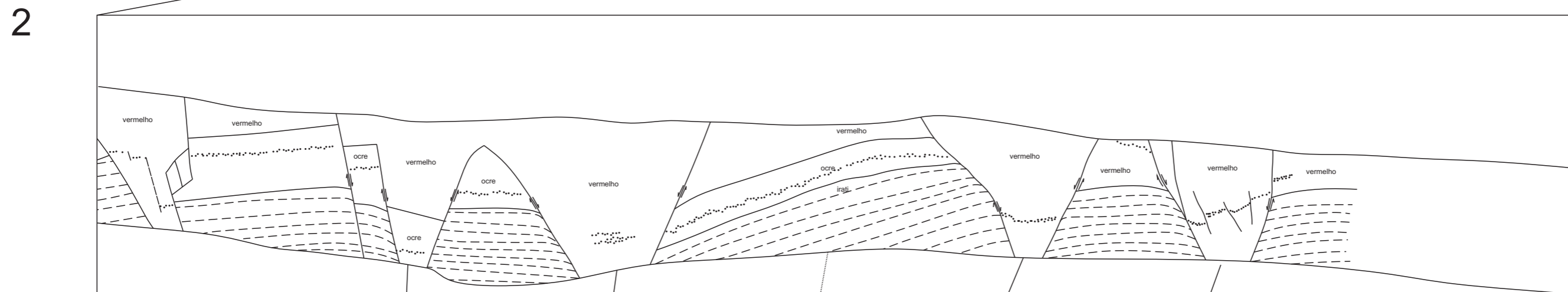
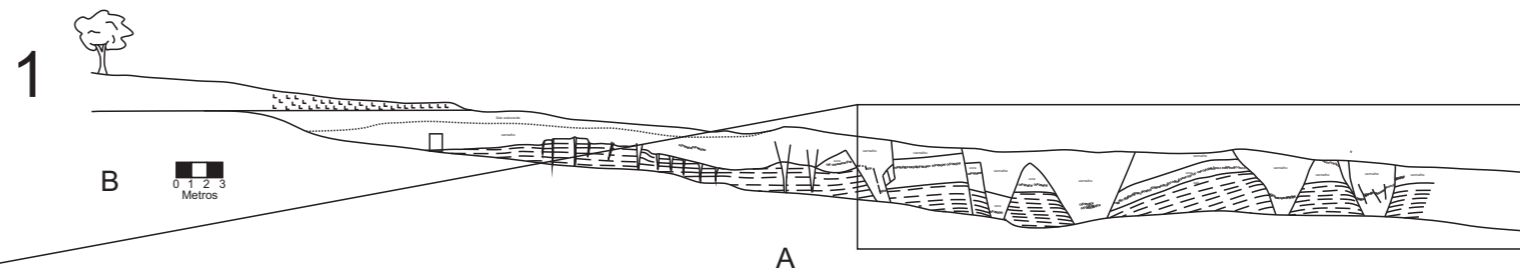


Lista de figuras:  
 1 - Integração de imagens da sequência do afloramento  
 2 - Esquema Geral e esquema do trecho final  
 3 - Imagens do Pseudotrenching  
 4 - Estereograma de Paleotensão e mapa com direções de maior esforço indicados assim como eixos de maior alongação.

# Anexo 2 - Comparação de Esquema Geral com Geofísica de Eletrorresistividade

Lista de Figuras:

- 1 - Esquema Geral
- 2 - Recorte do Esquema Geral para comparação
- 3 - Perfil Geofísico de Eletrorresistividade, usando o arranjo Dipolo-Dipolo



Horizontal scale is 18.78 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 0.50  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 40.0 m. Unit Electrode Spacing = 0.500 m.

