



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**

**ESTRUTURAS ASSOCIADAS À ZONA DE CISALHAMENTO DE  
JACUTINGA, BORDA SUL DA CUNHA DE GUAXUPÉ, SP-MG**

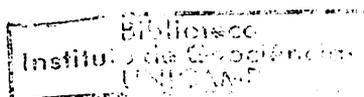
**JOSÉ HENRIQUE DA SILVA NOGUEIRA DE MATOS**

**Orientador: Prof. Dr. Celso Dal Ré Carneiro**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em  
08 de julho de 2010 para obtenção do título de  
Bacharel em Geologia pelo Instituto de  
Geociências da UNICAMP.

**Campinas – SP**

**Julho de 2010**



201026756

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS	
N.º CHAMADA	M4282
V. _____	EX. _____
TOMBO BC/	5051
TOMBO IG/	
PROC.	16.134.10
C <input type="checkbox"/>	D <input type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	14/10/10
N.º CPD	

cad. tit. 772588



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

ESTRUTURAS ASSOCIADAS À ZONA DE CISALHAMENTO DE  
JACUTINGA, BORDA SUL DA CUNHA DE GUAXUPÉ, SP-MG

JOSÉ HENRIQUE DA SILVA NOGUEIRA DE MATOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. Celso Dal Ré Carneiro

TCC Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Roberto Peres Xavier

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

Campinas, julho de 2010

Dedico este trabalho  
aos meus verdadeiros heróis,  
meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, a esses devo a vida, a educação, aos conselhos nos momentos mais difíceis e a me bancarem em todos esses anos na hora do aperto. Gostaria de ressaltar também que além de já terem autoridade adquirida na concepção, conseguiram muito mais com amizade, compreensão e bom humor. Muito obrigado, amo vocês. Ah, como posso me esquecer? Arrastei meu pai pro campo na realização deste trabalho.

A minha irmã e avó. A primeira que chegou bem depois em minha vida, mas já a queridinha de extrema importância. A segunda além de avó também é minha madrinha e, que de um jeito ou de outro sempre ajudou e cuidou de mim, e que possibilitou a realização de um de meus maiores sonhos.

A Vanessa, que também é conhecida como Linda, pela compreensão, companheirismo, amizade, parceria, organização, conselhos, simplicidade, alegria, torcida, amor e pelo inglês também.

Aos amigos de república e geologia, pela teimosia, pela risada, pela conversa sobre futebol, pelo porre, pela irritação, pela satisfação, pela ajuda, pelo churrasco, pela festa, pelo estudo. Em especial aqueles que sempre estiveram comigo, Finado, Paulo, Danilo, Bruno, Saulo, Gardenal, Bob, Felipão, Eric, André, Samuca, Japa, Amarildo (companheiro de Ceará Dreams).

Aos amigos de Ribeirão Preto, esses que por vezes não entendiam que para me tornar geólogo era preciso viajar, mas que sempre estavam lá, nem que fosse pra perder a madrugada no vídeo game, ou pra pescar tomando vinho com goiabada, Lucão (parça), Di Lello, Pessoa, Arthur e Kadu.

Aos meus professores por transmitirem o conhecimento necessário para me tornar geólogo e, a UNICAMP por viabilizar nossas viagens de campo. Em especial à Regina Célia de Oliveira, Ticiano José Saraiva dos Santos e Celso Dal Ré Carneiro que acreditaram durante a graduação que eu poderia realizar um bom trabalho, e a Roberto Perez Xavier pelo companheirismo, amizade e sinceridade nos trabalhos em campo.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

**Estruturas associadas à Zona de Cisalhamento de Jacutinga, borda sul da Cunha de Guaxupé, SP-MG**

José Henrique da Silva Nogueira de Matos

**RESUMO**

A Zona de Cisalhamento de Jacutinga é produto da intensa tectônica rúptil-dúctil do final da Orogênese Brasileira, que subdividiu a crosta na forma de grandes maciços e blocos tectônicos. Nessa etapa, que precedeu a formação de Gondwana, deformações tectônicas geraram grande variedade de tipos rochosos, diversos tipos de milonitos e intrincadas estruturas. Dado o interesse prático do estudo de associações estruturais de zonas de cisalhamento, a pesquisa focalizou a Falha de Jacutinga ou Zona de Cisalhamento de Jacutinga (ZCJ), que faz parte do limite sul da Cunha de Guaxupé. O trabalho envolveu compilação de mapas, levantamentos de campo, amostragem, construção de perfis geológicos e processamento de imagens de sensores remotos. Identificaram-se na ZCJ diferentes tipos de rochas e diversas feições associadas a milonitos. A zona de cisalhamento tem expressão regional e ultrapassa uma centena de quilômetros de extensão, com largura da ordem de cem até pouco mais de mil metros de largura. As descrições detalhadas dos principais tipos de estruturas e os dados de campo permitiram estudar os padrões deformacionais da área e analisar o controle exercido pela ZCJ na origem da Bacia de Eleutério, igualmente formada ao final do Evento Brasileiro. Na área urbana do município de Jacutinga, descobriram-se neste estudo restos de coberturas sedimentares areno-silto-argilosas, contendo níveis de cascalhos basais. A ocorrência foi correlacionada a outras manchas de sedimentos neogênicos dos terrenos neoproterozóicos do sudeste brasileiro. Os resultados obtidos podem subsidiar estudos de ocupação regional e aproveitamento de recursos minerais e hídricos na região, com ênfase para água subterrânea.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**Sumário**

<b>Capítulo 1: INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2: LOCALIZAÇÃO, OBJETIVOS E MÉTODOS</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos da pesquisa</b>	<b>2</b>
<b>Localização</b>	<b>2</b>
<b>Método de trabalho</b>	<b>3</b>
Descrição de unidades litológicas e estruturas	4
Criação e manutenção de bancos de dados	4
Processamento digital de Imagens	5
Descrição petrográfica de amostras	5
Análise das estruturas locais	5
<b>Capítulo 3: COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA E GEOLOGIA REGIONAL</b>	<b>7</b>
<b>Evolução regional</b>	<b>11</b>
Faixa Brasília	13
Nappe Socorro-Guaxupé.....	15
Faixa Ribeira	16
Bacia de Eleutério .....	18
<b>Coberturas neogênicas</b>	<b>21</b>
Coberturas sedimentares cenozóicas	21
Coberturas aluvionares	22
<b>Capítulo 4: DISTRIBUIÇÃO DA ZONA DE CISALHAMENTO JACUTINGA</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo 5: FISIOGRAFIA E GEOMORFOLOGIA</b>	<b>26</b>
<b>Fisiografia regional</b>	<b>26</b>
<b>Geomorfologia</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo 6: RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>29</b>
<b>Sensoriamento Remoto</b>	<b>29</b>
Imagens Landsat 7 ETM+	29
Imagens SRTM	31
Imagens de processamento geofísico	33
<b>Unidades litológicas</b>	<b>35</b>
Domínio metassedimentar	35
Domínio orto-derivado	36
Rochas da Zona de Cisalhamento de Jacutinga	38
Milonitos e brechas tectônicas.....	38
Rochas sedimentares e rochas paraderivadas de baixo grau metamórfico .....	41

Rochas sedimentares neogênicas	43
<b>Estruturas tectônicas</b>	<b>45</b>
Foliações e lineações	45
Dobras intrafoliais	51
<b>Recursos Minerais e Hídricos</b>	<b>52</b>
<b>Capítulo 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>53</b>
<b>Referências</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>60</b>
1- Mapa da Geologia Regional (CPRM modificado)	
2- Mapa de Localização	
3- Mapa de Geologia Regional (Campos Neto M.C. 2004 modificado)	

## **Capítulo 1:**

### **INTRODUÇÃO**

A Falha de Jacutinga ou Zona de Cisalhamento de Jacutinga (ZCJ) desenvolveu-se durante a intensa tectônica rúptil-dúctil do final do Evento Brasileiro, que segmentou a crosta na forma de grandes maciços e blocos tectônicos. O presente projeto focaliza especificamente a Zona de Cisalhamento de Jacutinga (ZCJ), que faz parte do limite sul da Cunha de Guaxupé (ALMEIDA, 1976).

As rochas neoproterozóicas da região sudeste do Brasil são cortadas por sistemas de falhamentos transcorrentes, alinhados segundo NE, cuja atividade perdurou até o final da Orogênese ou Ciclo Brasileiro. As zonas de cisalhamento transcorrentes regionais podem apresentar centenas de quilômetros de extensão, assim como mais de uma centena até entre 1 e 2 mil metros de largura. A ZCJ se estende desde o Sul Mineiro e possivelmente segue até o norte do Paraná (ROSTIROLLA, 2000), como integrante do embasamento da bacia do Paraná. Os mapas disponíveis acham-se em escala regional, sendo possível distinguir a posição da zona de cisalhamento, sem porém ter sido estabelecida a distribuição dos diferentes tipos de milonitos e rochas associadas.

O segmento estudado da Falha de Jacutinga baliza a Cunha de Guaxupé desde a região de Pouso Alegre, a NE, em Minas Gerais, até o Estado de São Paulo, a SW.

## **Capítulo 2:**

### **LOCALIZAÇÃO, OBJETIVOS E MÉTODOS**

O presente projeto de pesquisa propôs-se a estudar a distribuição e caracterização das rochas integrantes da Zona de Cisalhamento de Jacutinga (ZCJ) na área compreendida entre os municípios de Itapira (SP) e Jacutinga (MG).

#### ***Objetivos da pesquisa***

A pesquisa tem como objetivo principal caracterizar os principais tipos rochosos que ocorrem na Zona de Cisalhamento de Jacutinga (ZCJ) e estruturas associadas. Nesse contexto, as rochas que melhor demonstrem o cisalhamento da região que compreende o município de Jacutinga, o distrito de Eleutério, e a vila de São Luis.

A região está inserida nas mega-zonas transcorrentes do sudeste brasileiro, brasilianas e pós-brasilianas, que causaram a formação de bacias sedimentares durante o ciclo brasileiro com eixo principal ENE e, evolução ligada sistemas deltaicos. A evolução da bacia de Eleutério está diretamente ligada a este contexto tectônico, e devido ao seu caráter tectônico também é alvo deste trabalho com a descrição de alguns pontos principalmente àqueles que indiquem sua origem.

#### ***Localização***

A presente área se encontra entre os municípios de Itapira-SP e Jacutinga-MG, próxima ao distrito de Eleutério a sudoeste e, ao município de Albertina a norte, a vila de São Luís a oeste de Jacutinga encontra-se inserida na porção leste da área. A figura 1 mostra a região alvo deste trabalho, as principais estradas vicinais e os lineamentos estruturais.

As principais vias de acesso a região são: a partir de Belo Horizonte-MG pela rodovia Fernão Dias e posteriormente rodovia MG-290 sentido Ouro Fino-MG. Por Campinas-SP pela SP-340 até SP-147 para Itapira-SP, de lá parte-se para o distrito de Eleutério e Jacutinga pela Rodovia Comandante Virgulino de Oliveira.

O anexo 2 utiliza-se de uma base topográfica, para representação de um mapa com as principais rodovias e acessos a região de Jacutinga e Itapira, nele estão as principais referências geográficas para melhor identificar a região.

A figura 4 é o mapa geológico da bacia de Eleutério que está geologicamente inserida na região estudada, este mapa serve de guia para a visitação dos pontos chaves escolhidos neste trabalho e define a área de estudo como a região da bacia e arredores.

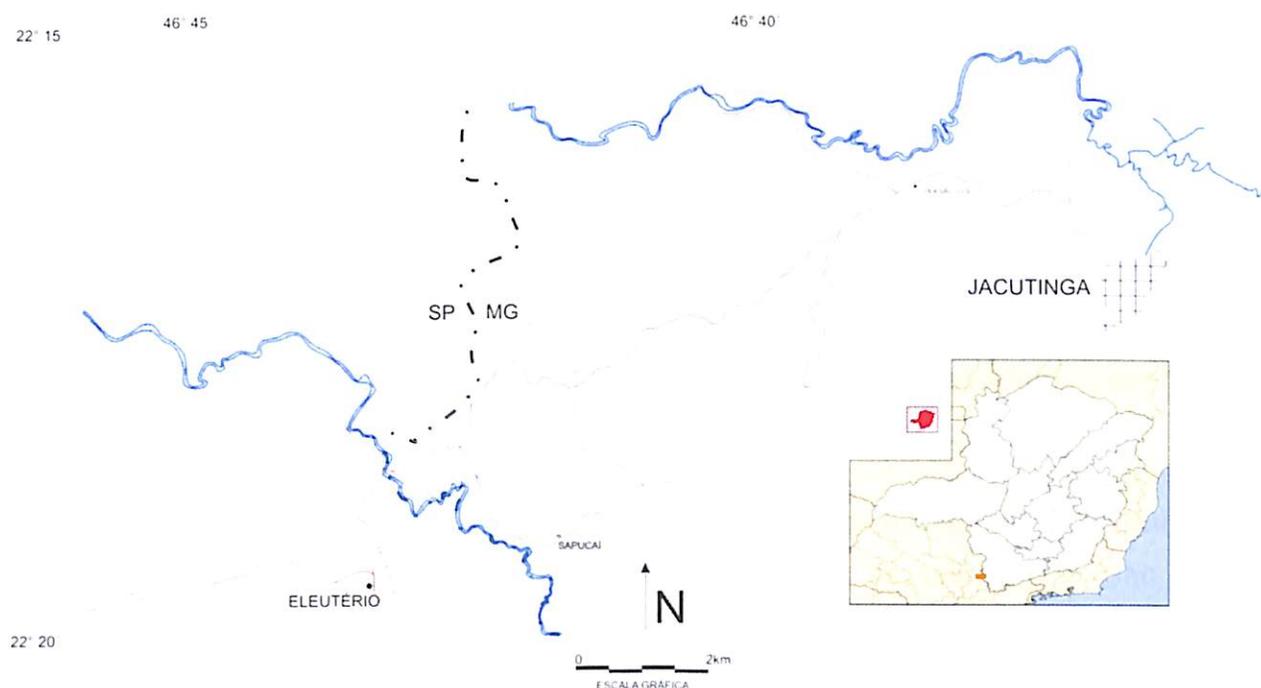


Figura 1: Mapa de Localização, região de Jacutinga e distrito de Eleutério.

### ***Método de trabalho***

O trabalho se iniciou pela compilação de dados sobre geologia da região do Sul Mineiro, processamento de imagens e definição das principais estruturas, reconhecidas por meio de sensoriamento remoto. Utilizou-se como referência o banco de dados digital da CPRM para facilitar a definição dos corpos litológicos. Na segunda fase da pesquisa foi realizado, em função do escopo, trabalho de campo limitado com a finalidade de proporcionar descrição do maior número possível de afloramentos, e confecção de alguns perfis transversais à ZCJ.

Amplo estudo bibliográfico sobre o contexto geológico regional teve a finalidade de apoiar a elaboração de descrições detalhadas e o processamento digital dos dados recolhidos em campo, tais como os diferentes tipos de rochas miloníticas, relações estruturais, indicadores cinemáticos, variações regionais da intensidade de deformação e distribuição das zonas afetadas por cisalhamento.

Para formar a base de dados de estruturas organizou-se um acervo digital das descrições de campo e fotografias feitas nas visitas de campo. As fotos foram catalogadas e armazenadas em banco de dados com bons exemplos de milonitos, indicadores cinemáticos e padrões de deformação nesse tipo de rocha.

### Descrição de unidades litológicas e estruturas

Existe grande variedade litológica na região, pois se trata de zona dominada por granitos e gnaisses, além de rochas que apresentam feições miloníticas e outras de natureza mais jovem, representadas por sedimentos depositados em bacias de caráter molássico.

O lançamento das informações estruturais de campo é fundamental para garantir traçado preciso e interpretação de imagens de satélite, por isso foram realizadas três viagens de campo, durante as quais foram feitas descrições de afloramentos e foram coletados dados de foliações e lineações e amostras para estudo em laboratório. Os principais afloramentos foram fotografados e identificada a sua localização geográfica. Este trabalho privilegiou o reconhecimento local em escala de detalhe, já que apenas por meio de estudos em áreas reduzidas é possível determinar os padrões estruturais das unidades miloníticas e reconhecer eventuais variações.

### Criação e manutenção de bancos de dados

Atividade essencial para projetos que utilizam tecnologia SIG é a permanente manutenção de bancos de dados. A atualização das bases de descrições de afloramentos visitados no campo foi permanente, estendendo-se à organização dos dados resultantes da interpretação das amostras e lâminas petrográficas.

## Processamento digital de Imagens

Imagens de satélite, radar e composições feitas a partir de dados geofísicos revelam muito sobre as principais feições estruturais, fisográficas e litológicas da superfície e sub-superfície terrestre. Neste trabalho foram utilizadas imagens de Landsat/ETM+ para melhor compartimentação geológica, imagem SRMT para facilitar o traçado dos principais lineamentos e, composições criadas a partir de levantamento magnetométrico que revelassem as principais estruturas da área em questão.

## Descrição petrográfica de amostras

O estudo petrográfico das amostras coletadas no campo foi sistemático, partindo-se das informações de campo e da descrição de cada afloramento (total 44), para localizar as eventuais questões formuladas no terreno que possam ser resolvidas e/ou encaminhadas durante a análise petrográfica (total 4 lâminas). Os passos seguidos foram:

- 1) Descrição mesoscópica sucinta envolvendo cor, estado de alteração, mineralogia essencial e eventuais foliações e lineações;
- 2) Identificação e descrição dos constituintes mineralógicos principais e acessórios, envolvendo estimativa de percentagens, para obtenção de composição modal para melhor classificar a rocha;
- 3) Descrição dos aspectos microestruturais da amostra, ou seja, mineralogia da matriz, foliações, bandamentos, textura e petrotrama;
- 4) Classificação petrográfica das rochas.

As descrições encontram-se no capítulo Resultados Obtidos, onde se descreve cada unidade litológica.

## Análise das estruturas locais

A análise envolveu a produção de gráficos sistemáticos, em rosácea e estereograma de Wulff, dos dados de lineamentos, foliações, lineações. Descreveu-se

petrograficamente as microestruturas nas amostras coletadas na zona de cisalhamento e, por meio do banco de dados fotográfico digital analisaram-se imagens, com a finalidade de reconhecer padrões para as principais estruturas e tipos litológicos que compõem a ZCJ.

## Capítulo 3:

# COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA E GEOLOGIA REGIONAL

A compartimentação tectônica regional do embasamento da área de estudo consiste da junção de três blocos crustais, designados Brasília, São Paulo e Vitória (HARALYI & HASUI, 1982), como apresentado na figura 2. Os limites, identificados com base em grandes anomalias gravimétricas e magnetométricas, correspondem às zonas de cisalhamento Paraíba do Sul e Campo do Meio e cinturões de rochas metamórficas de alto grau, interpretados como segmentos da crosta inferior alçados por processos colisionais (HASUI, 1983; HARALYI *et al.*, 1985 *apud* BRAGA, 2002).

