UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO E TECTÔNICA
DO GRUPO SÃO ROQUE NA REGIÃO ENTRE
PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP.**

Paulo Cesar Fernandes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO
1997

ERRATA

da Dissertação de Mestrado de Paulo Cesar Fernandes da Silva: **“Ambientes de Sedimentação e Tectônica do Grupo São Roque na Região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP.”**, defendida no IG - USP em 23.06.97:

página	linha	no texto	substituir por
i	22	Sate	State
viii	09	brachóide	brechóide
viii	31	centrimétricos	centimétricos
ix	10	isópocas	isópacas
1	03	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
6	01	suscessivas	sucessivas
9	11/12	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
14	19	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
14	25	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
14	28	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
16	31	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
17	19	reêntrância	reentrância
18	12	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
27	01	acamento	acamamento
29	10	de (excluir a palavra)	-
33	17	micesparito	microesparito
34	09	testuras	texturas
35	27	não - individualização	não - individualização
38	38/39	...clorita,	...clorita, opacos, titanita, apatita, granada, zircão e muscovita.
44	01	camamento	acamamento
46	14	centrimétricos	centimétricos
46	22	que os os metadolomitos	que os metadolomitos
50	01	iregulares	irregulares
50	06	netureza	natureza
55	14	utililizando	utilizando
55	47	composionais	composicionais
60	12	comprende	compreende
61	02	notadadamente	notadamente
62	09	localidade	localidade
62	30	varioções	variações
63	18	micesparítica	microesparítica
63	29	15 mm	15 mm
64	21	...os predominam os limites erosivos,...	...onde predominam limites erosivos,...
65	13	predominatamente	predominantemente
66	06	prevalencendo	prevalecendo
67	25	...do topo para a base...	...da base para o topo...
68	30	dominanda por ondas	dominada por ondas
69	32	...na litofácies C5...	...na litofácies C4...
70	03	...da litofácies C5...	...da litofácies C4...
73	22	...condições de pressão...	...condições de esforço..
80	17	frequentemente	freqüentemente
85	19	atingir	atingir
87	03	isópocas	isópacas
87	09	ciamento	caimento
88	02	framentos	fragmentos
89	02	centrimétricos	centimétricos
89	02	filtilos	filitos
94	07	Leitas	Leites
94	15	arqueamentos	arqueamentos
112	23	...milonítica (Sm) é observa-se	...milonítica (Sm) observa-se
113	11	Serra de Itaberaba	Serra do Itaberaba
115	17	mecionado	mencionado
118	29	...sobre a associação de litofácies C - ...	...sobre a associação de litofácies D - ...

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO E TECTÔNICA
DO GRUPO SÃO ROQUE NA REGIÃO ENTRE
PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP**

PAULO CESAR FERNANDES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Claudio Riccomini

Examinadores: Prof. Dr. Armando Márcio Coimbra

Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005662

**AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO E TECTÔNICA
DO GRUPO SÃO ROQUE NA REGIÃO ENTRE
PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP.**

Paulo Cesar Fernandes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

SÃO PAULO
1997

ABSTRACT

The western part of the outcrop area of the Proterozoic São Roque Group, between the cities of Pilar do Sul and Votorantim (southeastern São Paulo State, Brazil), was mapped on a scale of 1:50.000. The study focused upon sedimentary facies and structural analysis of ductile, brittle-ductile and brittle structures, with main emphasis upon brittle structures.

Four lithofacies associations were recognized, corresponding, from base to top, to: 1) a lower siliciclastic association; 2) an intermediate siliciclastic association; 3) a transitional clastic-carbonate association; and 4) an upper impure carbonate association. These groupings are here informally correlated with previously proposed stratigraphic subdivisions of the São Roque Group in the region.

Transcurrent shear zones are the main regional structural feature and demarcate four structural domains. Ductile and brittle-ductile structures are correlated with three progressive phases of deformation. The first phase (Fn) is associated with low-angle kinematics, whereas the second (Fn+1) and third (Fn+2) are related to high-angle kinematics, representing a transition from ductile to brittle-ductile regimes in shear zones with transpressional behaviour.

Within the context of brittle deformation, data sets for fault slip and joints reveal six well-defined superposed stress fields at both local and regional scales, each corresponding to a specific time-interval of a distinct tectonic event. Following a first event of N-S compression, the five others - successively, NNW-SSE extension, NE-SW compression, NW-SE compression, WNW-ESE extension and E-W compression - are remarkably compatible with the currently accepted model for Cenozoic tectonic evolution of the eastern part of the State of São Paulo.

RESUMO

O estudo realizado em escala 1:50.000 na região entre Pilar do Sul e Votorantim, porção centro-sudeste do Estado de São Paulo, enfocando as rochas do Grupo São Roque, visou a caracterização de fácies sedimentares e a investigação de elementos estruturais, abrangendo as deformações de caráter dúctil, dúctil-rúptil e rúptil, com ênfase nesta última.

Foram caracterizadas quatro associações de litofácies, que da base para o topo correspondem a: 1. associação siliciclástica basal; 2. associação siliciclástica intermediária; 3. associação clasto-química transicional e; 4. associação carbonática impura superior. Estas associações foram informalmente correlacionadas às subdivisões estratigráficas sugeridas para o Grupo São Roque em trabalhos anteriores, a saber: Formação Estrada dos Romeiros, Formação Voturuna e Formação Pirapora.

A análise estrutural teve lugar em quatro domínios estruturais delimitados por zonas de cisalhamento transcorrente, que se configuram em importantes feições regionais na área de estudo. Três fases de deformação, de caráter progressivo, foram reconhecidas, abrangendo os regimes dúctil e dúctil-rúptil. A primeira fase (**F_n**), corresponde a uma cinemática de baixo ângulo, enquanto que, as outras duas fases de deformação (**F_{n+1}** e **F_{n+2}**), dizem respeito à uma cinemática de alto ângulo com transição do caráter dúctil para dúctil-rúptil, associada ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento e domínios transpressivos.

As feições de natureza rúptil permitiram a caracterização de seis regimes de esforços, provavelmente vinculados a lapsos de tempo diacrônicos e, portanto, correspondendo a eventos de deformação distintos. O primeiro evento refere-se a esforços compressivos orientados segundo a direção N-S. Os demais eventos sucessivamente, extensão NNW-SSE, compressão NE-SW, compressão NW-SE, extensão WNW-ESE e compressão E-W, apresentaram características compatíveis com os modelos de tectônica cenozóica sugeridos para a porção leste do Estado de São Paulo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 AGRADECIMENTOS.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 LOCALIZAÇÃO, ACESSOS E FÍSIOGRAFIA DA ÁREA.....	4
 CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	 6
2.1 COMPILAÇÃO E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	6
2.2 LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DE CAMPO.....	6
2.3 FOTOINTERPRETAÇÃO.....	7
2.4 CARACTERIZAÇÃO DE ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES SEDIMENTARES.....	7
2.5 ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	8
2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL E TECTÔNICA.....	9
 CAPÍTULO 3 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO.....	 12
 CAPÍTULO 4 LITOTIPOS OCORRENTES NA ÁREA DE ESTUDO.....	 19
4.1 METASSEDIMENTOS E LITOTIPOS NÃO ASSOCIADOS AO GRUPO SÃO ROQUE.....	19
4.1.1 Xistos e micaxistos com intercalações anfíbolíticas.....	20
4.1.2 Gnaisses félsicos com anfíbolitos.....	20
4.1.3 Metapsamitos e metapelitos associados.....	21
4.2 METASSEDIMENTOS ASSOCIADOS AO GRUPO SÃO ROQUE.....	22
4.2.1 Metarenitos quartzosos e feldspáticos subarcoseanos a arcoseanos.....	23
4.2.2 Metarritmitos.....	26
4.2.3 Metargilitos e metassiltitos.....	27
4.2.4 Filitos.....	29
4.2.5 Metadolomitos e metacalcilutitos.....	30
4.2.6 Metacalcários.....	32
4.2.7 Metamargas.....	33

4.3	ROCHAS GRANITÓIDES, CATACLASITOS E MILONITOS.....	35
4.3.1	Maciço Pilar do Sul.....	36
4.3.2	Maciço Piedade.....	36
4.3.3	Maciço São Francisco.....	36
4.3.4	Maciço Sorocaba.....	37
4.3.5	Granitóides indiferenciados.....	38
4.3.6	Blastomilonito.....	38
4.4	SEDIMENTOS ASSOCIADOS AO SUBGRUPO ITARARÉ.....	39
4.4.1	Ritmitos.....	39
4.4.2	Lamitos com seixos e siltitos.....	48
4.4.3	Arenitos diversos.....	48
4.5	LITOTIPOS DE OCORRÊNCIA RESTRITA.....	49
4.5.1	Rocha metabásica.....	49
4.5.2	Brecha alcalina.....	50
4.5.3	Hornfels.....	50
4.5.4	Material brechóide.....	51
4.6	COBERTURAS PÓS-PALEOZÓICAS.....	53
4.6.1	Solo ferruginoso.....	53
4.6.2	Aluviões atuais e pré-atuais.....	54
 CAPÍTULO 5 ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES E AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO.....		 55
5.1	ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES.....	56
5.1.1	Associação de litofácies A - siliciclástica basal.....	57
5.1.2	Associação de litofácies B - siliciclástica intermediária.....	60
5.1.3	Associação de litofácies C - clasto-química transicional.....	62
5.1.4	Associação de litofácies D - carbonática impura superior.....	65
5.2	INTERPRETAÇÕES.....	67
 CAPÍTULO 6 GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA.....		 73
6.1	TECTÔNICA DÚCTIL E DÚCTIL-RÚPTIL.....	77
6.1.1	Fase Fn.....	78
6.1.1.1	Foliações.....	78

6.1.1.2 Dobras.....	79
6.1.1.3 Lineações.....	80
6.1.1.4 Indicadores Cinemáticos.....	81
6.1.2 Fase Fn+1.....	84
6.1.2.1 Foliações.....	84
6.1.2.2 Dobras.....	85
6.1.2.3 Zonas de Cisalhamento Transcorrente.....	90
6.1.2.4 Indicadores Cinemáticos.....	92
6.1.3 Fase Fn+2.....	94
6.1.3.1 Foliações.....	98
6.1.3.2 Dobras.....	98
6.2 TECTÔNICA RÚPTIL.....	98
6.2.1 Falhas.....	99
6.2.2 Juntas.....	101
6.2.3 Regimes de esforços.....	101
6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TECTÔNICA DA ÁREA ESTUDADA.....	111
CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

ANEXOS

- ANEXO A - MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO ENTRE PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP. Inclui 5 perfis geológicos.
- ANEXO B - MAPA DE ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES E POLARIDADE ESTRATIGRÁFICA
- ANEXO C - MAPA DE ESTRUTURAS RÚPTEIS
- ANEXO D - DIAGRAMAS DE ESTRUTURAS RÚPTEIS
- ANEXO E - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE AFLORAMENTOS DESCRITOS E CAMINHAMENTOS

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

- FIGURA 1 - Localização da área de estudo.
- FIGURA 2 - Seção vertical esquemática - Relações entre as associações de litofácies
- FIGURA 3 - Mapa esquemático da área estudada mostrando a compartimentação em domínios estruturais delimitados pelas principais zonas de cisalhamento.
- FIGURA 4 - Estereogramas do acamamento sedimentar S_0 .
- FIGURA 5 - Estereogramas da foliação S_n e da lineação L_n no domínio Votorantim.
- FIGURA 6 - Estereogramas da foliação S_n e da lineação L_n no domínio Pilar do Sul.
- FIGURA 7 - Estereogramas da foliação S_{n+1} e S_m/S_n nos domínios Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará.
- FIGURA 8 - Estereogramas da foliação milonítica S_m e da lineação de estiramento L_c na área de estudo.
- FIGURA 9 - Estereogramas da foliação S_{n+2} nos domínios Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará.
- FIGURA 10 - Estereogramas de planos axiais e eixos de dobras D_n nos domínios Votorantim e Fazendinha-Jurupará.
- FIGURA 11 - Estereogramas de planos axiais e eixos de dobras D_{n+1} nos domínios Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará.
- FIGURA 12 - Estereogramas de planos axiais de dobras D_{n+2} nos domínios Pirapora e Fazendinha-Jurupará.
- FIGURA 13 - Diagramas em roseta referentes às direções de falhas observadas na área de estudo.
- FIGURA 14 - Diagramas em roseta referentes às direções de juntas observadas na área de estudo.
- FIGURA 15 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços C_1 .
- FIGURA 16 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento C_1 .
- FIGURA 17 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços E_1 .
- FIGURA 18 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento E_1 .
- FIGURA 19 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços C_2 .
- FIGURA 20 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento C_2 .
- FIGURA 21 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços C_3 .
- FIGURA 22 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento C_3 .

FIGURA 23 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços E2.

FIGURA 24 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento E2.

FIGURA 25 - Diagramas estruturais demonstrativos do regime de esforços C4.

FIGURA 26 - Mapa esquemático contendo direções de paleoesforços referentes ao evento C4.

FIGURA 27 - Evolução das dobras Dn+1 em direção às zonas de cisalhamento.

FOTOGRAFIAS

FOTO 01 - Fotomicrografia de metadolomitos/metacalcilutitos com microlaminação cruzada e microestilólitos. Local: PS183 (Mina Baltar).