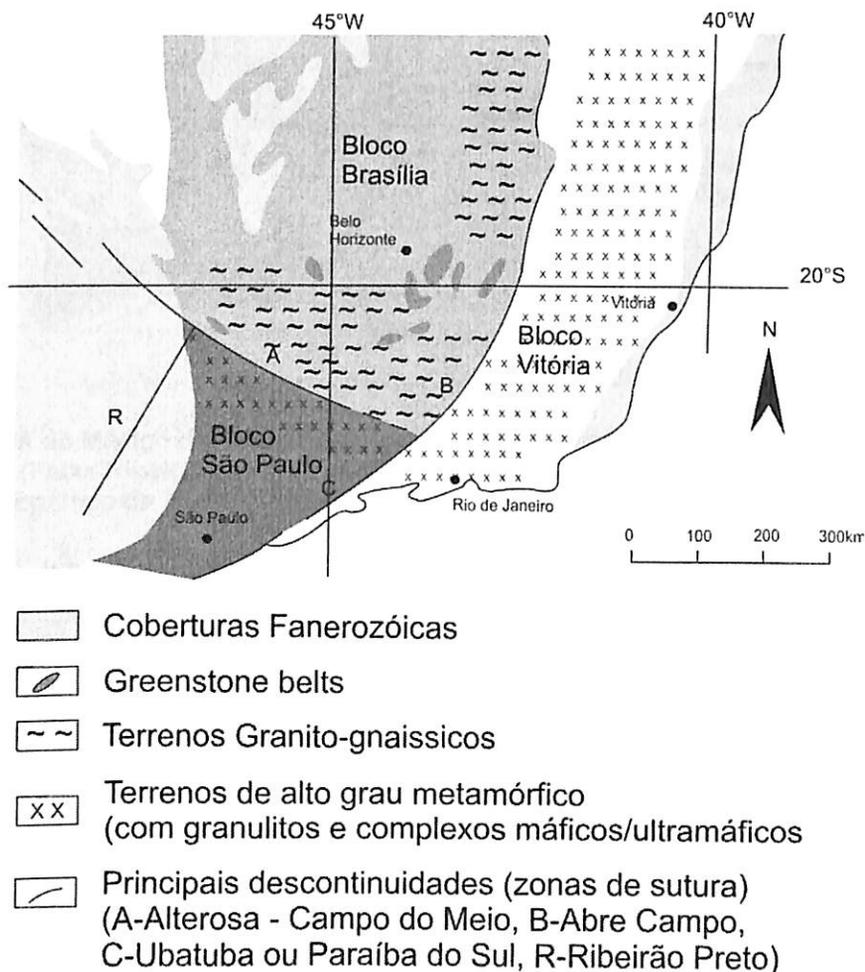


Figura 2. Compartimentação tectônica do sudeste brasileiro baseada em anomalias gravimétricas. A região estudada localiza-se no bloco São Paulo, balizada pela descontinuidade de Alterosa-Campo do Meio e mais a sul pela de Ubatuba. (Baseado em Hasui *et al.* 1982)

A sul do cráton do São Francisco, a chamada Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Araçuaí-Ribeira, definida por Heilbron *et al.* (2004), está inserida no arcabouço evolutivo das províncias Mantiqueira e Tocantins. Entre esses domínios, a região configurada por um bloco triangular (HASUI *et al.*, 1990), cujo vértice está voltado para leste, delimitada a norte pelo Cinturão Transcorrente Campo do Meio e a sul pela rede de zonas de cisalhamento dúctil anastomosadas, tem sido referenciada como Maciço de Guaxupé (ALMEIDA *et al.* 1976), Cunha de Guaxupé (WERNICK e FIORI, 1981), *Nappe* de empurrão Socorro-Guaxupé (CAMPOS NETO, 1991) ou Síntaxe de Guaxupé (Hans EBERT *et al.* 1991, 1993) (Fig. 3).

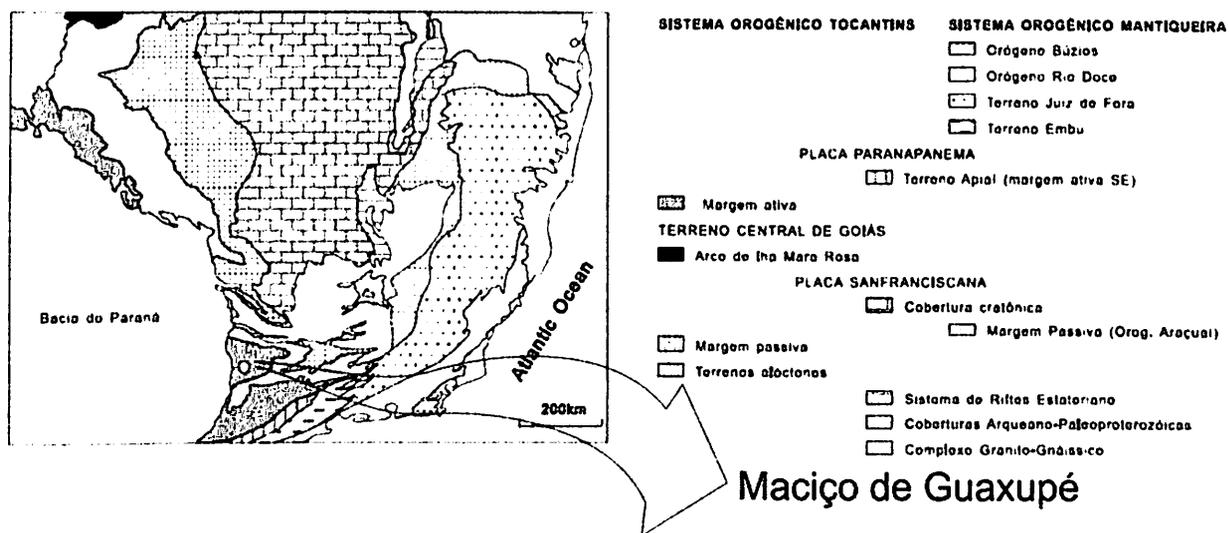


Figura 3. Limites do Maciço de Guaxupé, a norte a cobertura cratônica, a sul o Sistema Orogénico Mantiqueira (Faixa Ribeira), a oeste a cobertura da bacia do Paraná, e noroeste as rochas do Sistema Orogénico da Tocantins (Faixa Brasília). (Modificada de Campos Neto *et al.* 2000)

Na região de Lavras-Carrancas-Minduri-Santo Antônio do Porto dois grandes sistemas orogênicos foram reconhecidos por Hans Ebert (1956, 1968, 1971), por ele denominados Araxaídes e Paraibides. O Sistema Araxaídes circunda, de NW para SE, a bacia hidrográfica do rio São Francisco, acompanhando aproximadamente o curso do Rio Grande, que avança no rumo SE-NW, a partir das nascentes, situadas junto ao reverso da Serra da Mantiqueira, no Planalto do Sul de Minas. O Sistema Araxaídes compreende a parte ocidental do Estado de Minas Gerais e adentra o Estado de Goiás, onde assume direções estruturais NNW. As estruturas do Sistema Paraibides são orientadas segundo NE. A faixa acompanha a porção sudeste do Estado de Minas

Gerais, abrangendo ainda a maior parte dos estados de Espírito Santo e Rio de Janeiro e a totalidade do Vale do Paraíba paulista, de onde prossegue para sul, até o vizinho Estado do Paraná. O Sistema Paraibides é interrompida na zona de Andrelândia por uma depressão transversal (BRAGA, 2002) e continua no rumo sudoeste, porém com largura diminuída (BRAGA, 1996)

Hasui *et al.* (1975) reuniram na designação "Zona de Transcorrência São Paulo" um complexo feixe de falhas transcorrentes cuja evolução tem sido investigada por numerosos autores (ALMEIDA *et al.*, 1978; WERNICK *et al.*; 1991, HASUI *et al.*, 1990). Na região Sudeste do Brasil, a recomposição dos movimentos tectônicos tem sido tarefa complexa, devido não apenas à variedade de tipos rochosos e intrincadas relações estruturais e litoestratigráficas, mas também pelo fato de serem rochas afetadas por intensa deformação policíclica (FIORI *et al.*, 1978).

Cavalcante *et al.* (1979) denominaram as zonas cataclásticas inseridas na "Zona de Transcorrência São Paulo" que margeiam o Complexo Varginha e a parte sul do Complexo Lavras, como Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio, para a parte norte, e Cinturão de Cisalhamento de Ouro Fino, para a faixa sul. Esta última engloba uma seqüência de zonas miloníticas desde o referido complexo Lavras, até um sítio de forte cataclase a oeste, que identificaram como Zona de Cisalhamento de Jacutinga.

Morales (1993) e Morales *et al.* (1994) descrevem que o Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio se estende aproximadamente na direção E-W. Os autores dividem a deformação em dois períodos: a primeira foi geradora de planos com baixo ângulo de mergulho e sentido de transporte para E. A segunda gerou camadas de alto ângulo e movimentação sinistral, devido à colisão oblíqua entre os blocos São Paulo e Brasília. Braga (1996) afirma que a tectônica de baixo ângulo regional, desenvolvida antes da transcorrência, tem orientação NW bem definida, com padrão lenticular marcante em várias escalas de observação. Indicadores cinemáticos mostram transporte tectônico para NW. A orientação geral sofre modificações ao longo de zonas de cisalhamento dúctil empinadas, com traços NE e NW e ao longo de dobras macro ou mesoscópicas, associadas ou não a essas zonas de cisalhamento.

Morales *et al.* (1994) ainda descrevem feições correspondentes a regime rúptil, quando cita diques e veios pegmatíticos e/ou veios de quartzo, orientados para NE, juntas sub-verticais, tanto para NE como NW e falhas e brechas direcionadas para NE, concordante com as zonas cataclásticas apontadas por Cavalcante *et al.* (1979).

Ebert *et al.* (1991) quantificaram a deformação cisalhante como da ordem de 50 km ao longo de três segmentos das zonas de cisalhamento transcorrente de Três Corações e de Jacutinga, no Cinturão Transcorrente Rio Paraíba do Sul.

As unidades regionais situadas a norte da ZCJ são representadas pelo Complexo Varginha, cuja idade é de 660-640 Ma. A unidade é formada por pacote de rochas granulíticas basais, representadas por granito-gnaisses, gnaisses félsicos, gnaisses bandados e enderbíticos. Ocorrem ainda uma unidade intermediária de granitóides resultantes de fusão parcial de rochas preexistentes (diatexitos) e uma unidade metassedimentar superior de migmatitos variados (DELGADO *et al.*, 2003), reunida sob a designação Grupo Caconde, formado por paragnaisses, quartzitos, micaxistos, metacalcários, rochas cálcio-silicáticas, BIF, anfibolitos e metaultramafitos. Durante o Evento Brasileiro o conjunto foi afetado por metamorfismo de alto a médio grau, intensa migmatização e deformação tangencial. O modelo admitido para essa organização estrutural é o de lascas empilhadas. A intrusão de rochas granitóides sincolisionais a pós-colisionais (idades no intervalo 600-580 Ma) a pós-colisionais precedeu as derradeiras movimentações transcorrentes, que acompanham a direção WNW-ESE e obedecem a padrão de movimento anti-horário. A região situada a norte da ZCJ é conhecida como Maciço (ou Cunha) de Guaxupé.

As unidades regionais situadas a sul da ZCJ são representadas pelo Complexo Amparo, formado por granito-gnaisses e gnaisses bandados, com diferentes encraves de rochas supracrustais e pequenos núcleos de rochas granulíticas. O conjunto sofreu metamorfismo de médio a alto grau, migmatização, forte deformação e intrusões granitóides. Ocorrem ainda, na região limítrofe dos estados de São Paulo e Minas Gerais, os grupos Itapira e Andrelândia podem representar extensão um do outro. Trata-se de pacotes metavulcano-sedimentares formados por quartzitos, xistos,

anfíbolitos, rochas cálcio-silicáticas, gnditos, metacalcários, metamafitos e metaultramafitos. A idade ainda é incerta. Também se distingue o Complexo Piracaia, formado por gnaisses variados com encraves de xistos, quartzitos e anfíbolitos. As unidades foram afetadas por metamorfismo, migmatização, deformação do Evento Brasileiro e intrusão de granitóides sincolisionais a pós-colisionais de 630-580 Ma. As intrusões originaram corpos de variadas dimensões, atingindo expressão batolítica em alguns deles.

### ***Evolução regional***

A evolução regional da *nappe* Socorro-Guaxupé e seus limites por transcorrência estão intimamente ligados às interações cratônicas que ocorreram durante a colagem do Gondwana e a posterior separação deste continente, onde as principais deformações estão registradas na faixa Brasília Meridional e Ribeira, ambas inseridas no Cinturão Ribeira mais tarde definido como Cinturão Atlântico.

O Cinturão Ribeira é antiga unidade geotectônica brasileira que afetou o embasamento mais antigo, arqueano-paleoproterozóico (ALMEIDA, 1976). Hasui *et al.* (1988) e Hasui & Quade (1988) propuseram que a evolução da área, após encurtamento crustal e espessamento da crosta, se deu em regime de tectônica tangencial, com desenvolvimento de tectônica transcorrente e, que a partir da colisão oblíqua entre os blocos São Paulo e Vitória, dois processos orogenéticos foram definidos, o primeiro de cavalgamento e o segundo de transcorrência. Nesta última etapa originou-se o Cinturão Transcorrente Rio Paraíba do Sul. Heilbron *et al.* (1995, 2004) e Machado *et al.* (1996) descrevem o Cinturão Ribeira como produto dos últimos estágios da colagem brasileira no sudeste do Brasil, ocorrida entre 640-480 ma.

Machado & Endo (1993) denominaram o Cinturão Ribeira (Sistema Paraibides de EBERT, 1968, e Cinturão Transcorrente Rio Paraíba do Sul, de HASUI *et al.*, 1988) de Cinturão de Cisalhamento Atlântico, separando as zonas de cisalhamento em: Juiz de Fora-Jaguari-Taxaquara, Além Paraíba-Cubatão-Lancinha e Niterói. A falha de Além Paraíba havia sido identificada por Almeida *et al.* (1975).

Segundo Machado & Endo (1994) o Cinturão Atlântico é composto pelos sistemas de Cisalhamento Paraíba do Sul e Dom Feliciano, sendo caracterizado como cinturão justaposto aos terrenos da Cunha de Guaxupé, em virtude de colagem tectônica lateral, processada ao longo das Zonas de Cisalhamento de Ouro Fino e Campo do Meio. A colagem tectônica lateral é produto de tectônica transpressional dextral, segundo vetor compressivo E-W. Neste contexto, as zonas de cisalhamento Ouro Fino, Juiz de Fora-Jaguari-Taxaquara, Além Paraíba-Cubatão-Lancinha e Niterói apresentam movimento direcional dextral e a Zona de Campo do Meio, movimento direcional sinistral. Assim, Machado & Endo (1994) propuseram modelo cinemático compatível com convergência lateral oblíqua em duas etapas durante o Brasileiro, com mudanças de orientação dos vetores tectônicos transpressivos de E-W para aproximadamente N-S.

Ebert *et al.* (1993) consideraram os cinturões que delimitam o Cráton do São Francisco e a Sintaxe de Guaxupé como resultante da movimentação diferencial entre os blocos crustais São Paulo, Brasília e Vitória. Intercalam-se na área três tipos de domínios estruturais: tangenciais, tangenciais rotacionados e transcorrentes. A alternância de domínios direcionais e compressivos caracteriza uma partição regional de deformação em zonas de abrandamento que assimilaram a convergência dos blocos por meio de rejeitos direcionais, e domínios internos que absorveram a colisão por encurtamento perpendicular à direção regional. A partição condicionou o arcabouço tectônico da borda sul do cráton do São Francisco, e materializou-se na forma de estruturas em flor, que constituem o mecanismo de acomodação fundamental da convergência E-W entre os blocos.

O segmento central da Província Mantiqueira registra claramente o diacronismo de diferentes etapas da Orogênese Brasileira, tanto no Orógeno Ribeira quanto na extremidade sul do Orógeno Brasília (CAMPOS NETO e FIGUEIREDO, 1995; CAMPOS NETO, 2000; TROUW *et al.*, 2000). O diacronismo resulta da interação, em épocas distintas, de outro(s) continente(s) e/ou micro-continente(s) (Parapanema ou Paraná, Oriental ou Serra do Mar, Cabo Frio) e/ou arco(s) de ilhas com a Placa São Francisco-Congo. Em ambos os orógenos, a subducção de litosfera oceânica resultou

na geração de arcos magmáticos cordilheiranos. Os estágios colisionais, principais responsáveis pela deformação, metamorfismo e geração de granitóides crustais, foram marcadamente diacrônicos. O estágio colisional na extremidade sul do orógeno Brasília ocorreu em torno de 630 ma (Colisão I), mas no orógeno Ribeira situa-se entre 580 e 560 ma (Colisão II). Os efeitos da Colisão II atingiram o recém-estruturado orógeno Brasília, resultando na complexa Zona de Interferência entre os dois orógenos, materializada na região sul/sudoeste do Estado de Minas Gerais. O orógeno Ribeira registra ainda uma colisão tardia em 520-510 Ma (Colisão III), no Terreno Cabo Frio (HEILBRON *et al.*, 2004).

### Faixa Brasília

A faixa Brasília, ou orógeno Brasília, corresponde ao limite oeste do cráton do São Francisco. A faixa possui aproximadamente 1.100 km de comprimento, sendo dividida em dois compartimentos tectônicos (VALERIANO *et al.*, 2004): Faixa Brasília Setentrional (FBS), e Faixa Brasília Meridional (FBM). É marcante a diferença, tanto estrutural como litológica, entre ambas. A FBS apresenta direção preferencial NE, enquanto a FBM orienta-se segundo NW. As duas porções encontram-se na altura do meridiano de Brasília, na Megaflexura (ou Sintaxe) dos Pirineus, que tem concavidade voltada para Leste e lineamentos orientados segundo E-W (COSTA e ANGEIRAS, 1971 *apud* VALERIANO *et al.*, 2004).

A faixa Brasília é definida por Dardenne (2000) como um conjunto de terrenos e escamas de empurrão de escala crustal que convergiram para leste contra o Cráton do São Francisco. A evolução do orógeno Brasília está ligada as interações cratônicas do ciclo Brasileiro, entre os crátons do São Francisco, Amazônico e o possível cráton do Paraná (Paranapanema), Heilbron (2004), durante a colagem de Gondwana, no final do Neoproterozóico e início do Paleozóico 520 ma. Durante a convergência Brasil-África as bacias sedimentares, desenvolvidas no período Trogênico Toniano, passaram por metamorfismo, e foram empurradas sobre o Cráton do São Francisco (VALERIANO *et al.*, 2004).