FOTO 02 - Fotomicrografia de metadolomitos/metacalcilutitos com acamamento sedimentar do tipo bandado e microestilólitos afetados por dobras. Local: PS183 (Mina Baltar).

FOTO 03 - Fotomicrografia de metacalcário com veio de material carbonático afetado por dobra apertada. Local: Mina do Pastinho.

FOTO 04 - Fotomicrografia de quartzo-filito milonitizado com desenvolvimento de bandas extensionais de cisalhamento. Local: PS 190 (Santa Helena).

FOTO 05 - Fotomicrografia de metamarga com microdobra apertada sem raiz indicando movimentação sinistral. Local : PS172 (Piraporinha).

FOTO 06 - Fotomicrografia de metargilito com porfiroclasto de mineral opaco e desenvolvimento de sombra de pressão. Local: PS143 (estrada p/Itupararanga).

FOTO 07 - Fotomicrografia de metarenito com formação de faixas miloníticas. Local: PS239 (Sta Helena).

FOTO 08 - Fotomicrografia de metarenito arcoseano milonitizado apresentando porfiroclastos de plagioclásio rotacionados, franjas de material recrystalizado, e micas pisciformes. Indicações de movimento destrai. Local: PS173 (Bairro dos Leites).

FOTO 09 - Fotomicrografia de metarenito arcoseano milonitizado com *kink-band* em cristal de muscovita indicando movimento destrai. Local: PS173 (Leites).

FOTO 10 - Fotomicrografia de mica pisciforme em metarenito arcoseano milonitizado. Indicação de movimento destrai. Local: PS173 (Leites).

FOTO 11 - Fotomicrografia de metamarga bandada com feições de microcavalgamentos na interface entre os níveis. Local: PS172 (Piraporinha).

FOTO 12 - Fotomicrografia de metamarga bandada exibindo clivagem de crenulação. Local: PS172 (Piraporinha).

FOTO 13 - Fotomicrografia de metacalcário bandado com acamamento sedimentar afetado por microdobras Dn+1 e presença de estruturas de contração. Local: PS237 (Mina de Salto).

FOTO 14 - Fotomicrografia de metacalcário bandado apresentando microdobras Dn+1, e microfalha com preenchimento por carbonatos deslocando o acamamento sedimentar. Local: PS237 (Mina de Salto).

FOTO 15 - Material brechóide cortando metadolomitos em afloramento. Local: PS217 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 16 - Detalhe do material brechóide, mostrando clastos de origem variada orientados em uma matriz de constituição calcarenítica.

FOTO 17 - Fotomicrografia do material brechóide mostrando fragmentos de diferentes tipos de carbonatos (maciço, bandado, laminado) numa matriz granoblástica constituída por quartzo e carbonatos.

FOTO 18 - Fotomicrografia do material brachóide mostrando clasto de carbonato com geminação e fragmento contendo quartzo em arco poligonal.

FOTO 19 - Contato entre metarenitos quartzosos e metasiltitos exibindo acamamento ondulado a lenticular com laminações cruzadas internas. Local: PS122 (Santa Helena).

FOTO 20 - Detalhe da foto anterior. Laminações cruzadas de marcas onduladas internas ao acamamento e *foresets* indicando sentido WSWda paleocorrente.

FOTO 21 - Metarenitos quartzosos no contato com metasiltitos laminados. Presença de intraclastos basais e granodecrescência ascendente nos metarenitos. Local: PS051 (Estrada para Fazendinha).

FOTO 22 - Metassiltitos laminados com níveis de metarenito muito fino apresentando laminações cruzadas de baixo ângulo em padrão bimodal. Local: PS051 (Estrada para Fazendinha).

FOTO 23 - Idem anterior. Laminações cruzadas de baixo ângulo com convexidade voltada para cima.

FOTO 24 - Filitos laminados ardosianos apresentando marcas onduladas assimétricas sobre o acamamento sedimentar, indicando topos invertidos para NW e sentido de paleocorrente para SW. Local: PS241 (Mina da Placa).

FOTO 25 - Metacalcilutitos dolomíticos com laminações cruzadas de baixo ângulo do tipo truncadas por ondas. Local: PS224(Mina Baltar).

FOTO 26 - Metacalcarenitos dolomíticos apresentando laminação cruzada de marcas onduladas de deriva (*ripple drift cross lamination*), porção inferior do afloramento. Local: PS213 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 27 - Metacalcarenitos dolomíticos na porção intermediária do afloramento, apresentando laminações cruzadas, superfícies de reativação truncando as laminações, *mud drapes* e prováveis *tidal bundles*. Local: PS213 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 28 - Idem anterior, mostrando algumas laminações cruzadas bidirecionais na porção superior.

FOTO 29 - Metacalcarenitos dolomíticos com textura mais maciça contendo intraclastos centrimétricos de metarenito muito fino. Porção superior do afloramento. Local: PS213 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 30 - Contato entre os metadolomitos e lentes de metacalcáreo com feições onduladas e estruturas do tipo *flaser*. Local: PS184 (Mina Baltar).

FOTO 31 - Detalhe de nível de metadolomito maciço com aspecto brechóide, contendo vênulas de material carbonático perpendiculares ao acamamento. Local: PS184 (Mina Baltar).

- FOTO 32 - Aspecto geral da Mina do Baltar, vista para NE.
- FOTO 33 - Aspecto de dobra de arrasto hectométrica associada à D_{n+1} , afetando metadolomitos e metacalcários. Local: porção inferior da Mina Baltar.
- FOTO 34 - “*Drag*” da foliação S_n em filitos laminados. Feição associada ao cisalhamento transcorrente de caráter destrai. Local : PS061 (Juncal).
- FOTO 35 - Porfiroclastos alados do tipo “*in-plane*” indicando movimento destrai, Granito Piedade, próximo à Zona de Cisalhamento de Taxaquara. Local : PS129 (Leites).
- FOTO 36 - Biotita-clorita filitos bandados com dobras apertadas associadas à D_{n+1} . Local: PS234 (Mina de Salto).
- FOTO 37 - Dobras isópocas de perfil aproximadamente simétrico, também associadas à D_{n+1} , no mesmo local da foto anterior.
- FOTO 38 - Metassiltitos laminados mostrando relações entre as foliações S_n e S_{n+1} . Local: PS123 (Represa de Prainha - Sta. Helena).
- FOTO 39 - Metadolomitos exibindo plano de falha com superposição de estrias. Local: PS156 (Mina Baltar).
- FOTO 40 - Rocha metabásica com detalhe de plano estriado, associado ao regime de compressão N-S (C1). Movimento sinistral. Local : PS035 (Bairro da Ilha).
- FOTO 41 - Falhas de baixo ângulo com preenchimentos por calcita e falhas normais, associadas ao regime de extensão NNW-SSE (E1). Local: PS187 (Mina de Pastinho).
- FOTO 42 - Falhas normais exibindo deslocamentos centimétricos, associadas ao regime de extensão NNW-SSE (E1). Local: PS187 (Mina de Pastinho).
- FOTO 43 - Veios *en-echelon* nos metadolomitos. Feições associadas ao regime de compressão NE-SW (C2). Movimentação sinistral. Local: PS209 (Mina do Pastinho).
- FOTO 44 - Cristais fibrosos de calcita sobre plano estriado indicando movimentação destrai. Feições associadas ao regime de compressão NW-SE (C3). Metadolomitos. Local: PS157 (Mina Baltar).
- FOTO 45 - Par conjugado de falhas associado ao regime de compressão NW-SE (C3). Local: PS070A (Piraporinha)
- FOTO 46 - Veios *en-echelon* associados ao regime de compressão E-W (C4), indicando movimentação destrai. Rocha metabásica. Local: PS035 (Bairro da Ilha).
- FOTO 47 - Par conjugado de falhas em médio e baixo ângulo, associados à fase de compressão E-W (C4). Filitos ardiosianos. Local : PS241 (Mina de Placa).