Partindo-se da Sintaxe dos Pirineus para sul a Faixa Brasília pode ser denominada de Faixa Brasília Meridional (FBM). A FBM apresenta estilo tectônico definido por *nappes* de cavalgamento subhorizontais, que atingiram desde as rochas sedimentares na borda do Cráton, até as rochas localizadas nas posições internas, porção leste, da FBM (VALERIANO *et al.*, 2004). De oeste para leste, a FBM divide-se em duas porções: a porção Alóctone e a zona de Ante-País. A zona de Ante-País (DARDENNE, 2000) é marcada por empurrões rasos e superfícies subhorizontais de deslocamento que afetam sedimentos anquimetamórficos plataformais neoproterozóicos do Grupo Bambuí, com participação rara ou ausente de rochas do embasamento arqueano-paleoproterozóico. A porção Alóctone é marcada por empilhamento tectônico de vários terrenos tectono-estratigráficos limitados por importantes superfícies de cavalgamento, (ALKMIN *et al.*, 1993). Os estudos indicam que os protólitos seriam sedimentos de margem passiva, onde porções oceânicas distais foram tectonicamente empurradas sobre outros sedimentos. Quanto ao metamorfismo, as *nappes* inferiores exibem menor grau metamórfico na fácies xisto verde, enquanto nas *nappes* superiores o metamorfismo é mais alto, atingindo fácies anfíbolito a granulito (DARDENNE, 2000).

Dentre as unidades metassedimentares, o Grupo Andrelândia, correlato ao Grupo Araxá que aflora mais a norte (PACIULLO *et al.*, 2000), também é envolvido nos estágios tectônicos tardios que afetam a Faixa Ribeira. As estruturas das rochas do Grupo Andrelândia apresentam duas direções principais, NW e ENE a E-W. O limite W das rochas desse grupo é brusco devido a falhas de empurrão que as separam da *Nappe* Socorro-Guaxupé.

Ebert (1956) define o Grupo Andrelândia como seqüência sedimentar pelítica metamorfisada em fácies xisto-verde a anfíbolito. Segundo Campos Neto *et al.* (2004) as rochas do terreno Andrelândia são metamórficas para-derivadas, divididas em dois conjuntos de *nappes*, as Inferiores de alta pressão, e as superiores de alta temperatura e pressão.

## *Nappe Socorro-Guaxupé*

A *Nappe Socorro-Guaxupé* está localizada na parte central da Zona de Interferência (Anexo 1 e figura 3), entre as faixas Brasília e Araçuaí-Ribeira. Não há consenso sobre em qual domínio tectônico está inserida, se na província Mantiqueira, e assim agrupando a parte sul da Faixa Brasília (HEILBRON *et al.*, 2004), ou se compõe a província Tocantins, como extensão da Faixa Brasília (VALERIANO *et al.*, 2004).

Cavalcante *et al.* (1979) e Wernick *et al.* (1981) delimitam a *Nappe* de Guaxupé pelos cinturões de cisalhamento Campo do Meio a norte e Ouro Fino a sul. Consideraram o maciço como um bloco crustal antigo de evolução policíclica, em forma de cunha. Wernick *et al.* (1976), Artur *et al.* (1979) e Wernick *et al.* (1981) propuseram que no final do Ciclo Brasileiro houve encurtamento crustal, a partir de esforços compressivos de direção E-W e NE, sob tectônica rígida que gerou grandes zonas rúpteis e de empurrão. Os esforços compressivos seriam responsáveis pelo encurtamento crustal, e que nas porções S e SW ao lado do cráton do São Francisco, causou a indentação de cunhas rígidas em faixas móveis rígido-plásticas.

A *Nappe Socorro-Guaxupé* é dividida em dois domínios por Campos Neto & Caby (2000) a norte Guaxupé e, a Sul Socorro, separadas por duas rampas laterais de alto ângulo. A *nappe* é definida como uma espessa lasca alóctone, neoproterozóica, composta por três unidades de crosta profunda: a Unidade Granulítica Basal, Unidade Diatexítica Intermediária e a Unidade Migmatítica Superior.

A parte norte trata-se de uma estrutura em formato triangular que está sobreposta aos metassedimentos do Grupo Andrelândia. Tanto o contato Sul quanto o contato Norte é delimitado por falhas, que segundo Wernick *et al.* (1981), são grandes zonas rúpteis, a norte Nova Resende-Barbacena, e a sul Carandaí-Mogi Guaçu. Hasui (1990) apud Braga (2002) no entanto define que são zonas de cisalhamento dúcteis, a norte Cinturão Transcorrente de Abre-Campo e, a sul zona de cisalhamento Ouro Fino.

Del Lama *et al.* (2000) colocam a *Nappe Socorro-Guaxupé* no domínio das rochas do Complexo Guaxupé, que se desenvolveu justaposto ao Cráton São Francisco durante o Neoproterozóico. Descrevem rochas orto- e para-derivadas, como

granulitos máficos e félsicos, gnaisses graníticos, paragnaisses, quartzitos, xistos, margas e lentes cálcio-silicáticas. Por fim, caracterizam o Grupo Itapira, situado na porção sul do Complexo Guaxupé, como rochas alóctones meso a neoproterozóicas associadas a embasamento arqueano a neoproterozóico.

A parte sul da *Nappe* de Socorro-Guaxupé sofreu forte influência da faixa Ribeira, e apresenta composição litológica relativamente parecida com a parte norte. Nela ocorrem estruturas fusiformes descritas por Hasui (1990 apud BRAGA, 2002), e as falhas com direção N30E e movimentação destrógiro identificadas por Wernick (1984).

### Faixa Ribeira

A faixa Ribeira encontra-se a SE da Zona de Interferência. Apresenta direção preferencial NE, e resulta da interação da parte sul do Cráton do São Francisco com paleocontinentes e outras microplacas. O orógeno representa empurrões para NW e mostra duas zonas distintas, uma com predomínio de encurtamento frontal, e outra de comportamento transpressivo destrógiro (HEILBRON *et al.*, 2004).

O orógeno Ribeira foi dividido em cinco terrenos tectono-estratigráficos por Howell (1989), separados por zonas de cisalhamento, tanto de empurrão, quanto de transcorrência. Os terrenos foram denominados Ocidental, Paraíba do Sul, Embu, Oriental e Cabo Frio. Os quatro primeiros foram amalgamados em 580 Ma, enquanto o terreno Cabo Frio desenvolveu-se mais tarde, há 520 Ma. Heilbron *et al.* (2000) descrevem a presença de granitos tardios e estendem o intervalo até o Ordoviciano.

Almeida *et al.* (1998) dividem o orógeno Ribeira em dois domínios tectônicos, Oriental e Ocidental, separados por uma zona de cisalhamento NE, com baixo mergulho para NW, denominada de Contato Tectônico Central (Central Tectonic Boundary, CTB). Os metassedimentos predominam no terreno Ocidental, e ortognaisses no domínio Oriental.

Definido por Ebert (1971), o Grupo Itapira foi correlacionado ao Grupo Amparo em Minas Gerais. Segundo Machado Filho *et al.* (1983) o Grupo Itapira é uma

cobertura do Complexo Amparo, menos metamórfica, datada do Paleoproterozóico. O metamorfismo do Grupo Itapira é de grau médio, podendo atingir condições de anatexia.

As rochas do Complexo Amparo por serem parcialmente migmatizadas, são parecidas com as rochas do Grupo Itapira. Parte do Complexo Amparo é de Idade Arqueana. Existem expressivas áreas ocupadas por migmatitos, provenientes de gnaisses. Ocorrem ainda ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica, gnaisses embrechíticos, miloníticos e milonitos, enquanto em certas áreas predominam rochas granulíticas de composição enderbítica ou charnockítica, associadas a granitos e migmatitos.

Através das medidas realizadas em Pb-Pb rocha total (inf. Verbal de M.A.S. Basei a C.C.G. Tassinari, *apud* TASSINARI 1988) de migmatitos estromáticos, nas proximidades do município de Amparo-SP, tem-se isócrona com  $3.414 \pm 7,58$  Ma. As análises foram realizadas a partir de material leucossomático throndjemítico. Tassinari (1988) considera essas idades como época da adição do material leucossomático à crosta, a partir da diferenciação direta do manto superior. Para os ortognaisses da suíte Serra Negra, Tassinari (1988) obteve isócrona Rb-Sr (rocha total), através de nove análises e, indicou idade de  $2500 \pm 50$  Ma, admitida como idade do conjunto ortognáissico do Complexo Amparo.

Por intermédio de isócronas de Rb-Sr em rocha total do Complexo Amparo, Tassinari (1988) chegou à idade de 2.000 Ma para o retrabalhamento de rochas crustais pré-existentes no Paleoproterozóico, segundo Artur (1988) valores transamazônicos. Um evento de migmatização ocorreu no final do Neoproterozóico. Diagrama isocrônico Rb-Sr em rocha total indicou idade de  $1.140 \pm 80$  Ma para os biotita gnaisses e gnaisses graníticos nos arredores de Itapira (ARTUR 1980). Em biotita gnaisses que ocorrem a norte de Amparo, Tassinari (1988) obteve isócrona de  $1419 \pm 78$  Ma; o autor ainda sugere época aproximada de 1.400 Ma para a formação dos gnaisses a partir de material provavelmente vulcânico não diferenciado. As rochas do conjunto de cobertura metassedimentar parecem derivar de materiais transamazônicos ou foram geradas após o encerramento deste ciclo.

## Bacia de Eleutério

No contexto exposto a Bacia de Eleutério está localizada sul da *Nappe* de Guaxupé, inserida na Zona de Cisalhamento de Jacutinga, e posicionada na porção central da área de estudo. Geograficamente localiza-se entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais, constituindo estreita faixa de área alongada segundo N60E, delimitada por falhas. As primeiras descrições da Bacia de Eleutério foram feitas por Ebert (1974), que reconheceu a faixa de sedimentos metamorfisados em baixo grau, que ocorrem a leste da vila de Eleutério, pertencente ao município de Itapira, SP. A bacia tem aproximadamente 19 km de extensão e largura que varia entre 300 m a 1300 m (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

Os sedimentos estendem-se desde São Paulo até o vizinho município de Jacutinga, no Estado de Minas Gerais. Ebert (1974) distingue seus limites como zonas fortemente milonitizadas, entre os metassedimentos da Zona de Pouso Alegre ao sul, e granitos e migmatitos da parte norte, na região de Pinhal-Caldas, separados pela falha principal, a falha de Jacutinga. Sabe-se hoje que a bacia é delimitada pela zona de cisalhamento Jacutinga-Três Corações (CAMPOS NETO, 1991; EBERT, 1971; HASUI, 1982). Os sedimentos estão tectonicamente embutidos na zona de cisalhamento. A sul predominam quartzitos, reunidos no Grupo Itapira, e a norte ocorrem rochas infracrustais do Grupo Amparo, englobadas no Cinturão Alto Rio Grande (HASUI, 1982).

Três tipos litológicos compõem o preenchimento da bacia (CAMPANHA *et al.*, 1982): conglomerados, arenitos arcosianos e pelitos. Trabalho mais recente sobre a Bacia Eleutério (TEIXEIRA e GAUCHER, 2001) descreve as litofácies de forma mais completa. Os termos conglomeráticos distribuem-se na parte centro-nordeste da bacia, e atingem espessuras de até 700 m. São rochas clasto-suportadas, localmente brechóides. Em direção ao centro da bacia há transição para conglomerados matriz-suportados e lentes areníticas a arcosianas mal selecionadas. As rochas estão justapostas, por meio de falha longitudinal, com arenito conglomerático arcoseano, intercalado por níveis bem selecionados de areia média a fina.

No restante da bacia, a seqüência meridional tem contato por falha normal N-NW. Apresenta cerca de 650 m de espessura e é composta por psamitos de base conglomerática, intercalados por pelitos. Da base para o topo ocorrem três grandes ciclos grano- e estrato-decrescentes, que se dispõem da seguinte forma: arenitos arcóseos com base conglomerática que passam gradualmente para arenitos finos a médios e no topo para siltitos. Estudos de paleocorrentes desses três grandes ciclos definiram que nos dois primeiros o transporte de material é feito a partir de NW, e o terceiro, de SE (TEIXEIRA & GAUCHER, 2001) (Fig. 4).

A deposição da bacia está relacionada a leques aluviais que passam, na porção distal para uma planície aluvial com rios entrelaçados que atingiam regiões litorâneas, onde se instalaram sistemas deltaicos de granulação grossa (*braided delta*) e com depósitos finos na região de prodelta (*offshore*). Eventualmente, os depósitos subaéreos eram retrabalhados pelo vento, como evidenciado nas intercalações de arenitos bem selecionados laminados e, sobretudo, na presença de ventifactos nos pacotes psefíticos e psamíticos, relacionados com porções intermediárias de leques aluviais (*sheetfloods* e *streamflows*). A figura 5 ilustra a coluna estratigráfica da seção A-B do mapa geológico da Bacia de Eleutério.

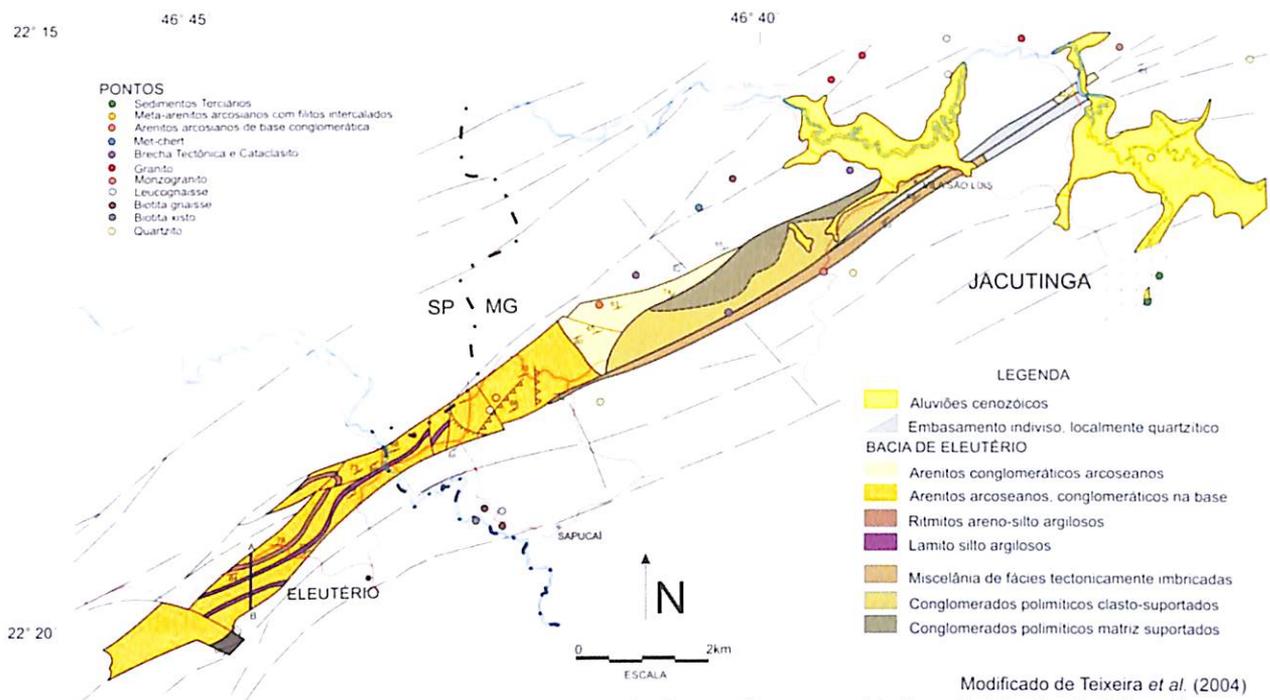


Figura 4. Mapa de Pontos visitados neste trabalho, e mapa geológico da Bacia de Eleutério proposto por Teixeira et al. (2004)

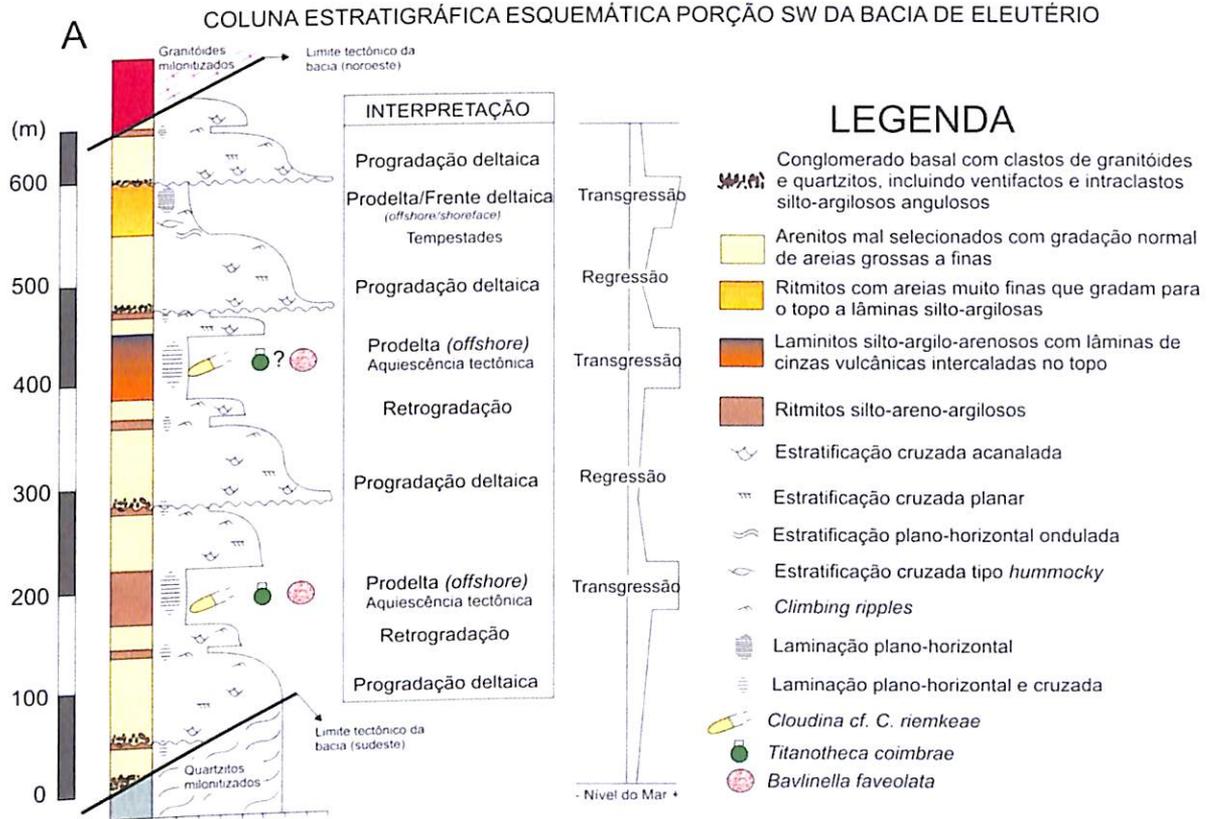


Figura 5. Coluna Estratigráfica e interpretação dos paleo-ambientes da Bacia de Eleutério, sugerida por Teixeira et al. (2004).

Sobre a idade do depósito sedimentar, TEIXEIRA (1995, 2000) e TEIXEIRA *et al.* (1999), dataram seixos de riolitos por K-Ar (RT), tendo obtido idades de  $530 \pm 14,5$  Ma, enquanto em U/Pb monocristal obtiveram idade média de  $617 \pm 13$  Ma, com mínima de  $606 \pm 13$  Ma, e máxima de  $633 \pm 13$  Ma. O valor mínimo é considerado idade limite para início da sedimentação. A provável origem dos seixos de riolito é a região de Morungaba (VLACH, 1993).

### ***Coberturas neogênicas***

Coberturas de idade terciária (Neógeno, na Escala do Tempo Geológico de Gradstein *et al.* 2004) são há muito reconhecidas no sudeste brasileiro. A sedimentação neogênica nessa região iniciou-se no Mioceno, tendo sido parcialmente condicionada pela reativação de falhas do embasamento. Altos topográficos são controlados principalmente por falhas de orientação NW-SE, enquanto as de orientação NE-SW estão relacionadas a um regime distensivo que acompanhou a abertura do Atlântico Sul (NEVES, MORALES, BORGES 2003). A vinculação genética da ativação de falhas antigas com a rede de drenagem pré-atual é admitida, mas são ainda escassos os estudos sobre evolução local.

### **Coberturas sedimentares cenozóicas**

As principais coberturas cenozóicas na região são os depósitos coluvionares e, os depósitos terciários identificados neste trabalho no perímetro urbano de Jacutinga. São adiante descritos, apesar da limitada área de exposição da zona aflorante, sedimentos que foram considerados correlatos àqueles que preenchem outras bacias sedimentares neogênicas do Sudeste. Os depósitos coluvionares recobrem as vertentes com material variado e mal selecionado, e representam movimentação de massas por gravidade. Na região de Jacutinga recobrem as vertentes e estão divididas por uma linha de seixos (stone line) bem marcada no perfil.

Depósitos neogênicos nesta região geralmente caracterizam-se por serem formados por siltitos e argilitos, que exibem tons esbranquiçados, alaranjados e arroxeados, com planos horizontais de estratificação ou com mergulhos suaves.

Camadas arenosas são algo limitado nessas seções. Os conjuntos recobrem o embasamento, composto por quartzitos, boudins de anfibolito e biotita gnaisses.

### Coberturas aluvionares

As coberturas aluvionares se caracterizam por serem sedimentos inconsolidados, que se depositam ao longo da margem dos rios (como os terraços aluvionares), em planícies de inundação, ou se acumulam na foz de rios como deltas fluviais. Os sedimentos aluvionares têm características variadas, podem ser bem ou mal selecionados dependendo do nível da drenagem em que se encontram, se for de primeira ordem, ou um rio imaturo, a tendência é que os sedimentos sejam mal selecionados, caso seja um rio senil, ou meandrante, há melhor seleção do material depositado, é claro que a variável clima deve ser considerada. O acúmulo de aluviões na margem dos rios dá origem a zonas de várzea, de extrema importância para agricultura, já que aliam aos sedimentos a presença de matéria orgânica e água.

Na região de Jacutinga as principais zonas aluvionares dispõem-se ao longo dos rios Mogi-Guaçu e Eleutério.

## Capítulo 4:

### DISTRIBUIÇÃO DA ZONA DE CISALHAMENTO JACUTINGA

A Zona de Cisalhamento de Jacutinga estende-se por aproximadamente 370 km no Sul Mineiro, cortando quase todo o Estado de Minas Gerais. Penetra sob os sedimentos da bacia do Paraná, na porção nordeste paulista, próximo à cidade de Espírito Santo do Pinhal. A extensão para NE termina onde faz contato com rochas arqueanas do Cráton São Francisco.

A Zona de Cisalhamento de Jacutinga está definida, na região entre Eleutério e Pouso Alegre (MG), por Ebert (1971), como a principal falha de um sistema sub-paralelo cisalhante, de direção WSW-ENE, que separa dois grupos litológicos distintos. A sul ocorrem metassedimentos com poucas intercalações orto-gnáissicas e migmatíticas, chamada Zona Pouso Alegre. A norte o domínio de granitos e migmatitos é denominado Área de Pinhal-de-Caldas.

Wernick *et al.* (1981) inserem a falha de Jacutinga como parte da grande zona rúptil, que está alinhada na direção N70-60E, de movimento destrógiro, e que baliza o limite sul da Cunha de Guaxupé. Associada à zona cisalhante principal há outro conjunto de falhamentos, que Wernick *et al.* (1981) denominam Eleutério-Campinas. É um sistema de falhamentos orientado N30E, também com movimento destrógiro. Está distribuído ao longo de todo o sistema de falhamentos Carandaí-Mogi Guaçu, sendo este seu limite NE, e estende-se até os terrenos da faixa Ribeira.

Campos Neto *et al.* (2004) definem a estratigrafia regional (Anexo 3) da *nappe* de Socorro-Guaxupé e arredores como:

- As bacias fanerozóicas, Bacia do Paraná, Bacia de Taubaté, Bacia de Resende.
- Rochas neoproterozóicas profundas: Domínio de Arco Magmático, *Nappe* Socorro-Guaxupé e Grupo São Roque.
- Rochas neoproterozóicas paraderivadas, Terreno Andrelândia, Sistema de *Nappes* Carrancas e *Nappe* Lima Duarte.

- Rochas paleo e mesoproterozóicas autóctones, Grupo São João Del Rei e Formação Tiradentes.
- Rochas alóctones do Arqueano e do Paleoproterozóico, compostas por diversas séries de ortognaisses e migmatitos.
- Rochas alóctone arqueanas, ortognaisses e migmatitos do complexo Amparo.
- Rochas do Arqueano e do Paleoproterozóico do embasamento do cráton São Francisco.

Das unidades litológicas distribuídas na área descrita por Campos Neto (2004) àquelas mais deformadas pela movimentação da Zona de Cisalhamento de Jacutinga são descritas abaixo:

- Unidade Basal granada-biotita-ortopiroxênio (+ ou - clinopiroxênio) granulito-gnaisses bandados, enderbíticos a charnoenderbíticos, com intercalações locais de gnaisses gabronoríticos. Possuem leucossomas anidros, hololeucocráticos, com grt e opx. Ortognaisses migmatíticos, de composições tonalito-granodioríticas (FERNANDES *et al.*, 1987), ocorrem em faixas descontínuas no topo da unidade granulítica.
- Unidade intermediária: predominam biotita e biotita-granada diatexitos graníticos rosados (HADDAD *et al.*, 1997; JANASI, 1997a). Encraves metassedimentares ocorrem como faixas de gnaisses kinzigíticos (espinélio-sillimanita-cordierita-granada).
- Unidade Superior: os migmatitos estromáticos possuem mesossomas com assinaturas químicas e isotópicas de metagrauvacas e de metapelitos, os primeiros oriundos da denudação de arco magmático neoproterozóico (JANASI, 1999).

Os Terrenos Andrelândia são divididos em duas *nappes* (CAMPOS NETO *et al.*, 2004):

- *Nappes* superiores de alta temperatura e pressão, representadas pelas *nappes* Três Pontas-Varginha e Pouso Alto, e pela *Klippe* Carvalhos, que são constituídas por granulitos paraderivados de alta pressão, com paragêneses que envolvem cianita, granada, + ou - sillimanita, cianita, granada e + ou - sillimanita. São descritos também leucossomas de cianita gnaisse granítico branco e filões de (cianita-granada) leucogranito.
- *Nappes* inferiores de alta pressão, denominadas Carmo da Cachoeira e Aiuruoca-Andrelândia, compostas por quartzitos intercalados com micaxistos, com gnaisses cálcio-silicáticos associados.

O Sistema de *Nappes* de Carrancas constitui-se do Grupo Carrancas (TROUW, 1984), subdividido nas formações São Tomé das Letras e Campestre. A primeira é composta por muscovita quartzito e a segunda por granada biotita muscovita xistos, com seções grafitosas. Também são influenciados pela zona rúptil séries ortognáissicas e migmatíticas diversas do complexo Amparo, e corpos alóctones paleoproterozóicos, como o Gnaisse Serra Negra, Gnaisse Pouso Alegre, Gnaisse São Lourenço e Gnaisse Heliadora (TROUW, 1984).

A idade dos eventos de cisalhamento que balizam a *Nappe* Socorro Guaxupé, entre eles a ZCJ, não é bem definida, porém eles evoluíram a partir das colagens de Gondwana, apresentando desenvolvimento policíclico de caráter dúctil-rúptil, em um primeiro estágio colisional. Os últimos registros da atividade das zonas de cisalhamento estão marcados nos granitóides pós-brasilianos, posicionados na parte sul da Cunha de Guaxupé, e na formação da bacia de Pouso Alegre. Esses últimos eventos estão relacionados aos processos de relaxamento crustal pelos quais passou a porção sudeste da Plataforma Sul-Americana durante a separação do Gondwana (WERNICK, 1981).

## Capítulo 5:

### FISIOGRAFIA E GEOMORFOLOGIA

A análise fisiográfica e geomorfológica da região mostram a estruturação por parte dos diferentes domínios geológicos, onde os resultados destes processos evidenciam-se principalmente nos resultados obtidos a partir do processamento digital das imagens SRTM e Landsat 7 ETM+, apresentadas a seguir no capítulo 6.

#### *Fisiografia regional*

A área de estudo é drenada pelas cabeceiras da bacia hidrográfica do rio Moji-Guaçu, que forma rede de drenagem tributária da bacia do rio Paraná. A área sofre influência de massas de ar polar atlântica, tropical atlântica e tropical continental, com variações sazonais de acordo com as estações do ano. Dentro da classificação climática internacional de Köppen, na reduzida porção da bacia do rio Moji Guaçu abrangida pela área, sobretudo nas regiões de cabeceiras de drenagem e principais divisores de águas com as demais bacias, verifica-se um clima do tipo temperado brando, chuvoso com verão fresco, tendendo a apresentar, rumo à jusante, um clima do tipo temperado brando, com inverno seco e verão quente.

As maiores precipitações pluviométricas concentram-se nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, que são os mais chuvosos, chegando a atingir 250 mm/mês. O período de estiagem é compreendido entre os meses de abril e setembro, com as menores precipitações pluviométricas, da ordem de 80 mm/mês, durante os meses de seca, que são junho, julho e agosto, e média anual de 1.744,2 mm. A temperatura média anual está em 19,2°C e, altitude média de 779 m (*fonte: [www.jacutinga.mg.gov.br](http://www.jacutinga.mg.gov.br), sítio oficial da prefeitura municipal*).

A cobertura vegetal natural pode ser considerada relativamente mais bem preservada na região de alinhamento serrano que divide as bacias hidrográficas. A maior parte da área é recoberta por pastagens geralmente naturais e pobres, e alguma vegetação de capoeira ou vegetação de cerrado, em meio a numerosas manchas de

pequenas e diversificadas plantações com predominância para o cultivo de café na encosta dos morros.

A vegetação predominante nos domínios de rochas graníticas é mata de capoeira, com manchas isoladas de arbustos e árvores, cercadas de capim e touceiras de vegetação baixa. A vegetação típica da região predomina em matas-galeria ainda preservadas. O relevo é formado predominantemente por morros, aproximadamente nivelados nos topos. As altitudes mais elevadas encontram-se ao longo da ampla serra que constitui o divisor de águas entre as cidades de Jacutinga e Santo Antônio do Pinhal.

### ***Geomorfologia***

Ab'Saber (2000) sintetiza as superfícies de erosão no território brasileiro e discute o papel fundamental das superfícies de cimeira. As superfícies são resultantes de longos processos de modelamento erosivo das regiões elevadas de Gondwana, que forneceram sedimentos para as bacias adjacentes.

Inserida neste contexto, a área de estudo compreende três domínios geomorfológicos do Planalto Atlântico e suas subzonas.

- Serra da Mantiqueira: Alto Vale do Sapucaí, Planalto Campos do Jordão.

O Planalto de Campos do Jordão apresenta-se como planície de cimeira subnivelada, degradada e desdobrada em níveis erosivos embutidos. Sua evolução quaternária, em ambientes de clima de altitude, determinou um sistema de "paisagem tropical, os altos campos, caracterizado pela distribuição da vegetação em dois tipos, mata e campo. Os campos recobrem topos de interflúvio e setor convexo das vertentes, a mata ocupa o setor retilíneo inferior das vertentes convexas, as vertentes retilíneas e os anfiteatros de erosão recobertos pelos coluviões (MODENESI, 1988).

Os divisores dos principais formadores do Sapucaí-Guaçu ocorrem embutidos na superfície de cimeira do planalto, subnivelados a altitudes que decrescem

para norte e noroeste em três níveis topográficos, situados a 1800/1820m, 1710/1740m e 1640/1660m (MODENESI 1988).

- Planalto do Sul de Minas: Planalto de São Pedro de Caldas.

O planalto do Sul de Minas ou Planalto do Rio Grande distribui-se a noroeste da Serra da Mantiqueira, alonga-se até às cabeceiras do Rio São Francisco e para oeste até ser recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná. É caracterizado por uma ampla superfície ondulada, talhada essencialmente em rochas do complexo gnáissico-migmatítico, com altitudes em torno de 900 m, sendo interrompida por uma série de cristas adaptadas às orientações gerais dos gnaisses, atingindo cotas superiores a 1.000 m (VIDAL-TORRADO, 2006).

- Zona Cristalina do Norte: Subzona de Amparo.

A Zona Cristalina do Norte é constituída de rochas pré-cambrianas que mantêm um relevo de transição entre as terras altas do planalto Sul de Minas e Mantiqueira para a região rebaixada da Depressão Periférica (VITTE, 2010).

## Capítulo 6:

### RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nos trabalhos de campo, estudos de laboratório e gabinete são expressos neste capítulo. As informações estão ilustradas por meio dos resultados obtidos com sensoriamento remoto, e por meio de gráficos e ilustrações que caracterizam as rochas da ZCJ. Alguns mapas compilados (figura 4 e anexos 2 e 3) compõem o levantamento de dados e sintetizam observações relevantes acerca da distribuição das rochas miloníticas e das unidades geológicas estudadas da bacia de Eleutério, assim como uma mancha de cobertura sedimentar neogênica identificada neste trabalho.

#### *Sensoriamento Remoto*

##### Imagens Landsat 7 ETM+

O programa Landsat teve início em 1972 com o primeiro satélite da série lançado pela agência nacional espacial americana (NASA), o Landsat (Land Remote Sensing Satellite). O principal objetivo desse programa foi o mapeamento de alta resolução da superfície da Terra. Em 1999 o último satélite da série Landsat foi lançado o Landsat 7 com o sensor ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus). Captura imagens compostas por 8 bandas espectrais, sendo que as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 apresentam resolução de 30 m, a banda 6 (banda termal) tem resolução de 30 m e, a banda 8 ou pancromática com resolução de 15 m. Essas bandas podem ser combinadas por meio de falsas cores da superfície e, assim facilitam o reconhecimento das determinadas respostas espectrais dadas pela superfície terrestre, através das rochas, minerais, vegetação e núcleos urbanos.

As imagens do satélite Landsat 7 ETM+ foram tratadas no programa Envi 4.6.1, a composição mais interessante do ponto de vista geológico para este trabalho foi a 5-3-1 em RGB.

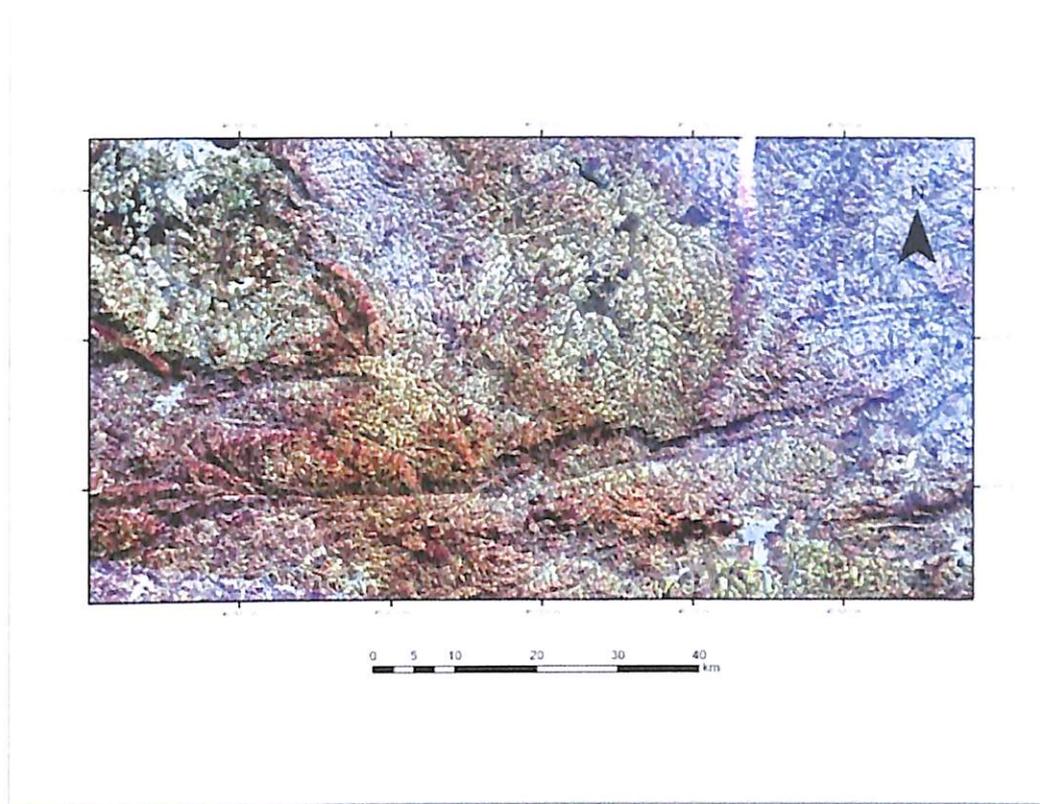
A banda 5, que compreende os comprimentos de onda entre 1,550  $\mu\text{m}$  e 1,750  $\mu\text{m}$ , realça a umidade da vegetação, tendo destacado neste trabalho as feições

de relevo mais elevadas, onde há cultivo do café. As cristas possuem orientação preferencial ENE.

A banda 3, que compreende os comprimentos de onda 0,630  $\mu\text{m}$  até 0,690  $\mu\text{m}$ , realça diferentes rochas em terrenos com pouca vegetação evidenciando solos ricos em ferro; neste trabalho esta banda destacou a rede de drenagem. A maioria dos canais de drenagem está encaixada segundo direções ENE e NNW, concordantes com o padrão de falhamento e fraturamento regional.

A banda 1, que compreende os comprimentos de onda entre 0,450  $\mu\text{m}$  e 0,520  $\mu\text{m}$ , é útil para diferenciação entre solo e vegetação e reconhecimento de áreas urbanizadas. Nessa banda destacam-se as pequenas vilas, cidades e rodovias.

A composição 531 ressalta feições regionais de maior dimensão da região, tais como o alinhamento principal ENE que divide a *Nappe* de Guaxupé a norte das paraderivadas a sul. Parecem ainda com nitidez os lineamentos que seguem a tendência estrutural NE, o maciço alcalino de Poços de Caldas, além das principais vias de acesso. (Fig. 6).