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Apesar do considerável acervo de trabalhos, a análise das pesquisas efetuadas nas unidades metassedimentares proterozóicas do Estado de São Paulo, conhecidas como Grupos Açungui, São Roque e Serra de Itaberaba demonstra, uma significativa carência de estudos cuja abordagem principal esteja voltada para a caracterização dos ambientes deposicionais correspondentes às referidas unidades. Tal aspecto pode ser tomado como premissa básica para a investigação acerca dos regimes tectônicos envolvidos ao longo da evolução destas bacias.

Denota-se nos estudos já realizados a ênfase dada aos critérios estruturais, combinados aqueles de ordem petrológica e petroquímica, principalmente quanto às condições de metamorfismo, para a resolução de questões referentes ao empilhamento estratigráfico.

Nesse quadro, o presente trabalho visa o estudo da sedimentação e da tectônica do Grupo São Roque na região compreendida entre as localidades de Pilar do Sul e Votorantim, sudeste do Estado de São Paulo, tendo dois enfoques básicos:

- estudo de fácies sedimentares, empregando princípios e métodos interpretativos da análise de bacias, aqui adaptados a um pacote de rochas que foi submetido à deformação e metamorfismo;
- investigação dos elementos estruturais e tectônicos, com destaque para deformações de caráter dúctil-rúptil e rúptil, buscando estabelecer as relações com a sedimentação, não só da própria unidade, mas também com a implantação da sedimentação fanerozóica da Bacia do Paraná.

Como principais produtos finais são apresentados: 1) mapa geológico e perfis, escala 1:50.000; 2) mapa de associações de litofácies e polaridade estratigráfica, escala 1:50.000; 3) mapa de estruturas rúpteis, escala 1:50.000, e 4) o texto da presente Dissertação acompanhado de ilustrações e demais anexos.

Os dados obtidos e as interpretações decorrentes devem contribuir para o conhecimento da referida unidade geológica e a compreensão de aspectos evolutivos no âmbito regional. Por outro lado, procurou-se implementar métodos e técnicas de investigação geológica, de forma a tornar possível sua utilização em trabalhos aplicados ou com abordagem multidisciplinar.

1.2 AGRADECIMENTOS

- À minha esposa e companheira, Cristina Moreira Nunes, pelo apoio em todas as etapas do trabalho, incluindo digitação de textos, tabelas e tabulação dos dados estruturais;
- Ao orientador Prof. Dr. Claudio Riccomini e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, ao Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do IG-USP pela oportunidade de realização do estudo cujos resultados ora são aqui apresentados;
- Ao Instituto Geológico/SMA-SP pelo suporte financeiro e logístico, na pessoa de sua Diretora Geral M.Sc. Márcia Maria Nogueira Pressinotti. Aos colegas Manuel de Freitas Bittencourt (Seção de Subfrota), Walter Glasser de Moraes, Alda Maria Silva de Souza e Aparecida Amélia da Silva (Seção de Finanças); Neusa Salles Brito (Divisão de Administração) pelo fundamental apoio para a operacionalização do projeto;
- Ao colega PqC Geraldo Hideo Oda (Seção de Hidrogeologia) pelo fornecimento de dados geológicos de poços;
- Ao colega PqC Hélio Shimada (Seção de Recursos Minerais) pelo apoio nos trabalhos de campo, cessão de acervo fotográfico, seções delgadas e descrições petrográficas referentes a área de estudo, objeto de sua tese de doutoramento;
- À colega PqC Amélia João Fernandes (Seção de Geologia Geral) pelo apoio nos trabalhos de campo e sugestões;
- Ao colega Otávio Coaracy Gandolfo (Setor de Geoprocessamento) pelo apoio nos trabalhos de digitalização de mapas, diagramas estruturais e perfis geológicos;
- Aos colegas da Seção de Geologia Geral pelas sugestões e ao colega José Maria de Azevedo Sobrinho pela ajuda nas descrições petrográficas;
- À S/A Industrias Votorantim, através dos geólogos Roberto Tadanobu Nakamura e Marcos de Araújo Pinto pelo total apoio dado aos trabalhos de campo efetuados em áreas de propriedade da empresa;
- Ao Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto (DGG/IG-USP) pelas valiosas discussões, críticas e sugestões;
- Ao colega Paulo César Boggiani (Pós-graduação IG-USP) pelo auxílio nas descrições petrográficas de rochas carbonáticas;
- À CAPES pela concessão de bolsa de estudos;
- A todas as pessoas que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

1.3 OBJETIVOS

São considerados como objetivos centrais do trabalho, a caracterização e análise da sedimentação da Bacia São Roque e a investigação dos regimes tectônicos envolvidos ao longo de sua evolução, incluindo seu comportamento enquanto substrato cristalino para a implantação da sedimentação fanerozóica. Tais objetivos traduzem-se numa série de metas específicas focalizando diferentes aspectos da área estudada, correspondendo a atividades integradas, visando:

a) cartografar a distribuição dos tipos litológicos, identificando suas variações e relações espaciais, enfocando aspectos descritivos sobre sedimentação, elementos estruturais e tectônica e, relações com eventos magmáticos;

b) analisar os pacotes rochosos enfatizando o reconhecimento e interpretação dos episódios deposicionais e processos envolvidos e, dentro do possível, reconstituir relações estratigráficas sob o ponto de vista cronológico;

c) reconhecer os eventos deformativos, com o intuito de subsidiar reconstituições estratigráficas e a identificação de regimes tectônicos, com especial destaque para as feições rúpteis, buscando avaliar o comportamento das tensões principais atuantes, possíveis reflexos na sedimentação fanerozóica e arranjo final do arcabouço geológico;

d) investigar os efeitos da transcorrência e feições associadas, e avaliar a possível influência das manifestações granitóides, objetivando situar estes eventos num quadro cronológico de evolução da tectônica regional;

e) implementar uma forma de abordagem e investigação científica, cujos resultados sejam passíveis de utilização em trabalhos de geologia aplicada ou mesmo de cunho interdisciplinar, como estudos integrados do meio físico para fins de planejamento do uso e ocupação do solo (escalas regional e local), gerenciamento ambiental e disposição de resíduos, ou ainda, como subsídio à atividade de mineração. No caso específico da área estudada, o trabalho proposto pôde contribuir na otimização de frentes de lavra e na busca de insumos alternativos para a indústria de cimento.

1.4 LOCALIZAÇÃO, ACESSOS E FISIOGRAFIA DA ÁREA

A área estudada compreende aproximadamente 400 km² (40 x 10 km) e está localizada entre as cidades de Votorantim e Pilar do Sul, macro-região administrativa de Sorocaba, porção sudeste do Estado de São Paulo (FIGURA 1).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

As principais vias de acesso pavimentadas são: a Rodovia Raposo Tavares (SP-270), vindo da capital (São Paulo) que corta a área em sua extremidade norte à altura de Votorantim; a SP-264, partindo de Sorocaba (ao norte) até Pilar do Sul (no extremo sul), flanqueando a área de estudo no seu lado oeste; SP-79, que faz a interligação entre Votorantim e Piedade, localizada a sudeste, externamente à área estudada; a SP-250, passando ao sul da área, ligando Pilar do Sul a Piedade e Tapiraí. Além das rodovias estaduais mencionadas, são igualmente pavimentadas: a interligação entre a SP-264 e a SP-79 a noroeste da área; a rodovia J. Guimarães, que liga a SP-79 à Cidade de Salto de Pirapora, cruzando a área na sua porção central num rumo aproximadamente E-W; e as estradas municipais entre Piedade-Bairro dos Leites e SP-250 - Bairro Correias, ambas situadas externamente, à sudeste da área. Diversas vias não pavimentadas,

mas em condições de uso ao longo de todo o ano, completam satisfatoriamente a malha de acesso aos locais de estudo.

Segundo o Mapa Geomorfológico Estado de São Paulo (IPT 1981) a área encontra-se no limite entre dois grandes domínios morfológicos: Planalto Atlântico e Depressão Periférica. Especificamente no primeiro domínio, situa-se na interface entre as zonas do Planalto de Ibiúna e Serrania de São Roque; no segundo domínio, abrange a Zona do Médio Tietê. Quanto às formas locais de relevo, predominam colinas amplas e médias na porção oeste da área (Domínio da Depressão Periférica), com declividades de até 15%, amplitudes inferiores a 100 m, topos extensos e aplainados, drenagem de média a baixa densidade com padrão sub-dendrítico a sub-retangular, vales em geral abertos e planícies aluviais restritas. No Domínio de Planalto, porção leste e sudeste da área de estudo, ocorre uma zona de transição com relevo de morrotes, declividades médias a altas superiores a 15% e amplitudes locais inferiores a 100 m. Os morrotes são alongados e paralelos ou espigões de topos alongados, achatados ou arredondados, vertentes ravinadas com perfil retilíneo a convexo, drenagem de média a alta densidade em padrão paralelo a treliça. Também neste domínio, ocorre uma zona de serras com relevo de morros de topos achatados, paralelos e mar de morros (mais restrito). Os topos são extensos e as vertentes com perfis retilíneos e convexos, drenagem de média a alta densidade com padrão variável, desde sub-dendrítica, em treliça, retangular até sub-paralela, vales fechados a abertos, localmente com planícies aluviais interiores restritas.

Ainda em IPT (1981), a importância das superfícies de aplainamento na compartimentação morfológica atual é abordada, sendo reconhecidos dois tipos principais: antigas superfícies em fase de exumação e superfícies pós-cretácicas. Segundo ALMEIDA (1964) o Planalto de Ibiúna é uma unidade individualizada do Planalto Atlântico, dominada quase que inteiramente pela Superfície Japi (pós-cretácica) não deformada, todavia afetada por uma superfície de erosão mais moderna representada na alta bacia do Rio Sorocaba. O mesmo autor assinala a influência das superfícies de aplainamento de Itaguá e Japi, na elaboração do relevo da Serrania de São Roque. A superfície de Itaguá, base dos sedimentos do Grupo Tubarão, teria sido esculpida pela ação de geleiras durante o período permo-carbonífero, e encontrando-se atualmente em exumação. A Superfície do Japi, neste trecho vizinho à Bacia do Paraná, situa-se num nível menos elevado que outras regiões do Estado de São Paulo. Na região de transição entre as duas províncias morfológicas (Planalto Atlântico e Zona do Médio Tietê no domínio da Depressão Periférica), são registrados níveis de relevo que decrescem de altitude de forma gradual, no sentido do embasamento cristalino para a bacia sedimentar. MODENESI (1974) interpretou esses níveis

como paleoformas resultantes de fases sucessivas de aplainamento lateral e dissecação vertical, sob condições de epirogênese lenta e gradual, correlacionando um dos níveis à Superfície Neogênica definida por MARTONNE (1943).

A rede hidrográfica reflete a morfologia do contato entre as rochas do embasamento cristalino e os sedimentos da Bacia do Paraná. As cabeceiras situam-se em geral a leste da área, no embasamento, com maior entalhe de drenagem e padrão mais reticulado. As drenagens correm para WNW, em direção aos sedimentos da Bacia do Paraná, onde adquirem um padrão mais dendrítico e há maior acumulação de depósitos aluviais, como consequência do relevo mais regular. Os rios principais são, de sul para norte: Ribeirão do Pilar, Turvo, Ribeirão do Rodrigues, Sarapuí, Pirapora, Ipaneminha e Sorocaba.

CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COMPILAÇÃO E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Com o intuito de elaborar uma base preliminar de estudos, foi efetuado um extensivo levantamento de dados preexistentes. Inicialmente foi produzida a base cartográfica na escala proposta para o trabalho, a partir das folhas IBGE - 1:50.000: Pilar do Sul SF-23-Y-C-IV-4 (1970); Jurupará SF-23-Y-C-V-3 (1973); Salto de Pirapora SF-23-Y-C-IV-2 (1971) e Sorocaba SF-23-Y-C-V-1 (1973). Procurando atualizar esta base e durante os trabalhos de campo, foi utilizada uma base cartográfica na escala 1:10.000 - Projeto Macrometrópole IGC-SECPLAN (1978). Dados geológicos de cunho regional e mapas abrangendo também especificamente a área de estudo foram aglutinados na fase preliminar. Este levantamento bibliográfico incluiu publicações, teses e dissertações, relatórios técnicos e de pesquisa inéditos e, no caso de porções de área já levantadas pelo Instituto Geológico/SMA, o acesso às fichas e anotações de campo, acervo fotográfico e descrições petrográficas. Para a compilação do mapa-base foram utilizadas os seguintes trabalhos: STEIN (1984), GODOY (1989), CAMPOS NETO *et al.* (1990), IG/SMA (1990) e MASSOLI (1991).