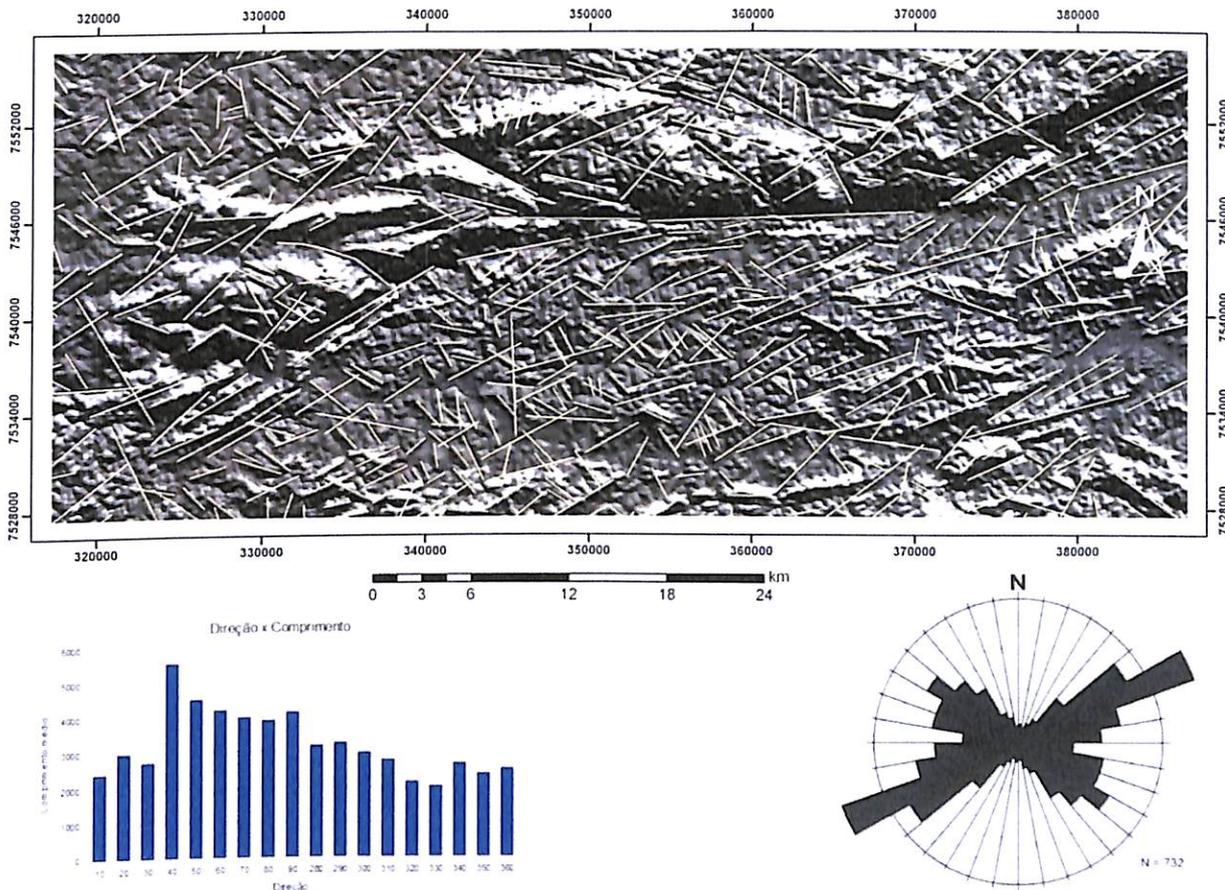
**Figura 6. Imagens Landsat: Composição falsa cor 531, tons avermelhados e esverdeados referentes a *nappe* de Guaxupé e o maciço de Poços de Caldas, e em tons alaranjados o domínio para-derivado a sul.**

## Imagens SRTM

A imagem de elevação digital de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi obtida gratuitamente no sítio da internet do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nela foi dado tratamento em ENVI 4.6.1, e os principais lineamentos foram traçados em Arc Gis 9.2.

Imagens SRTM mostram feições regionais a partir da topografia do terreno, e são utilizadas para o traçado mais preciso dos lineamentos. O acervo de imagens SRTM foi acumulado durante a missão espacial STS-99, realizada pela NASA em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e da Itália (ASI) no mês de fevereiro do ano 2000. O radar (SAR) que obtém o resultado topográfico utilizando de estereoscopia, através da técnica de interferometria. As imagens SRTM têm resolução espacial de 90 x 90 m, com precisão esperada de no máximo 16 m na vertical (DUREN *et al.* 1998 *apud* BARROS *et al.* 2005)

Os principais lineamentos traçados têm direção E-NE, concordante com as foliações encontradas na maioria dos pontos, como é representado pelo diagrama de roseta (Fig. 7). A parte sul apresenta estruturas com direções próximas a N-NE, separadas da parte central por um pequeno lineamento E-W que varia a E para NE e NW. A parte central, área de estudo, tem direções referentes àquelas que predominam na roseta em E-NE. Já na parte norte, que aparece após o grande lineamento quase E-W, tem estruturação diferenciada com predominância de direções para NW interceptadas por lineamentos N-NE. Alguns desses lineamentos N-NE que entrecortam a parte norte dividem e deslocam algumas estruturas, podendo se caracterizar como falhas.



**Figura 7.** Imagem SRTM da região de Jacutinga. Lineamentos marcados em amarelo, os principais estão em ENE. Gráfico em rosácea de contagem por direção (n=732), e histograma com média dos comprimentos por direção.

## Imagens de processamento geofísico

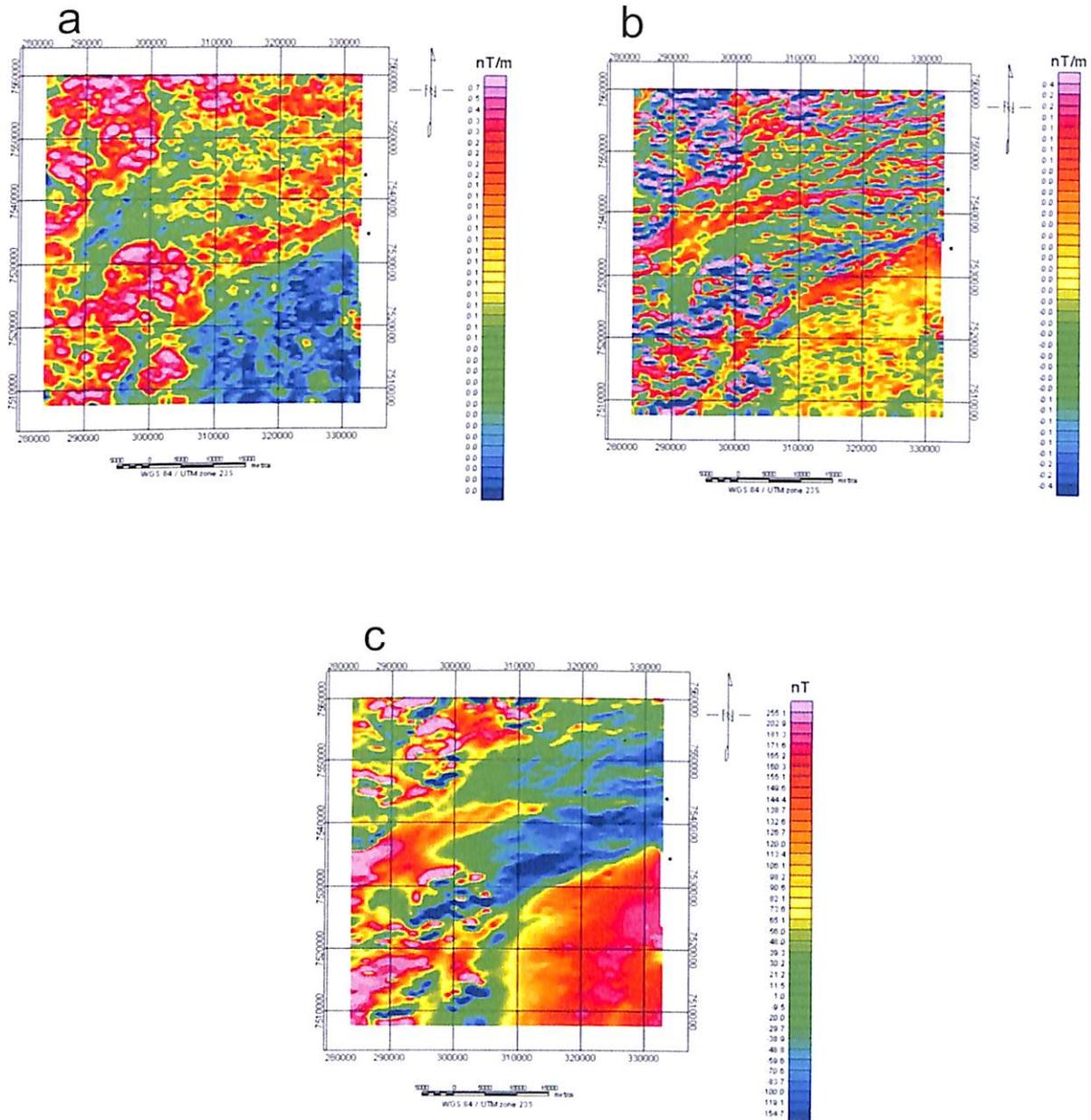
A magnetometria utiliza-se do campo magnético terrestre para identificar alvos que apresentem resposta magnética normal ao esperado para aquela latitude, como também alvos com padrão reverso, que indicam maior componente remanente que a induzida.

Os dados geofísicos foram cedidos por professores que ministraram a matéria *Geofísica* (GE-703), no IG-Unicamp em 2010. São dados da CPRM do programa AERO, série 1000, código 1039, Projeto São Paulo-Rio de Janeiro (área São Paulo). Este levantamento foi realizado entre os meses de junho de 1978 e fevereiro 1979, e possui as seguintes características:

- Intervalo de amostragem: 100 m.
- Altura de voo: 150 m.
- Linhas de voo: Direção N-S espaçamento de 1 km.
- Linhas de controle: Direção E-W espaçamento de 10 km.
- Área total de 58.000 km<sup>2</sup>.

Para interpretação do mapa magnetométrico os dados foram interpolados segundo método bidirecional, que é indicado para interpolar dados que tenham sido levantados em linhas aproximadamente paralelas, uma vez que tendem a realçar feições perpendiculares à linha de levantamento (PARRO, 1998 *apud*. MAGALHÃES, 2007). Após a geração das malhas regulares, estas foram corrigidas por meio dos seguintes filtros: (i) Butterworth passa-alta, com corte no comprimento de onda = 8.000 m e ordem = 8 (quatro vezes o espaçamento das linhas de voo) e, (ii) Cosseno-Direcional, com direção do centro no domínio do espaço = 0 e grau da função = 0.5. Em seguida, os produtos gerados a partir da combinação desses filtros foram subtraídos da malha inicial para gerar o mapa de anomalia magnética; (iii) Derivada na Direção Z, com ordem de diferenciação 1 para gerar o mapa de anomalias magnéticas mais centralizadas; (iv) A partir do mapa do campo magnético anômalo gerou-se o mapa de amplitude do sinal analítico (ASA), que foi corrigido por intermédio dos mesmos filtros aplicados no mapa de anomalia magnética.

O mapa geofísico magnetométrico da região WSW do município de Jacutinga MG-SP mostra duas anomalias bem marcantes, a primeira é uma forte anomalia com direção E-NE e, está a norte cidade de Jacutinga, trata-se da ZCJ, e a segunda tem direção E-W está a norte da Vila de Albertina, possivelmente outra zona de cisalhamento, que se liga a leste com a ZCJ (Fig. 8).



**Figura 8. Mapas geofísicos: a) Amplitude do sinal analítico, b) Derivada em Z e, c) Micronivelado. As principais estruturas estão mais bem marcadas no mapa da derivada em Z e, no micronivelado, as estruturas aparecem a N de Jacutinga com direção ENE.**

## ***Unidades litológicas***

A área está inserida em dois domínios neoproterozóicos principais: o domínio metassedimentar, representado pelo Grupo Andrelândia, e o domínio orto-derivado, composto pelos corpos granito-gnaíssicos migmatíticos da *Nappe Socorro-Guaxupé*. A descrição é feita, pois, segundo os seguintes itens:

- Domínio metassedimentar a sul;
- Domínio orto-derivado a norte;
- Zona de Cisalhamento de Jacutinga;
- Coberturas sedimentares;

### **Domínio metassedimentar**

Foram descritos afloramentos de muscovita quartzito e biotita muscovita quartzito, assim como muscovita quartzito com biotita, intercalados ou não com lentes centimétricas de muscovita xisto bem intemperizados, entre as cidades de Jacutinga, Albertina e Ouro Fino. Junto às rochas paraderivadas aparecem veios anfibolíticos concordantes com a foliação. Para complementar a caracterização apresentada abaixo do muscovita quartzito utilizou-se petrografia microscópica em seção delgada.

As rochas paraderivadas ocorrem na parte sul da área de trabalho, sendo que os pontos principais localizam-se no alto dos morros, como o da fonte Santo Antônio nas proximidades da vila São Luis, e em alguns cortes de estrada.

*Muscovita quartzito:* Ocorre a norte e noroeste de Jacutinga. Os quartzitos apresentam monótonas seções com mais de 15 m de espessura em campo, sendo compostos essencialmente por quartzo e muscovita, na proporção aproximada de 90% de quartzo e 10% de muscovita em lâmina. Há pequenos enriquecimentos de muscovita em algumas porções, porém não alcançando concentrações maiores que 20%. A textura é dada pelos grãos de quartzo e definida como granoblástica e a granulação é média. A muscovita aparece em pequenos cristais, subordinados aos planos de foliação. Quando próximos à zona de cisalhamento, os grãos de quartzo apresentam-se estirados, e as principais lineações acompanham o estiramento da

muscovita e do quartzo, que em lâmina aparecem formando padrões S/C e *mica-fish*. Quando submetidos à intemperismo, os muscovita quartzitos apresentam cores de alteração em tons bege-claro a alaranjados.

*Biotita muscovita quartzito*: Litotipo aflorante a leste de Jacutinga. Em geral são pequenos afloramentos já bem intemperizados. Há pequenas concentrações biotíticas não orientadas entre os planos de foliação. A muscovita ocorre em pequena quantidade, disseminada na rocha entre os grãos de quartzo. O quartzo compõe mais de 75% da rocha e apresenta distribuição homogênea, com granulação média. As cores de alteração têm tons bege-claro alaranjados.

*Muscovita xisto*: Refere-se às pequenas intercalações que aparecem nos afloramentos de quartzito, sempre muito intemperizados; em algumas ocorrências estão bem sericitizados e pequenos ocelos de feldspato aparecem entre as foliações mas não atingem 10% da rocha. As foliações aparecem anastomosadas e com comprimentos longitudinais variáveis, sendo que por vezes foi identificado o término da camada por adelgaçamento.

*Níveis anfibolíticos*: Afloram em meio aos quartzitos e biotita gnaisses que se localizam em Jacutinga e na estrada que vai para Ouro Fino. São rochas maciças, concordantes com a foliação das rochas dominantes, porém com formas amendoadas que terminam frequentemente com adelgaçamentos.

## Domínio orto-derivado

Foram encontrados dois litotipos característicos no domínio: biotita gnaisses e granitos. Essas rochas predominam a norte da área de estudo, mas aparecem em algumas ocorrências em meio às unidades paraderivadas. Os principais afloramentos são matacões e blocos geralmente ao lado das estradas, em meio a pastos e nos cultivos de café.

O biotita gnaisse é a rocha mais frequente do domínio orto-derivado, e por muitas vezes apresenta uma espécie de matriz máfica muito fina. Para subsidiar a descrição, foram feitas lâminas delgadas da matriz.

*Biotita gnaissé:* A característica principal dessas rochas, consideradas orto-derivadas, são os porfiroclastos de K-feldspato avermelhados que aparecem na forma de megacristais em meio à matriz máfica de granulação muito fina; estes podem atingir quantidades relativas acima de 30% da rocha total. Em lâmina a matriz tem característica mineralógica definida por: quartzo, entre 40% e 60%, e biotita entre 25% e 45%, os outros minerais constituintes são representados por 10% de plagioclásio, 5% de feldspato potássico. Associa-se à biotita uma pequena concentração de hornblenda que não atinge 5% da rocha. As rochas em sua maioria apresentam-se alteradas por epidotização, sendo que a presença de veios com borda de alteração torna-se marcante em algumas delas; o epidoto preenche os interstícios entre grãos de quartzo. A textura é governada ora pelos grãos de quartzo ora pela biotita, tendo então duas texturas marcantes, a primeira granoblástica e, a segunda lepidoblástica. Em alguns pontos a porção máfica, quando segregada da porção félsica, também apresenta um pouco mais de anfibólio, porém não atinge 10% da rocha total. (Fig. 12).

*Leucognaisses:* Aparecem pontualmente anexados ao biotita gnaissé e próximos as falhas na zona de alteração, são compostos por 40% de quartzo e 30% de plagioclásio, as quantidades de quartzo e plagioclásio variam em torno de 10% e, aproximadamente 30% de muscovita. A biotita também pode aparecer em quantidades diminutas. Em algumas porções a muscovita está bem oxidada, aparece bem avermelhada, mas em quantidades bem pequenas (JT-38b). Detectou-se incipiente epidotização nessas rochas, principalmente quando próximas a fraturas ou subordinados a alguns níveis dispostos segundo os planos de foliação.

*Granitos e Monzogranitos:* Alguns pontos situados em meio a biotita gnaisses foram definidos como granitos, por apresentarem textura quase isotrópica, não exibirem foliação e não estarem deformados; em geral aparecem como grandes blocos ou matacões, em meio às colinas da região. Nas estradas entre Jacutinga e Albertina e de Albertina a Andradas, os afloramentos de granito exibem composição com aproximadamente de 30 a 40% de quartzo, 30% de feldspato potássico, biotita e muscovita compondo o resto da rocha. Encaixados entre cristas quartzíficas

próximas à Vila de São Luís, NW de Jacutinga, ocorrem monzogranitos que exibem quantidades modestas de quartzo, não ultrapassando 15%; o feldspato potássico atinge cerca de 60%, na forma de megacristais e o plagioclásio perfaz cerca de 25%; biotita e epidoto preenchem interstícios entre os feldspatos.

## Rochas da Zona de Cisalhamento de Jacutinga

### *Milonitos e brechas tectônicas*

Este trabalho identificou três afloramentos-chaves para evidenciar o intenso cisalhamento regional associado à Zona de Cisalhamento de Jacutinga (MG); são eles: JT-24, JT-28 e JT-40, que apresentam maior diversidade de feições estruturais, além das feições miloníticas igualmente descritas em outros pontos. Os afloramentos mostram possíveis planos de falha mais jovens e zonas de alteração.