2.2 LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DE CAMPO

Para o desenvolvimento do estudo foram realizados 42 dias de trabalhos de campo, sendo o principal instrumento para a coleta e análise dos dados, visando cartografar os litotipos

ocorrentes na área, a caracterização de fácies sedimentares e a análise estrutural. De um modo geral, o levantamento sistemático de campo, de acordo com o seu caráter, pode ser subdividido em três etapas: I. reconhecimento - 10 dias; II. desenvolvimento - 15 dias; III. interpretação - 17 dias, que se alternaram com períodos de integração e análise.

2.3 FOTOINTERPRETAÇÃO

Na última fase dos trabalhos de campo e na etapa de integração dos dados, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:25.000 - Secretaria da Agricultura (1972, 1973), provenientes de levantamentos executados pela Terra Foto Aerolevantamentos Ltda., cujo acervo foi transferido à Base Aerofoto Ltda. Os trabalhos de fotointerpretação tiveram como objetivos o refinamento de contatos geológicos, a delimitação dos depósitos aluviais, e o subsídio à análise estrutural, através do estudo comparativo entre fotolineamentos e dados coletados em campo.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DE ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES SEDIMENTARES

A caracterização de associações de fácies teve como base os aspectos descritivos de campo levantados em escala meso e macroscópica através de afloramentos e perfis, na medida do possível contínuos. Critérios e procedimentos comuns à análise de bacias sedimentares foram adotados, tendo como componentes mais importantes a sedimentologia, a geologia estrutural e tectônica, e a estratigrafia. Dentro desta visão, a análise de bacias toma um caráter interpretativo preditivo da composição, geometria e orientação das unidades estratigráficas. Para sua consecução, a análise lança mão de estudos e modelos de fácies sedimentares (POTTER 1959, ALLEN 1963 *apud* MIALl 1985; WALKER 1990) que procuram contemplar de forma hierárquica os diversos fatores como: tectonismo, orogenia, tipo de margem, subsidência, variação do nível do mar, clima, posição na placa litosférica etc. Os princípios e postulados apresentados por WALKER (1984), MIALl (1985, 1988), READING (1986), WALKER & JAMES (1992) foram utilizados no presente trabalho para a caracterização de associações de litofácies e interpretações.

Num primeiro estágio, foi dada ênfase à observação em afloramento de estruturas sedimentares, como principais indicadores dos ambientes e condições da deposição (COLLINSON & THOMPSON 1989, REINECK & SINGH 1980), assim como da posição de topo e base das camadas. A caracterização de litofácies individuais e de associações de litofácies,

bem como sua interpretação, tiveram como base critérios descritivos e operacionais de campo, integrados às análises petrográfica e estrutural, valendo-se dos parâmetros de análise apresentados pelos autores anteriormente citados e complementados por ALLEN (1984), GALLOWAY (1989), GINSBURG (1975), READ (1985), WALKER (1985), WILGUS *et al.* (1988) e WILSON (1975).

Numa fase posterior de análise foram utilizados dados regionais de poços (num total de 22 poços com descrições litológicas), obtidos junto ao Cadastro da Seção de Hidrogeologia (IG/SMA-SP). Estes dados foram tentativamente conjugados aos dados locais provenientes de perfis geológicos e do mapeamento de litofácies, procurando auxiliar a interpretação dos ambientes deposicionais cronocorrelatos ou não, assim como o estabelecimento de relações estratigráficas e estruturais.

A análise de paleocorrentes foi adotada no presente trabalho com algumas restrições, devido à relativa escassez de estruturas sedimentares que permitissem o desenvolvimento de tal estudo de forma plena ao longo de toda a área, assim como pelos efeitos do metamorfismo e da deformação que obliteraram as feições sedimentares e complicaram sobremaneira as relações geométrico-espaciais.

Os resultados desta etapa de análise foram sintetizados e representados no Mapa de Associações de Litofácies e Polaridade Estratigráfica (ANEXO B, em escala 1:50.000).

2.5 ANÁLISE PETROGRÁFICA

As análises petrográficas foram baseadas na descrição de 108 amostras de mão e na observação de 52 seções delgadas (36 distribuídas ao longo de toda a área, representando vários litotipos, e 16 lâminas exclusivas de rochas metacarbonáticas da mina do Pastinho - Cimento Votoran - gentilmente cedidas pelo colega Hélio Shimada) e tiveram como enfoque os seguintes aspectos:

a) caracterização dos litotipos - as análises petrográficas em seções delgadas enfatizaram os litotipos pertencentes ao Grupo São Roque (rochas siliciclásticas e carbonáticas); para tanto, foram efetuadas análises estimativas percentuais por campo visual. Análises modais não foram efetuadas, considerando que em alguns locais, as complexas relações criadas pela deformação associadas ao metamorfismo obliteraram as associações mineralógicas originais, não permitindo o uso de informações pontuais para um contexto mais abrangente. Desta forma, buscou-se uma

nomenclatura para os litotipos de natureza metassedimentar, o mais adequada e adaptada possível às condições encontradas, tendo sido empregadas às seguintes classificações: FOLK (1959, 1974), DUNHAM (1962) e COIMBRA *et al.* (1992). Para a caracterização dos litotipos pertencentes a outras unidades foram utilizadas as descrições contidas nos trabalhos anteriores, distribuídas da seguinte forma: rochas granitóides em STEIN (1984), GODOY (1989), IG/SMA (1990); metassedimentos ao sul da Zona de Cisalhamento de Taxaquara em STEIN (1984) e CAMPOS NETO *et al.* (1990), para os sedimentos do Subgrupo Itararé em IG/SMA (1990, 1995); MASSOLI (1991), rochas alcalinas em COUTINHO & COIMBRA (1983), coberturas ferruginosas em SETZER (1960). Também foram utilizadas algumas descrições anteriores referentes às rochas do Grupo São Roque para fins de comparação (BERGMANN 1988, IG/SMA 1990, FRASCÁ 1992) e para os litotipos passíveis de associação com o Grupo Serra de Itaberaba (JULIANI *et al.* 1986, JULIANI 1993).

b) Relativos à deformação - tanto nas amostras de mão quanto em seções delgadas (microtectônica), buscaram-se informações acerca dos esforços cisalhantes devidos principalmente à transcorrência que afetou a área, com maior ênfase no reconhecimento de indicadores cinemáticos, ferramenta importante para identificação da direção de transporte sofrido pelas massas rochosas e, por conseguinte, do ambiente tectônico envolvido. Da mesma forma, feições e aspectos concernentes à deformação pós-transcorrente foram contemplados (vide 2.6).

c) Relativos à sedimentologia e à deposição - da mesma maneira, tanto em amostras de mão quanto em lâmina, a análise buscou a caracterização textural dos litotipos e avaliação de comportamento composicional frente ao regime hidrodinâmico (MIALL 1985).

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL E TECTÔNICA

Dentro do escopo da análise de bacias, a geologia estrutural desempenha um papel importante não só na elucidação da história tectônica durante a evolução da bacia, mas também como subsídio a possíveis reconstituições estratigráficas. Durante o levantamento de campo, elementos planares e lineares foram medidos e analisados individualmente, seguindo critérios que buscam identificar a formação num mesmo intervalo de tempo (geração), sob dinâmica comum e num espaço geográfico com penetratividade constante. Desta maneira, os elementos estruturais

foram agrupados, analisados segundo critérios de homogeneidade, e subdivididos em domínios para cada um dos conjuntos semelhantes (HACKSPACHER, 1994).

Para as feições dúcteis e dúcteis-rúpteis, os critérios e princípios de análise utilizados no presente trabalho encontram-se amplamente discutidos em RAMSAY (1960, 1967, 1980), BELL (1981), RAMSAY & HUBER (1983, 1987), e também de forma sumariada em HASUI & COSTA (1991). Outros parâmetros aplicáveis à análise estrutural e ambientação tectônica também são incluídos por estes autores. A busca de indicadores cinemáticos que pudessem elucidar a história do transporte tectônico foi efetuada tanto através de feições microscópicas (microtectônica), quanto de feições meso/macrosópicas, seguindo critérios para determinação do sentido de movimento estabelecidos na literatura por diversos autores e sintetizados por HANMER & PASSCHIER (1991). Além de indicadores cinemáticos, outros aspectos importantes acerca da deformação e dos elementos aplicados na reconstituição da história tectônica regional contidos em HACKSPACHER *et al.* (1993) e HACKSPACHER (1994) foram utilizados no presente trabalho.

Para a análise dos elementos estruturais de natureza rúptil, os dados foram inicialmente tratados e agrupados por afloramento ou por grupo de afloramentos muito próximos ou contíguos (pedreiras e locais de lavra para exploração mineral). Os atributos utilizados para a sistematização e controle de qualidade dos dados coletados em campo foram: o tipo de estrutura (planos e estrias de falha, famílias de juntas, conjugados referentes a cada tipo), sentido de movimento (sinistral, dextral, normal e inverso), quantidade e qualidade das medidas (critério de avaliação e confiabilidade do dado obtido através de atribuição de um escore A, B ou C de acordo com as feições observadas), dimensões (mm, cm, dm, m, km), e geometria da estrutura (orientação, intensidade de mergulho, rugosidade e morfologia do plano). Critérios para interpretação da cronologia relativa entre as estruturas observadas, de feições na superfície das estruturas e determinação do sentido de movimento tiveram por base TJIA (1964, 1971), PETIT *et al.* (1983), PETIT & LAVILLE (1987), PETIT (1987), GAMOND (1987), RICCOMINI (1989), DUNNE & HANCOCK (1994) para as feições meso e macrosópicas principalmente, e HANCOCK (1985) para feições microscópicas. Os dados referentes a planos de falhas e respectivas estrias de atrito com indicação do sentido de movimento, foram tratados em gabinete com aplicação de método para determinação gráfica das direções principais de esforços, como propostos em ANGELIER & MECHLER (1977), ANGELIER (1979), ANGELIER (1984) e ANGELIER (1994). Identificados os regimes de esforços e respectivos conjuntos de estruturas através de processo gráfico, foi efetuado um estudo comparativo para identificação de estruturas

com diferentes sentidos de movimentação associadas a um mesmo campo de tensões através de avaliação qualitativa por análise geométrica e visual dos diagramas obtidos. Não foram aplicados parâmetros numéricos de quantificação de desvios-padrões, de consistência de dados, de dispersão natural de orientações e de características herdadas; os critérios utilizados em campo para controle de qualidade das medidas efetuadas foram o principal subsídio a este estudo. Os dados foram então re-analisados com aplicação de novos critérios, visando a correlação entre sistemas de juntas e regimes de esforços, o reconhecimento de sistemas conjugados e possíveis implicações com os campos de tensões identificados, revisão de cronologia relativa entre os conjuntos de estruturas e suas relações com cada um dos litotipos nos quais ocorrem. Posteriormente, os dados foram correlacionados ao longo de toda a área, com o intuito de avaliar a penetratividade de cada sistema ou conjunto, procurando efetuar a reconstituição de eventos e da distribuição de paleoesforços em escala regional.

Durante a análise estrutural, elementos referentes à tectônica e cinemática de alojamento de granitóides e suas relações com as rochas encaixantes foram baseados em HUTTON (1988, 1991), PITCHER (1982), PATERSON *et al.* (1989), WERNICK *et al.* (1993) e HACKSPACHER (1994).

Todos os dados estruturais foram tabulados em planilhas eletrônicas com auxílio do programa @MS EXCEL e posteriormente foram manipulados através de aplicativos específicos: @ROCKWARE para tratamento estatístico, plotagem e confecção de estereogramas (projeção Schmidt-Lambert, área equidimensional, hemisfério inferior) e ARTG50 (desenvolvido pelo IPT) para aplicação do método de determinação gráfica de direções de paleoesforços. Num estágio intermediário de tratamento dos dados estruturais, para apresentação e compatibilização de formatos digitais, foram utilizados os aplicativos @MS PAINTBRUSH e @SURFER (Golden Software). Além das figuras inseridas no texto da presente Dissertação, referentes às estruturas dúcteis e dúcteis-rúpteis (estereogramas contendo projeções de pólos dos planos e feições lineares) e rúpteis (diagramas em roseta, estereogramas representativos de cada regime de esforços e mapas esquemáticos contendo trajetórias de paleoesforços), o ANEXO D apresenta um extenso conjunto de diagramas organizado por pontos de afloramentos e por regime de paleoesforços, referentes às feições utilizadas para a caracterização das direções de esforços pelo método gráfico acima mencionado, grande parte acompanhada das respectivas projeções ciclográficas.

A análise estrutural associada à caracterização dos litotipos teve como produto principal o Mapa Geológico e Perfis. A significativa densidade dos dados alusivos às feições de natureza

rúptil permitiu a elaboração específica do Mapa de Estruturas Rúpteis. Os mapas são apresentados na forma de anexos (ANEXO A e ANEXO C, respectivamente) em escala 1:50.000, e foram digitalizados para apresentação em AUTOCAD v.12.