Os pontos JT-24 e JT-40 são exposições, em maioria, de matacões irregulares, muito resistentes ao choque. Aparecem em meio a grandes cafezais e estão localizados à beira da estrada que liga a vila de São Luís ao bairro dos Machados, em meio à serra dos Machados. Geologicamente localizam-se a norte do domínio dos quartzitos que compõem a serra dos Machados a SE (próximo à fonte Santo Antônio, supracitada), e limitam-se em NW com as ocorrências de arenitos conglomeráticos arcossianos da Bacia Eleutério.

A rocha é um bom exemplo de uma brecha tectônica, composta por matriz máfica silicatada muito fina, com um pouco de biotita. Os fragmentos imersos têm tamanhos e formas variadas, aparecem como seixos sub-arredondados a angulosos, quando sub-arredondados formam pequenos ocelos na rocha. Os matacões e pequenos blocos são bem angulosos. A composição dos fragmentos também é variada, os seixos em maioria são praticamente formados por k-feldspato e quartzo de composição riolítica. Os blocos e matacões são de gnaisses com composição granítica, granitos, biotita gnaiss e, anfíbolito, este último é o único que está um pouco mais arredondado comparado aos demais, aparece como seixo também e parece sobrepor aos demais fragmentos. A disposição dos fragmentos é caótica, com nenhuma direção preferencial. Os blocos gnáissicos mostram feições miloníticas, aparentando

deformação dúctil em um primeiro estágio, antes do falhamento. Há alteração por epidoto restrita aos planos de fratura.(Fig. 9).



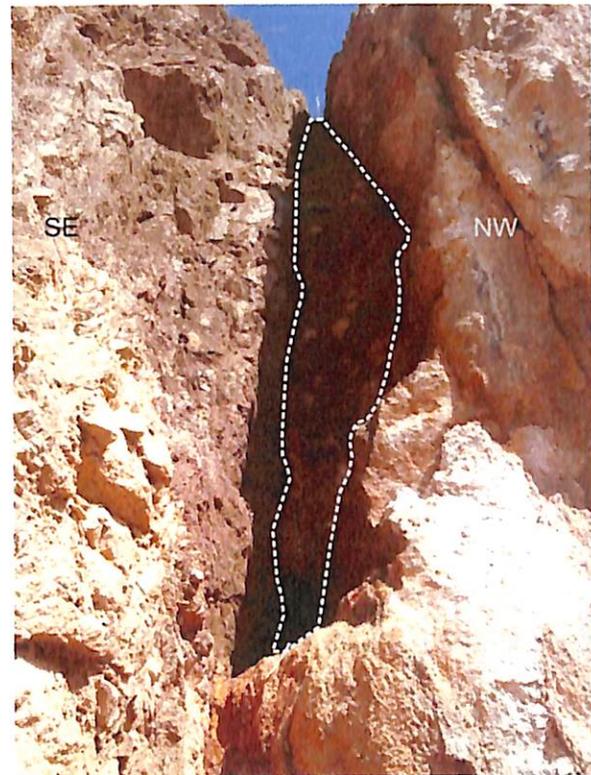
a: Seixos em forma de ocelos de k-feldspato, bloco angular de biotita gnaiss.



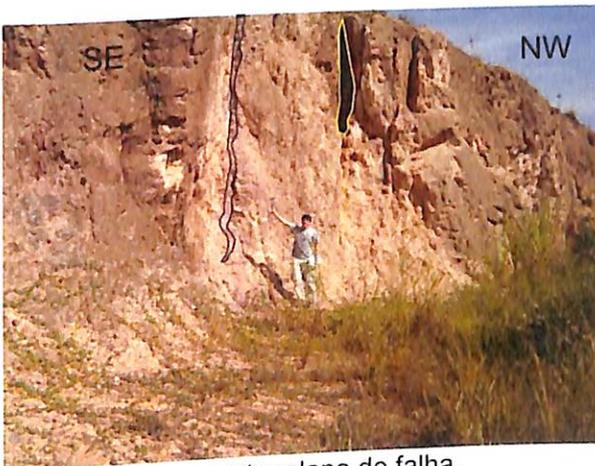
b: Bloco arredondado de anfibolito se sobrepondo aos demais blocos e seixos.



c: Blocos angulosos de gnaiss de composição granítica junto com biotita gnaiss.



d: No detalhe a brecha tectônica in-situ, contato SE com seqüência paraderivada e, a NW com biotita gnaisses.



e: Contorno em preto; plano de falha, veio quartzítico, contorno em amarelo: Brecha tectônica.

**Figura 9: Afloramentos chave inseridos na Zona de Cisalhamento de Jacutinga.**

Ainda a NW da cidade de Jacutinga foram localizados alguns planos de falha que mostram caráter rúptil de deformação, próximo à vila São Luis, na estrada de terra que liga Jacutinga a Espírito Santo do Pinhal. Nela os quartzitos da unidade paraderivada a SW estão em contato com leucogranitos, boudins de anfibolito e um pequeno corpo com dimensões centimétricas de um filito a NW, separados pela brecha tectônica.

As rochas do afloramento são milonitizadas e foliadas, apresentam direções concordantes com a tendência estrutural regional, para NE e, mergulhos a sub-verticais para NW ou SE.

A poucos metros deste limite há região nos quartzitos intensamente alterada por epidotização; o epídoto está disseminado por toda área de alteração, que tem de dois a três metros de largura. Em meio a essa zona de alteração há um grande veio bem cristalizado de quartzo, concordante com as direções preferenciais encontradas.

No município de Jacutinga foram registradas nas cotas mais elevadas ocorrências de sedimentos neogênicos recobrimo os biotita gnaisse e quartzitos. O embasamento apresenta pequenas falhas de gravidade, onde o rejeito não passa de alguns centímetros.

#### *Rochas sedimentares e rochas paraderivadas de baixo grau metamórfico*

Foram descritos apenas dois afloramentos que representam os depósitos sedimentares da Bacia Eleutério, JT-25 e JT-39, e outros dois que compõem a miscelânea de fácies tectonicamente imbricadas descrita por Teixeira e Gaucher (2001) caracterizada mais adiante. (Fig. 10).



a: Conglomerado matriz suportado



b: Arenito conglomerático arcosiano.



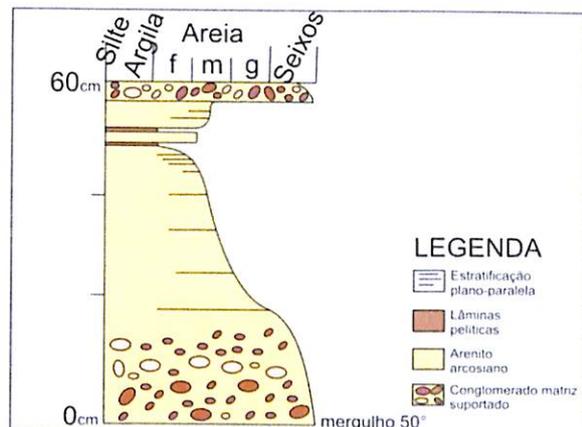
c: Arenito arcosiano conglomerático; contato abrupto entre as seqüências que apresentam gradação normal, com base conglomerática matriz suportada.



d: No detalhe níveis pelíticos com estratificação plano-paralela.



e: Seixos riolíticos compoendo níveis conglomeráticos. Contato abrupto entre as para-sequências; atitude: 340/50



f: Coluna estratigráfica da para-sequência, arenito-conglomerático.

**Figura 10: Sedimentos da Bacia de Eleutério**

*Arenito conglomerático arcossiano:* Essas rochas aparecem a leste de Jacutinga, já próximas à vila de Eleutério, em pequenas colinas, próximas à Serra dos Machados. Trata-se de seqüência com gradação normal, estratificação plano-paralela, onde a base dos estratos é conglomerática, espessuras médias de aproximadamente 20 cm. A rocha é matriz suportada, com a matriz de composição areno arcossiana, mal selecionada. Os clastos são de sub-arredondados a sub-angulares, já a matriz é sub-angular a sub-arredondada.

*Arenito Arcossiano:* O arenito arcossiano aparece em contato abrupto com o filito no ponto JT-39. Este arenito tem um início de foliação quase sub-vertical com direção NE, trata-se de arenito composto por areia grossa onde os grãos são sub-angulares. Não há estruturas de deposição no afloramento encontrado em campo, a rocha neste ponto é maciça.

*Filito:* A coloração é marrom, a foliação é mais evidente que a do arenito, e tem contato abrupto, com mergulho sub-vertical e direção NE, com o arenito. O afloramento não expõe mais do que 1 m desta rocha que estava no contato SW do arenito.

## Rochas sedimentares neogênicas

Foram identificados neste trabalho, dentro do perímetro urbano de Jacutinga, dois pontos de cobertura sedimentar, considerada de idade neogênica. Um dos cortes pertence a uma exposição aberta por terraplenagem. A outra exposição situa-se na entrada da cidade, em amplo corte da rodovia. (Fig. 11).

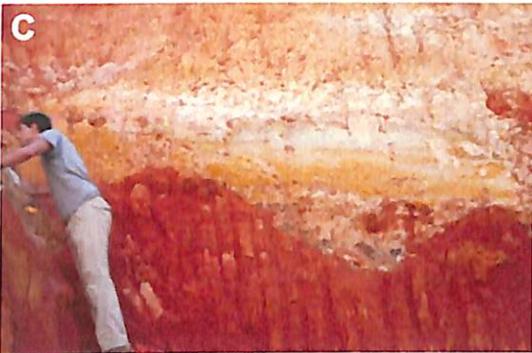


Figura 11: Sedimentos Neogênicos: a) e b) vista panorâmica dos sedimentos sobre o embasamento em corte na estrada, c), d) e g) vista panorâmica dos sedimentos sobre o embasamento em afloramento dentro do perímetro urbano de Jacutinga, e) falha normal no embasamento gnaissico, f) detalhe da variação de tons no afloramento e h) base conglomerática com gradação normal para areno-siltoso

*Sedimentos Neogênicos:* Os sedimentos estão dispostos em sequência estratificada plano-paralela caracterizada nos primeiros 80 cm por uma base conglomerática, de seixos sub-arredondados, arroxeados. Trata-se de rocha matriz suportada, na qual a matriz é composta por areia arcossiana sub-angular. Os conglomerados têm gradação normal para arenitos arcossianos grossos sub-angulares, que por sua vez passam para areno-siltitos. O nível conglomerático reaparece, em direção ao topo da sucessão, em zona de gradação inversa do areno-siltito. Nos pontos JT-11 e JT-18 há o contato com o embasamento quartzítico. O perfil explorado ainda apresenta veios anfíbolíticos concordantes com a foliação do quartzito. No ponto JT-18 foi encontrada pequena falha com direção NE. Ainda neste ponto há precipitados de óxidos de manganês, mais frequentes nos níveis conglomeráticos. (Fig. 11d)

## ***Estruturas tectônicas***

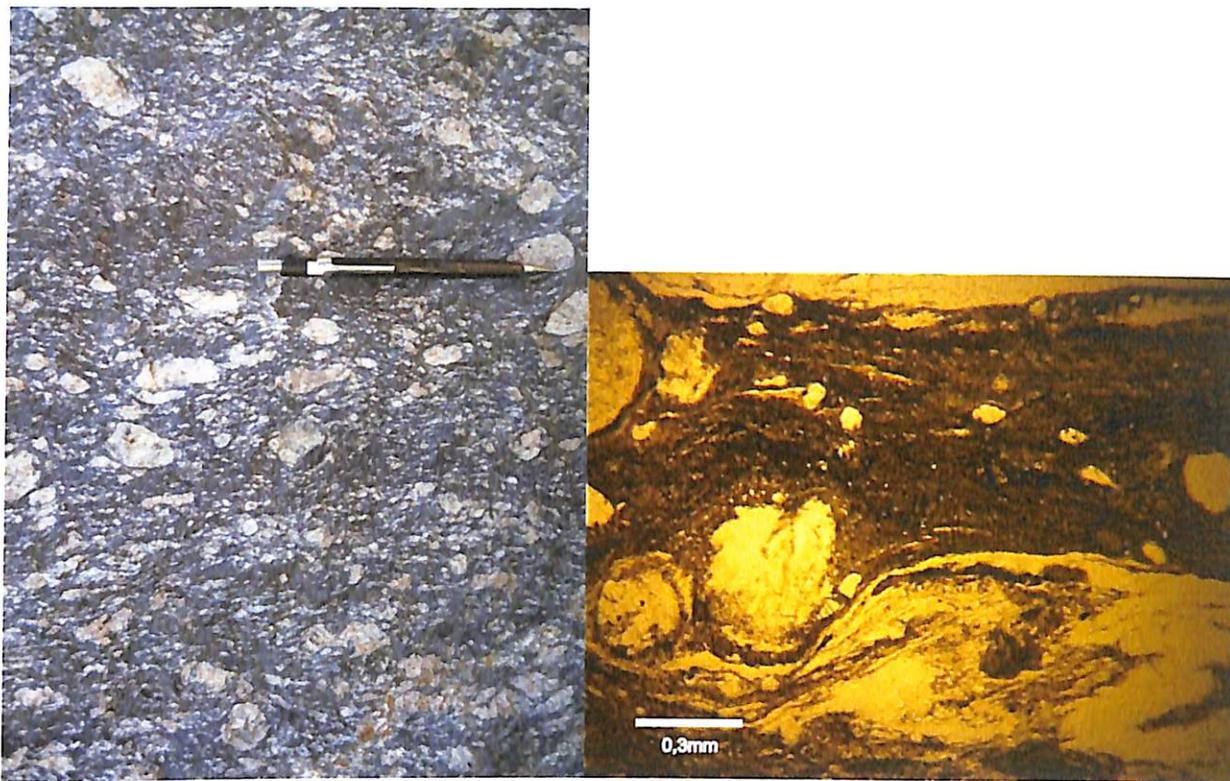
### **Foliações e lineações**

As foliações predominantes na área são de origem metamórfica e foram desenvolvidas durante eventos de dobramento e redobramento regional, sobretudo no domínio sul, composto de rochas paraderivadas. Neste domínio e nos gnaisses do domínio norte (ortoderivado) predominam orientações ENE. Foram medidas algumas foliações com orientação NNW, mais a sul da área, em corpo de muscovita quartzitos. Já no domínio das rochas orto-derivadas os mergulhos seguem o mesmo padrão, só que com intensidades um pouco maiores; são quase verticais.

Em porções afastadas da zona de cisalhamento, o mergulho da foliação regional não ultrapassa 55°, tornando-se mais inclinado no interior da zona de cisalhamento. Nesta última desenvolveu-se nítida foliação milonítica, que tende a obedecer à direção E-W, com pequenas variações para ENE. As foliações das rochas milonitizadas exibem ângulos de mergulho variáveis, que variam desde mergulhos subverticais, até ângulos da ordem de 45° para NW.

Nas rochas orto-derivadas a foliação aparece anastomosada e sem continuidade. Os megacristais de K-feldspato na verdade são porfiroclastos rotacionados, que formam sigmóides de deformação com movimentação relativa

destrógira (Fig 12). Em alguns matacões observou-se curiosa feição, em que a clivagem nos feldspatos potássicos segue padrão uniforme nos cristais; identificou-se obliquidade com a foliação, a um ângulo de aproximadamente 70° (Fig. 13).



**Figura 12. Biotita gnaisse e sigmóides de deformação em k-feldspato com movimentação relativa destrógira (lâmina petrográfica).**



Figura 13. Feldspatos com ângulo de  $70^\circ$  entre a clivagem e a foliação da rocha

Ainda no domínio norte, ou orto-derivado, pequenas dobras cerradas a isoclinais aparecem onde há maior segregação entre os minerais máficos e félsicos e estão mais evidentes na porção félsica que, por estar muito dobrada e ser penetrativa, lembra uma clivagem de crenulação (Fig. 14).



Figura 14. Clivagem de crenulação em biotita gnaisse.

As estruturas de foliação milonítica encontradas em campo e nas amostras de mão podem ser mais bem descritas na seção delgada. Em algumas lâminas é possível reconhecer três gerações de foliação: A primeira ( $S_n$ ) está bem representada por fitas quartzosas (*ribbons* de quartzo) e horizontes biotíticos. A segunda ( $S_{n+1}$ ) está em posição plano-axial das micro-dobras que parecem clivagem de crenulação. Esta clivagem também é responsável pela divisão de horizontes entre os grãos de quartzo onde há maior concentração biotítica. A terceira foliação ( $S_{n+2}$ ) é oblíqua a  $S_n$  e ortogonal a  $S_{n+1}$ . Tem como característica principal a propriedade de deformar pequenas fitas quartzosas, assim como a de alinhar concentrações biotíticas entre os grãos de quartzo.

São comuns nos afloramentos do domínio sul lineações de estiramento em quartzo e muscovita, o que tornou possível a coleta de amostras orientadas, para melhor entendimento da cinemática de deformação, descritas ainda neste tópico.

Nas rochas para-derivadas é possível reconhecer foliação e superfície cisalhante em padrão S/C, além de estruturas em *mica-fish*; ambos indicam movimento relativo destrógiro. A direção da superfície de cisalhamento “C” é E-W, variando para E-NE e W-NW; já as superfícies “S” têm direção NE. Esses dois planos formam pequenos ângulos entre si, aproximadamente  $25^\circ$ , o que indica grande intensidade de cisalhamento. Nos quartzitos, o quartzo tem granulação bem fina, além de fraturado é todo recrystalizado, o que mostra o caráter rúptil-dúctil da deformação. A superfície-S representa  $S_n$ , já a superfície-C corresponde a  $S_{n+1}$ . (Fig. 15).



Figura 15. Afloramento de quartzito milonitizado e microestruturas em lâmina orientada, padrão S/C.

Foram descritos dois planos de falha inseridos, o mais importante e representativo da região serve como contato para as rochas da unidade para-derivada com as rochas orto-derivadas, e nele está encaixada a brecha tectônica, o mergulho é quase vertical, com direção próxima a E-W. O segundo, alguns metros a sul, tem a mesma direção e o mergulho é praticamente igual, caracteriza-se por um plano de falha que é marcado por um veio de quartzo e circundado por alteração de epídoto.

Há ainda um terceiro plano de falha, sua direção é N48E e mergulho de 45 para NW, o que o diferencia dos demais. Este plano corta foliação dos quartzitos que nesta região é N22E 55NW, e é marcado por uma pequena intercalação preenchida por brecha tectônica, está um pouco mais a norte do alinhamento principal ENE quase EW.

Duas famílias de fraturas aparecem bem marcantes neste quartzito. A primeira tem atitudes N70E 75SE e a segunda N16W 35NE.

Os dados de foliações inseridos na ZCJ, assim como os planos de falha, foram reunidos e plotados no diagrama de Wulff para confecção de um estereograma digital. Nele é possível ver a forte tendência estrutural para as foliações que posicionam a falha em E-NE com mergulho relativamente alto.

O diagrama também mostra três populações de lineações diferentes, a primeira e a segunda se relacionam, pois estão na borda do estereograma (*strike-slip*) posicionadas em E-NE e W-SW e podem ser consideradas de um mesmo evento cisalhante, indicando transcorrência. A terceira população tem intensidade mais forte, está oblíqua à foliação e pode representar outro evento cisalhante. (Fig. 16).

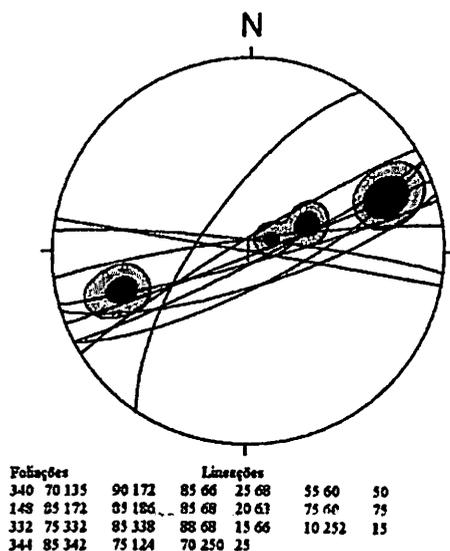


Figura 16. Diagrama de Wulff para as foliações (12) e lineações (7) da zona de cisalhamento de Jacutinga.

Com os mesmos dados também foi confeccionado um diagrama de rosácea que mostra contagem por direção. Percebe-se no diagrama de rosácea que as direções preferenciais estão entre 60° e 80°, com diminuição na frequência para as direções entre 80° e 100°. A pequena concentração próxima à direção N-NE está quase perpendicular à região de maior concentração e pode representar estruturas formadas por tração. (Fig 17).

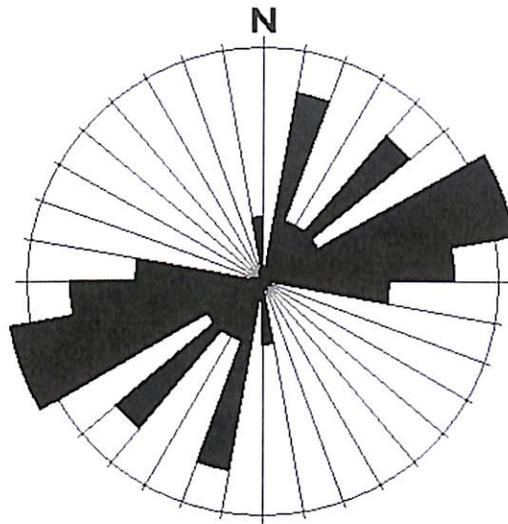


Figura 17. Gráfico em rosácea que mostra contagem de foliações por direção na região estudada.

### Dobras intrafoliais

As dobras nesta região foram descritas pontualmente apenas no biotita gnaisse que está bem próximo ao contato com quartzito. São pequenas dobras que têm plano axial E-W vertical, charneira voltada para leste, eixo de dobra quase sub-vertical e, têm ápice espessado. As dobras (Fig. 18) são da classe 1C segundo a classificação de Ramsay (1967). Associado às dobras ocorrem pequenos boudins de biotita gnaisse, com os horizontes bem segregados. Junto a esses podem aparecer zonas de sombra preenchidas por quartzo.

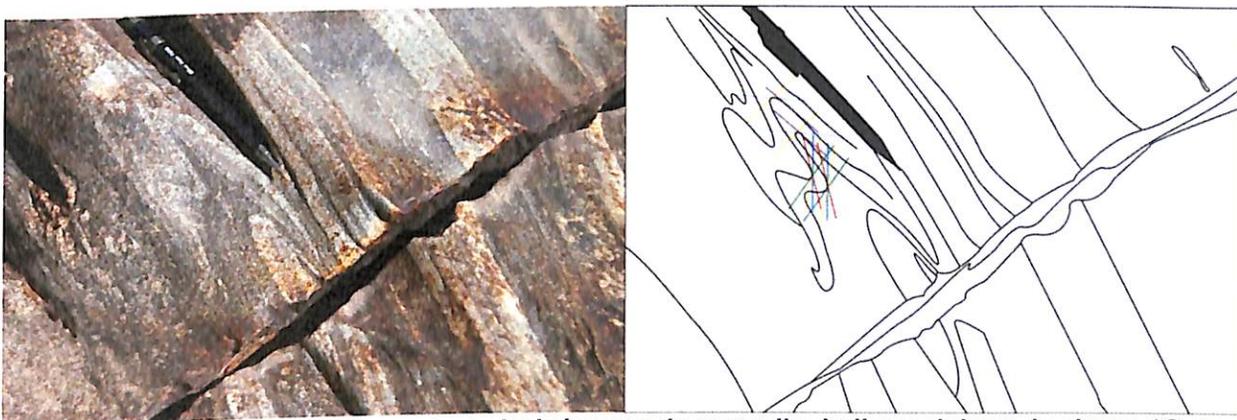


Figura 18. Dobras no biotita gnaisse. As isógonas de mergulho indicam dobras da classe 1C na classificação de Ramsay (1967), cada par de isógonas tem uma cor e apresentam diferença de 15°.

## ***Recursos Minerais e Hídricos***

Por tratar-se de uma zona de cisalhamento a região pode apresentar uma grande diversidade de minerais de minério, além do mais a região está inserida dentro do circuito das águas, conhecido pelas estâncias hidrominerais, por exemplo, no município de Jacutinga há diversas fontes de água mineral e água potável de mesa.

Durante os trabalhos de campo foram descritas algumas ocorrências minerais que são apresentadas aqui sucintamente.

Neste trabalho duas fontes de água mineral foram descritas, a primeira está no perímetro urbano, chamada de fonte São Clemente; localiza-se na unidade de muscovita quartzitos que está inserida no domínio de rochas para-derivadas. A segunda fonte, fonte Santo Antônio, engarrafada pela empresa Serra da Mina, também está no domínio de rochas para-derivadas, em biotita muscovita quartzito; trata-se de água fluoretada com vazão de 15.000 l/dia.

No município de Jacutinga está localizada uma área adquirida pela Danone do Brasil onde estão implantadas diversas fontes e poços profundos para aproveitamento de água mineral. O perímetro compreende rochas do domínio ortoderivado.

Na extensão e ao redor da falha de Jacutinga existem diversas ocorrências de manganês e, neste trabalho precipitados de Mn foram descritos nos quartzitos e nos níveis conglomeráticos dos sedimentos neogênicos.

## Capítulo 7:

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados da ZCJ coletados em campo e tratados em escritório e laboratório apresentam características cinemáticas deformacionais, além de sugerir uma síntese sobre a possível evolução da área. Neste trabalho foram visitados alguns pontos levantados em estudos anteriores.

As rochas da ZCJ apresentam características de deformação dúctil e rúptil, estão marcadas nos minerais recristalizados e fraturados, nas dobras e clivagens de crenulação, e nos planos de falha que vinculados a Brecha Tectônica. A evolução desta zona de cisalhamento se deu a partir dos esforços ligados à faixa Brasília que resultaram na amalgamação de terrenos e colocação de *nappes* de caráter deformacional dúctil na zona de interferência a sul do cratón São Francisco, onde se insere a *nappe* de Guaxupé. Os terrenos para-derivados que fazem contato com a *nappe* além de passarem pela deformação referente às interações da faixa Brasília com o cratón São Francisco, tem evolução relacionada aos eventos transamazônicos. Portanto se relaciona a dobramentos e redobramentos, que pós-deformação dúctil, registrada nos gnaisses orto e para-derivados, entrou em regime rúptil, entrecortada por zonas de cisalhamento como a de Jacutinga.

O comportamento dúctil está marcado nos grãos de quartzo recristalizados, nas fitas quartzosas, nas dobras cerradas a isoclinais e dobras intrafoliais das rochas próximas à ZCJ. O comportamento rúptil está marcado pela existência de brechas tectônicas, planos de falha e cataclasitos nos quais se observa fraturamento dos grãos de quartzo, biotita e K-feldspato. O tipo de cisalhamento pode ser caracterizado pelos dados de lineações e foliações; compreendendo dois estágios de evolução, o primeiro com lineações quase *strike-slip* está relacionado à rampa lateral, e o segundo, com lineações quase frontais representam possível rampa frontal. Os porfiroclastos de K-feldspato, padrões *S/C*, *mica-fish*, mostram movimentação dúctil durante deformação dúctil. As imagens de satélite e radar mostram padrão binário com movimentação com relativa destrógiara.

Neste contexto evolutivo pode considerar cronologicamente que a primeira deformação é relativa à rampa frontal, o segundo ainda em regime dúctil como rampa lateral, e por fim a transcorrência destrógi-rúptil.

Os trabalhos evidenciaram que as brechas tectônicas descritas por Teixeira *et. al* (2004) como "miscelânea de rochas tectonicamente imbricadas", ocorrem em ambos os limites da Bacia de Eleutério, tanto no contato com as rochas para-derivadas a sul, conforme descrito pelos autores citados, como no limite norte, junto ao domínio orto-derivado. Os dados sugerem que a Bacia se desenvolveu a partir de deformação rúptil associada à zona de cisalhamento de Jacutinga.

A reativação neogênica da ZCJ afetou foliações e fraturas geradas pela movimentação transcorrente. O regime de esforços distensionais contribuiu para gerar espaços e acomodar os depósitos sedimentares do perímetro urbano de Jacutinga, que foram descritos pela primeira vez neste trabalho. Estes, por suas características, remetem a deposição à atividade neotectônica.

## Referências

- Ab' Saber A.N. Summit surfaces in Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 30, p. 28-31. 2000.
- Alkmim F.F., Brito Neves B.B., Castro Alves J.A. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. *In: J.M.L. Dominguez, A. O Cráton do São Francisco*. SBG/SGM/CNPq, Misi (eds) Salvador, p. 45-62. 1993.
- Almeida J.C.H., Tupinamba M.M., Heilbron M., Trouw R. Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira Belt, southeastern Brazil. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 40, 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, v. 1, p. 32. 1998.
- Almeida S.H.S. *Gravimetria e tectônica do Cinturão Ribeira na região limítrofe entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro* Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, campus Rio Claro, Rio Claro, 203 p. 2002.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. *The Upper Precambrian of South America*. São Paulo, IGUSP, Boletim, v.7 p. 45-80. 1976.
- Almeida, F.F.M.de; Hasui. Y.; Carneiro, C.D.R. O Lineamento de Além Paraíba. *In: An. Acad. brasil. Ciênc.*, v. 47, n 3/4, p.575. 1975.
- Artur, A. C., Wernick, E., Kawashita, K. Dobramentos superrimpostos na região de Itapira (SP): caracterização e cronologia. *In: Simpósio Regional de Geologia*, v. 2, 1979, São Paulo. *Atas...* São Paulo: SBG, p. 58-70. 1979.
- Artur A. C. *Rochas Metamórficas dos Arredores de Itapira*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 193p. 1980.
- Artur A. C. *Evolução policíclica da infraestrutura da porção sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes do Estado de São Paulo*. SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 215p. 1988.
- Barros R. S., Cruz C. B. M., Reis R. B., Júnior N. A. C., Avaliação do Modelo Digital de Elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de Aplicação: Angra dos Reis – RJ. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2005, Goiânia, *Anais...*Goiânia: v. 1, p. 3997 – 4004.
- Braga I. F. *Relação entre a tectônica tangencial e transcorrente na porção central da Cunha de Guaxupé, MG*. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, campus Rio Claro, Rio Claro. 169p. 1996.
- Braga I. F. *Análise da Deformação de Rochas Infracrustais da Região de Cristina e Itajubá, MG*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, campus Rio Claro, Rio Claro, 197p. 2002.
- Campanha G. A. C., Fernandes L. A., Gimenez Filho A. *Mapeamento geológico na escala 1:50.000 das folhas Mogi-Guaçu (parte correspondente ao embasamento cristalino) e Águas de Lindóia (parte correspondente ao Estado de São Paulo)* São Paulo, IPT. (Rel IPT nº 17.446). 1982
- Campos Neto M. C., Basei M. A. S., Vlach S. R. F., Caby R., Szabó G. A. J., Vasconcelos P. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton São Francisco, SE – Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP*. São Paulo, v 4, n. 1, p.13 – 40. 2004.

- Campos Neto M. C., Figueiredo M. C. H. The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *J. South. Am. Earth. Sci.*, v 8, n 2, p.143-162. 1995.
- Campos Neto, M. C. *A porção ocidental da faixa Alto do Rio Grande – ensaio de evolução tectônica*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 210 p. 1991.
- Campos Neto, M. C., Caby, R. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, v.19, p. 669-687. 2000.
- Carneiro, C.D.R. *Geologia da região de Jundiá-Atibaia. Projeto Evolução crustal da região de Jundiá-Atibaia e implicações conceituais para ensino de campo em geologia e planejamento da ocupação. Campinas (SP)*. Campinas: Inst. Geoc. Unicamp. Apoio: Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP. (Rel. Cient. Final, FAPESP/CNPq). São Paulo. 90p. 9 anexos (3 mapas). 2001.
- Cavalcante, J. C. Projeto Sapucaí, Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais: *relatório final de geologia*. Rio de Janeiro: DNMP/CPRM, 229 p. (Série Geologia nº4; Seção Geológica, n.2). 1979.
- Dardenne M. A. The Brasília Fold Belt. *In: U. G. Cordagni, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds). Tectonic Evolutions of South America*. 31º Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro, p. 231-263. 2000.
- Del Lama E. A., Zanardo A., Oliveira M. A. F., Morales N. Exhumation of High Pressure Granulites of the Guaxupé Complex, Southeastern Brazil. *Press. In. Geological Journal*, Colorado, 2000.
- Delgado I.M., Souza J.D., Silva L.C., Silveira Filho N.C., Santos R.A., Pedreira A.J., GUIMARÃES J. T., Angelim L.A.A., Vasconcelos A.M., Gomes I.P., Lacerda Filho J.V., Valente C. R., Perrotta M.M. & Heineck C. A. Geotectônica do Escudo Atlântico. *In: L.A. Bizzi, R.M. Schobbenhaus, R.M. Vidotti & J.H. Gonçalvez (Eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM*. 2003.
- Ebert H.D. A tectônica do sul de estado de Minas Gerais e regiões adjacentes. *Relatório Anual Diretor – Divisão Geologia Mineralogia*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 97-107. 1956.
- Ebert H.D. Ocorrências da fácies granulítica no Sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *In: An. Acad. Bras. Ciênc.*, São Paulo, v. 40, p. 215-29. suplemento. 1968.
- Ebert H.D. Os Paraibides entre São João Del Rei, Minas Gerais e Itapira, São Paulo e a bifurcação entre Paraibides e Araxáides. *In: SBG, Boletim Especial do Congresso Brasileiro de Geologia*, 25, São Paulo, v. 1, p. 177-78. 1971.
- Ebert H.D. O Grupo Eleutério e a Falha de Jacutinga (Nordeste de SP). *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 28, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, Boletim ,v.1, p.726-30. 1974.
- Ebert H.D. Hasui Y, Sartorato G, Alameida S.H. & Costa J.B.S. Arcabouço estrutural e tectônica transpressiva das faixas móveis da borda sul e sudeste do Cráton do São Francisco e da Síntaxe de Guaxupé. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 4., Belo Horizonte. *Boletim...* Belo Horizonte. SBG, v.12, p.166 71. 1993.
- Ebert H.D. Neves M.A., Hasui Y., Szatimari P., Aires J. R. Evolução dos cinturões de cisalhamento entre os blocos São Paulo, Vitória e Brasília através da tectônica colisional oblíqua: uma modelagem física. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 4, Belo Horizonte. *Boletim...* Belo Horizonte: SBG, v.12, p.254 – 258. 1993.

- Ebert H.D. Mapeamento Estrutural Digital da extremidade oriental da Síntaxe de Guaxupé (MG) em 1:250000. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 3, Rio Claro. *Boletim...* Rio Claro, UNESP/SBG campus Rio Claro, p.181-183. 1991.
- Fernandes J.F., Iyer S.S.; Imakuma K.; Choudhuri A. Geochemical studies in the Proterozoic metamorphic terrane of the Guaxupé massif, Minas Gerais, Brazil. A discussion on large ion lithophile element fractionation during high-grade metamorphism. *Precambrian Research*, v. 36, p. 65-79. 1987.
- Fiori, A.P., Wernick E., Bettencourt J.S. Evolução policíclica na região nordeste do Estado de São Paulo e áreas vizinhas do Estado de Minas Gerais. *In: SBG, Congr. Bras. Geol.*, 30, Recife. *Anais...*, Recife. v. 1, p. 303-320. 1978.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Bleeker W., Lourens L.J. A New Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, v. 27, n. 3, p. 83-100. 2004.
- Haddad R.C.O. Batólito Pinhal-Ipuúna (SP-MG): *Um exemplo de magmatismo cálcio-alcálico potássico neoproterozóico no sudeste brasileiro*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 270p. 1995.
- Haralyi N.L.E., Hasui Y. Compartimentação geotectônica do Brasil Oriental com base na informação geofísica. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 31, Salvador. *Anais... Salvador*. SBG, v. 1, p. 374-85. 1982.
- Haralyi, N.L.E.; Hasui, Y.; Mito, J.A.; Hamza, V.M.; Rodrigues, C.V. Ensaio Sobre a Estruturação Crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. *Contribuições à Mineralogia e Petrologia - Volume Djalma Guimarães*. Belo Horizonte: SBG / Núcleo de Minas Gerais. p. 71-93. 1985.
- Hasui Y. The Mantiqueira Province: Archaean structure and Proterozoic evolution. *Revista Brasileira de Geociências*, v.12, n.1-3, p.167-172. 1982.
- Hasui Y. Geologia Estrutural Aplicada à Geotecnia. *In: 6 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e 9 Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Fundações*, Salvador. *Anais*. São Paulo : ABGE e ABMS, v.3. p.1-12. 1992.
- Hasui Y. Ebert H.D. Costa J.B.S. Estruturação da extremidade oriental da chamada Cunha de Guaxupé. *In: 36 Congresso Brasileiro de Geologia*, Natal. *Anais...* Natal : SBG. v. 5. p. 2296-2308. 1990.
- Hasui Y. Carneiro C.D.R. Coimbra A.M. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5(4):257-266. 1975.
- Hasui Y. Magalhães F.S. Ramos J.M.S. Carbonari F.S. Sandroni S.S. A utilização do mapa de forma estrutural para elaboração do modelo estrutural. *In: 7 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Poços de Caldas*. *Anais...* São Paulo : ABGE, v. 1. p. 321-332. 1993.
- Heilbron M. *et al.* From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. *In: Mohriak W. & Tankard, (Eds). Atlantic rifts and continental margins*. Geophysical monograph, 115. American Geophysical Union, 2000.
- Heilbron M. Pedrosa-Soares A.C. Silva L.C. Campos Neto M.C. Trouw R.A.J. Província Mantiqueira. *In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.E. Brito Neves. 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. p. 203-234. ( Cap. 13). 2004.
- Howell D. G. Tectonic of suspect terranes: Mountain building and continental growth. *Chapman, Hall (eds)*, London, 232 p. 1989.

- Janasi V. A. *Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica*. Tese de Livre-Docência, – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 304 p. 1999.
- Janasi V. A. Haddad R. C. Vlach S. R. F. Comments on the Sm-Nd isotopic systematics of calc-alkaline granitoids from the Pinhal-Ipuçuna batholith (São Paulo and Minas Gerais, Brazil). *In: South-American Symposium on Isotope Geology*. Campos do Jordão. Extend Abstracts. Campos do Jordão: FAPESP/CNPq/CPRM, p. 147-150. 1997.
- Machado Filho L. Ribeiro M. Gonzalez S.R. Schenini C.A. Santos Neto A. dos; Palmeira R.C. Pires J.L. Teixeira W. Castro H.E.F. Geologia das Folhas Rio de Janeiro (SF 23/24) escala 1:1.000.000, mapa e texto explicativo. Rio de Janeiro, MME. 780p. (Projeto RADAM Brasil). 1983.
- Machado R. Endo I.A. Megaestrutura em flor positiva do vale do Rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro e suas implicações tectônicas regionais. *In: Simpósio de Geologia do Sudeste*, 3., 1993, Rio de Janeiro *Boletim...* Rio de Janeiro:SBG p 58. 1993
- Machado R. Endo I. 1994. Superposição Cinemática Brasileira no Cinturão de Cisalhamento Atlântico e na Cunha de Guaxupé. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38., 1994, Balneário de Camboriú. *Boletim...* Balneário de Camboriú: SBG, 1994, v.1, p. 269 – 70.
- Modenesi M.C. *Significado dos depósitos correlativos quaternários em Campos do Jordão - São Paulo: implicações paleoclimáticas e paleoecológicas*. São Paulo, Instituto Geológico, 155 p. (Boletim 7). 1988.
- Morales N. *Evolução tectônica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, Rio Claro, 220 p. 1993.
- Morales N. Geologia da porção sudoeste da Folha de Guaxupé. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38, Balneário de Camboriú: SBG, v.2, p. 87- 8.1994.
- Neves M.A. Morales N. Borges M.S Ebert H.D. Compartimentação morfotectônica da região de Jundiá (SP). *Rev. Brasileira de Geociências* v.33, p.167-176. 2003.
- Paciullo F.V.P. Ribeiro A. Andreis R.R. Trouw R.A.J. The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic intra-plate continental margin, southern Brasília Belt. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, v 30. p. 200-202. 2000.
- Ramsay J.G. *Folding and Fracturing of Rocks*, McGraw-Hill, New York, p. 1-568. 1967.
- Rostirolla S.P. Assine M.L. Fernandes L.A. Artur P.A. Reativação de Paleolinhamentos Durante a Evolução da Bacia do Paraná – O Exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. *Rev. Bras. de Geoc.*, São Paulo, v. 30, n.4, p 639 – 648. 2000.
- Tassinari C.C.G. *As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção Sudeste do Estado de São Paulo e sua evolução crustal*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo 236 p. 1988.
- Teixeira A.L. *Ambientes geradores dos sedimentos da Bacia Eleutério*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 132. 1995.
- Teixeira A.L. *Análise das bacias da transição Proterozóico-Fanerozóico do Estado de São Paulo e adjacências*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 163 p. 2000.

- Teixeira A.L., Cordani U.G., Nutman, A. Idades de U/Pb (SHIRIMP) de seixo riolítico em metaconglomerado da Bacia Eleutério, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.71, p. 837-838. 1999.
- Teixeira, A. L., Gaucher, C. Litoestratigrafia, Paleontologia y correlaciones de lãs cuencas de Eleutério, Pouso Alegre, Pico de Itapeva y Cajamar (Vendiano-Cambrico), Brasil. *In: Congreso Latinoamericano de Geología*, 11, e Congreso Uruguayo de Geología, 3, Montevideú. *Acta...Montevideo*, DINAMIGE/SUG, Trabalho n° 088, 6p. 2001.
- Teixeira, A. L. Gaucher, C., Paim, P. S. G., Fonseca M. M., Parente C. V. P., Silva Filho, W. F., Almeida A. R., Bacias do Estágio da Transição da Plataforma Sul Americana. *In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. orgs. 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca. p. 575-592. (Cap. 29). ISBN 85-87256-45-9. 2004.*
- Trouw R.A.J., Ribeiro A., Paciullo F., Heilbron M. Interference between the Neoproterozoic Brasília and Ribeira Belts, with Special emphasis on high pressure granulites. *In: IUGS, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro. Post-Congress Field Trip Guides...*, Rio de Janeiro, p. 45. 2000.
- Trouw, R. A. J.; Ribeiro, A.; Paciullo, F.V.P. Geologia estrutural dos Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.55, n.1, p.71-85. 1983.
- Valeriano C. M., Almeida J. C. H., Simões L. S. A., Roig H. L., Duarte B. P., Heilbron M. Evolução estrutural do domínio externo da Faixa Brasília no Sudoeste de Minas Gerais: registros de uma tectônica pré-brasileira. *Rev. Bras. Geoc.*, v.25, n.4, p.221-234. 1995.
- Valeriano, C.M.; Dardenne, M.A.; Fonseca, M.A.; Simões, L.S.A., Seer, H.J. A evolução tectônica da faixa Brasília. *In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. orgs. 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca. p. 575-592. (Cap. 32). ISBN 85-87256-45-9. 2004.*
- Vidal-Torrado, P.; Macias, F.; Calvo, R.; Carvalho, S. & Silva, A.C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, v.30, p 523-541. 2006.
- Vitte, A.C., Mello, J. P. Determinação da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Verde, Região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. *In: Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 74-102. 2010.
- Vlach, S.R.F. *Geologia e petrologia dos Granitóides de Morungaba, SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.414p. 1993.
- Wernick E., Fiori A.P., Bettencourt J.S., Choudhuri A. A tectônica rígida do fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda sul do Cráton do São Francisco: tentativa de um modelo preliminar. *In: Mascarenhas J.F. coord. 1991. Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. SBG/SGM/CNPq, Salvador, p. 164-168. 1991.*
- Wernick, E., Oliveira M.A.F., Kawashita K., Cordani U.G., Delhal J. Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr em rochas do Bloco Jundiá e regiões adjacentes. *Rev. Bras. Geoc.*,v.6, p.125-35. 1976.
- Wernick, E.; Fiori A.P.; Bettencourt J.S.; Choudhuri A. A tectônica rígida do fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda sul e sudeste do Cráton do São Francisco: tentativa de um modelo preliminar. *In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. Salvador, SBG. p. 164-68. 1981.*

## ANEXOS

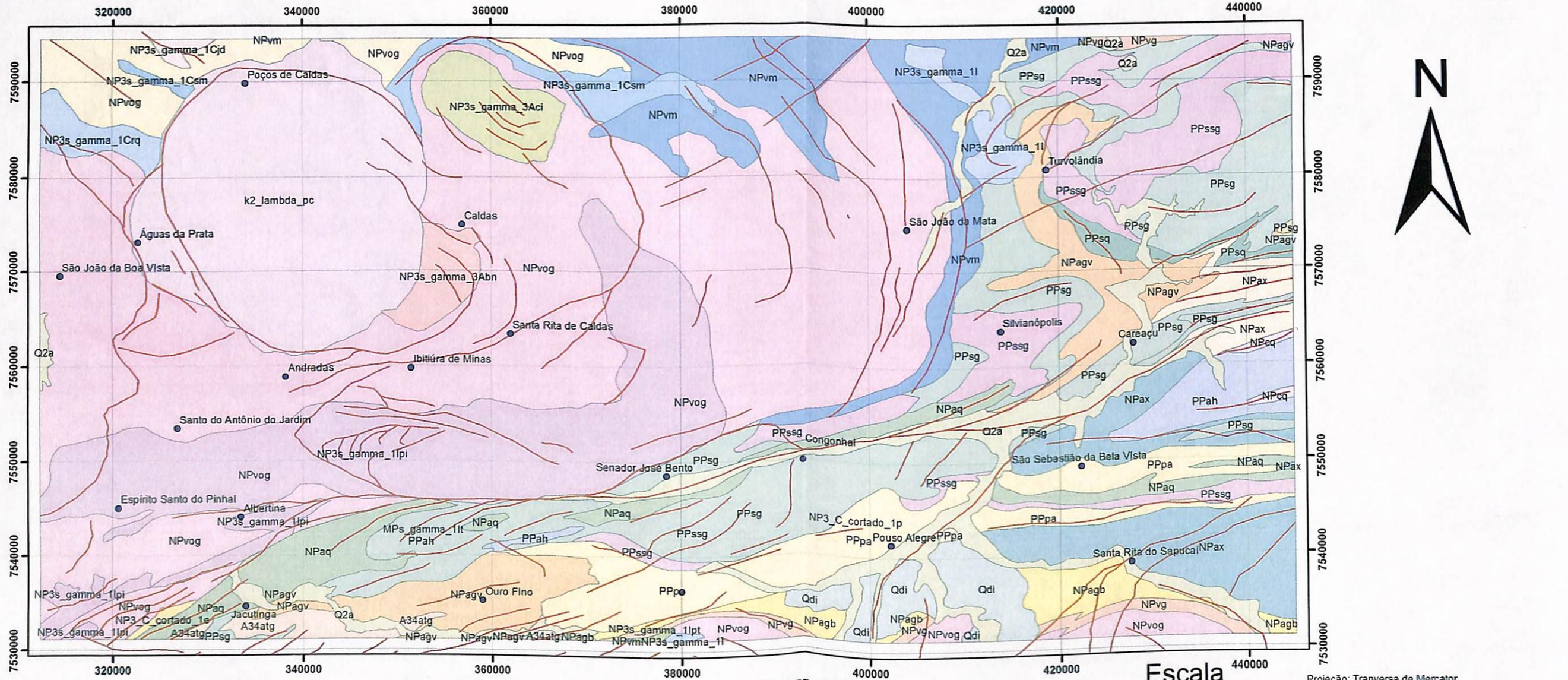
Contém:

- Mapa de Localização regional da região Leste do Estado de São Paulo e sudeste do Estado de Minas Gerais.
- Mapa modificado de CPRM da região do sul de Minas Gerais.
- Mapa modificado de Campos Neto *et al.* 2004 da região da cunha de Guaxupé.

# CPRM (modificado)

POR VOCÊ? NO OUTRO EXATAMENTE?

Biblioteca  
Instituto de Geociências  
UNICAMP



**LEGENDA**

- Cidades
- Lineamentos

**CENOZÓICO**

- Areia, Cascalho (Depósitos aluvionares), Q2a
- Areia, Argila, Cascalho (Coberturas detriticas indiferenciadas), Qdi

**MESOZÓICO**

- Fonolito, Tufito, Pseudoleucita Fonolito (Poços de Caldas), k2\_lambda\_pc

**Neoproterozóico**

- Biotita Granito (Granito Serra Preta, Suíte Bragança Paulista), NP3s\_gamma\_1ipt
- Charnockito, Granito, Jotunito, Mangerito, Norito, Quartzito-Sienito (São José do Rio Pardo - Divinolândia), NP3s\_gamma\_1Cjd
- Charnockito, Granito, Mangerito (São Roque da Fartura), NP3s\_gamma\_1Crq
- Enderbitito, Granulito, Granulito Máfico (Varginha-Guaxupé, unidade granulítica basalt), NPvg
- Anatexito, Gnaise Granítico, Migmatito Estromático, Gnaise Tonalítico (Varginha-Guaxupé), NPvog
- Anatexito, Gnaise Granítico, Migmatito Estromático, Gnaise Tonalítico (Varginha-Guaxupé, unidade ortognáissica migmatítica intermediária), NPvog
- Andrelândia, unidade de metagrauvacas (Metagrauvaca, Muscovita-Biotita Gnaise), NPagv
- Andrelândia, unidade de xistos (Quartzito, Mica xisto, Xisto aluminoso), NPax
- Anfibolito, Biotita Gnaise (Andrelândia, unidade gnáissica com intercalações de quartzitos, anfibolitos e metaultramáficas), NPagb
- Granito, Granodiorito, Monzonito, Sienito (Granitoides tipo I, sinorogênicos, do orógeno Socorro-Guaxupé), NP3s\_gamma\_11
- Granito, Mangerito (Suíte mangerítica), NP3s\_gamma\_1Csm
- Metagrauvaca, Muscovita-Biotita Gnaise (Andrelândia, unidade de metagrauvacas), NPagv
- Metarenito Arcoseano, Metaconglomerado suportado por Clasto, Metaconglomerado suportado por Matriz, Metaconglomerado Polimitico (Eleutério), NP3\_C\_cortado\_1e
- Metarenito, Metarenito Arcoseano, Metarenito Feldspático, Metassilito, Metaconglomerado Polimitico (Pouso Alegre), NP3\_C\_cortado\_1p
- Monzogranito, Sienogranito (Granito Pinhal-Ipuiúna), NP3s\_gamma\_1ipi
- Paragnaisse, Mica xisto, Biotita Gnaise (Varginha-Guaxupé, unidade paragnáissica migmatítica superior), NPvm
- Quartzito (Carrancas, unidade quartzítica), NPcq
- Quartzito, Mica xisto, Xisto aluminoso (Andrelândia, unidade de xistos), NPax
- Quartzito-metarenito, Quartzito, Muscovita Quartzito (Andrelândia, unidade quartzítica), NPaq
- Sienito (Sienito Capituva), NP3s\_gamma\_3Aci
- Sienito (Sienito Pedra Branca), NP3s\_gamma\_3Abn

**Mesoproterozóico**

- Granito (Taguar), MPg\_gamma\_11t

**Paleoproterozóico**

- Granito, Granodiorito, Trondhjemito, Anfibolito, Ortognaisse, Gnaise Granítico, Tonalito Gnáissico (Ortognaisse Serra do Quiabeiro), PPsg
- Ortognaisse, Rocha Básica e/ou Ultrabásica, Metaultramáfica, Migmatito Estromático, Hornblenda Gnaise, Biotita Gnaise (Gnaisses Heliodora), PPah
- Ortognaisse, Xisto, Quartzito, Hornblenda Gnaise, Biotita Gnaise (São Gonçalo do Sapucaí), PPsg
- Anatexito, Anfibolito, Ortognaisse, Migmatito Estromático, Hornblenda Gnaise, Biotita Gnaise (Serra de São Gonçalo), PPsg
- Anatexito, Anfibolito, Ortognaisse, Migmatito Estromático, Hornblenda Gnaise, Biotita Gnaise (Serra de São Gonçalo), PPsg
- Tonalito, Migmatito, Ortognaisse (Ortognaisse Pouso Alegre), PPpa

**ARQUEANO**

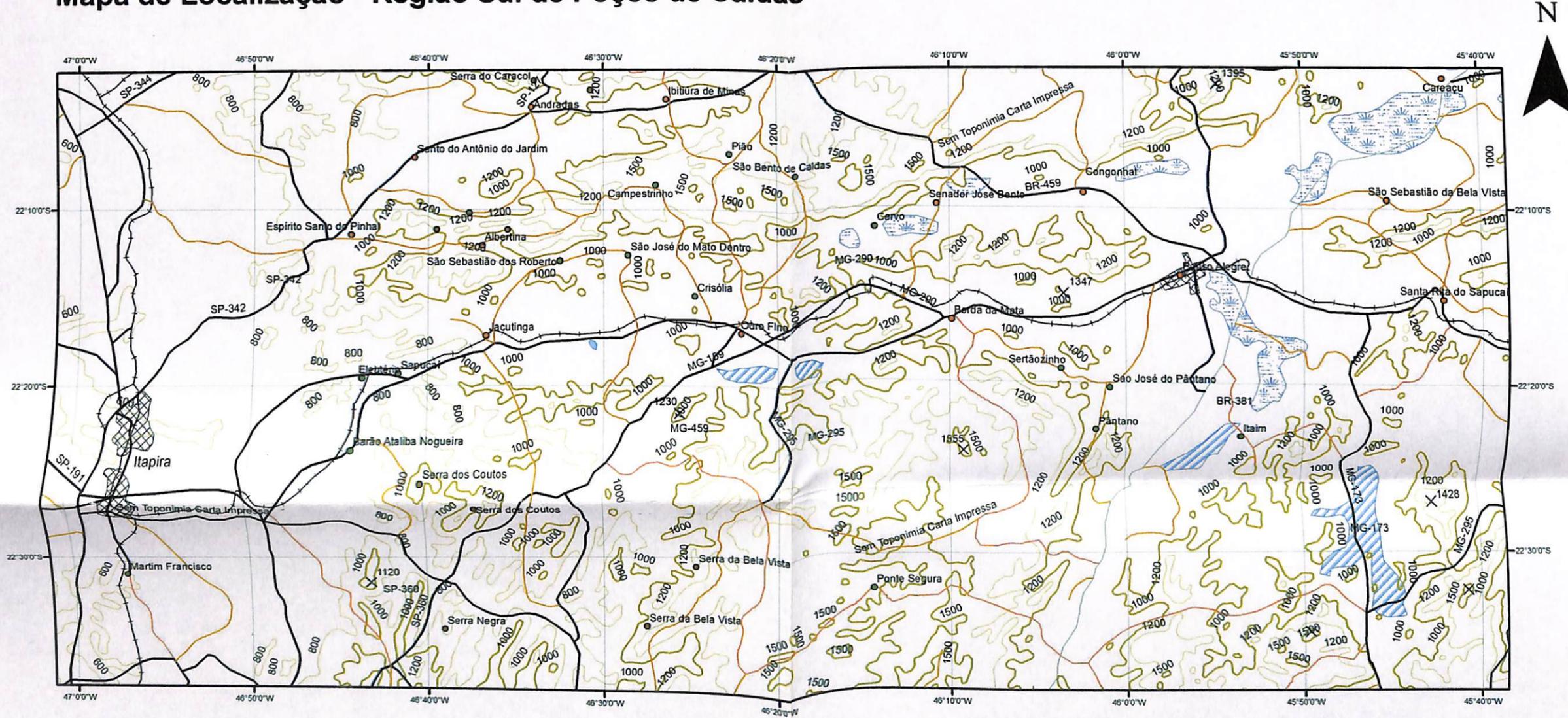
- Trondhjemito, Ortognaisse, Migmatito Estromático (Amparo, unidade de migmatitos tonalito-trondhjemíticos), A34atg

**PROTEROZÓICO**

**Escala**  
1:400.000

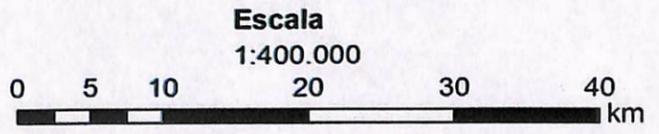
Projeção: Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas: WGS 1984, UTM Zona 23S

Mapa de Localização - Região Sul de Poços de Caldas



LEGENDA

- Vilas
- Serras
- Cidades
- ▨ Principais Cidades
- ☁ Brejo
- ▨ Terreno Sujeito a Inundação
- +— Ferrovias
- Rodovia Pavimentada
- Rodovia Não Pavimentada
- Outras Estradas
- Rios
- Curva mestra
- Curva Intermediária



Fonte primária: IBGE  
Autor : José Henrique da S. N. de Matos

Anexo 3: Mapa geológico da *nappe* de Guaxupé. Mostra o contato pelo lineamento(ZCJ) em ENE entre as rochas orto-derivadas e para-derivadas