CAPÍTULO 3 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

Atendo-se apenas à evolução da designação da unidade como Grupo São Roque, pode-se remontar ao trabalho de MORAES REGO (1930), que separou as rochas epimetamórficas do Complexo Cristalino aflorantes no Estado de São Paulo com a denominação de Série São Roque, termo este utilizado por diversos autores em trabalhos posteriores (v.g. KNECHT 1943, 1944, ALMEIDA 1955, FRANCO 1958).

HENNIES *et al.* (1967) reconheceram o controle tectônico sobre as litologias, através da Falha de Taxaquara, mencionando a existência de três blocos tectônicos que foram posteriormente redefinidos por HASUI *et al.* (1969). O Bloco São Roque, onde situa-se a área estudada, encontra-se entre os Blocos Jundiá e Embú, sendo delimitado ao norte pela Zona de Cisalhamento Itu-Jundiuvira e ao sul pela Zona de Cisalhamento Taxaquara.

COUTINHO (1972) propôs a reunião das rochas de idade pré-cambriana superior numa mesma unidade, argumentando a continuidade geográfica existente entre os grupos São Roque e Açungui. Tal proposição foi reforçada por HASUI (1973) ao estudar a geologia das folhas São Roque e Pilar do Sul. Posteriormente, HASUI (1975 a, b) reviu a conclusão anterior, reconhecendo a disposição das unidades em blocos justapostos e diferentes histórias deformacionais, reconsiderando o Grupo São Roque como unidade distinta. Parte das folhas São Roque e Pilar do Sul foi mapeada por ALGARTE *et al.* (1974) na escala 1: 100.000, dentro do Projeto Sudeste do Estado de São Paulo, realizado pela CPRM, onde foram mantidas as interpretações de HASUI (1973).

HASUI *et al.* (1976) realizaram a primeira tentativa de divisão estratigráfica formal da unidade, propondo duas formações: Boturuna, inferior, de natureza psamo-pelítica e com rochas vulcânicas intercaladas na base, e Piragibu, superior, composta por filitos rítmicos e quartzitos intercalados. Destacaram que a tectônica transcorrente foi posterior ao metamorfismo regional, tendo controlado a intrusão de corpos graníticos, inclusive.

No Mapa Geológico do Estado de São Paulo (BISTRICHI *et al.* 1981) e Nota Explicativa (ALMEIDA *et al.* 1981) foi adotada a subdivisão de complexos no Grupo Açungui e a sua separação do contexto do Grupo São Roque. Dessa forma, no Grupo Açungui ter-se-ia: o Complexo Pilar, predominantemente psamo-pelítico na base, transicionando para termos carbonáticos em direção ao topo, metamorfozados em fácies xisto-verde a anfibolito, e o Complexo Embu englobando rochas gnáissico-migmatíticas. Posteriormente, com base em dados de mapeamento geológico nas folhas Piracaia e Igaratá, CAMPOS NETO *et al.* (1983) propuseram uma coluna estratigráfica para o Grupo São Roque, destacando uma porção basal composta de anfibolitos, metarritmitos com intercalações de hematita-quartzitos e rochas calciossilicáticas e, no topo da seqüência, a presença de metarritmitos, micaxistos e filitos com intercalações quartzíticas. Para o contexto geotectônico regional, CAMPOS NETO & BASEI (1983) caracterizaram uma estruturação em *nappes* ligadas a transportes de terrenos de SE para NW durante o Neoproterozóico.

CARNEIRO (1983), desenvolvendo estudos na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, reconheceu quatro unidades litoestratigráficas afetadas generalizadamente por três fases de dobramento e submetidas a metamorfismo regional, em geral, no fácies xisto-verde, atingindo o fácies anfibolito em determinados locais. Através de análise microtectônica verificou que o pico do metamorfismo ultrapassou cronologicamente o primeiro episódio deformativo (F_1). Reconhece ainda dobras pertencentes a quatro estilos estruturais diferentes, três deles com morfologia distintiva para as foliações plano-axiais. Essa história deformacional-metamórfica estaria relacionada a Orogênese Brasileira, assinalando o provável transporte para SE como responsável pelo aparecimento de dobras invertidas, aspectos estes também observados por BISTRICHI (1984) e por HACKSPACHER *et al.* (1991).

Abrangendo parte da área estudada, STEIN (1984) referiu-se aos metassedimentos situados ao sul da Falha de Taxaquara, nos arredores de Pilar do Sul, como Complexo pré-Açungui, distribuindo-os em três faixas que correspondem a filitos, xistos finos e xistos feldspatizados localmente migmatizados, e que descrevem uma macrodobra de eixo E-W. Estas faixas exibem contatos transicionais, sendo que os xistos feldspáticos com intercalações anfibolíticas situados à leste, constituiriam uma seqüência basal, enquanto os filitos contendo intercalações de metabasitos e quartzitos, a oeste, representariam a seqüência superior. Segundo este autor, a primeira fase de deformação que afetou estas rochas seria caracterizada por forte transposição, atribuída a dobramentos fechados a isoclinais recumbentes ou a evento de cisalhamento simples (*sic*). As outras duas fases subseqüentes de deformação estariam

relacionadas a processos de crenulação afetando tanto o acamamento reliquiar primário quanto as foliações precedentes. Uma quarta fase deformacional estaria representada por lineagênese associada aos processos de transcorrência e com desenvolvimento de faixas miloníticas. Quatro estágios de metamorfismo são definidos. O primeiro, regional e progressivo, variando de grau fraco a forte associado ao primeiro evento deformativo, o segundo, provavelmente também regional, de baixo a médio grau, relacionado ao segundo evento deformativo, assinalando também metamorfismo de contato associado a intrusão de rochas granitóides e metamorfismo dinâmico associado aos efeitos transcorrentes na última fase de deformação. Para este autor, na área da Folha Pilar do Sul (1:50.000), as rochas do Grupo São Roque estariam limitadas a uma pequena faixa situada a norte da Falha Taxaquara.

A oeste da área em foco, COUTINHO & COIMBRA (1983) descreveram a ocorrência de rochas de filiação alcalina próximo à Cidade de Salto de Pirapora.

A partir da segunda metade da década de 80, trabalhos de mapeamento sistemático, conduzidos pelas equipes de IGCE/UNESP-Rio Claro, IG/USP, IG-UNICAMP, Instituto Geológico/SMA e IPT, permitiram o maior detalhamento do Grupo São Roque na porção sudeste do Estado de São Paulo. Dentro do contexto regional, os trabalhos de TASSINARI *et al.* (1985) e TASSINARI (1988) proporcionaram uma série de informações geocronológicas relativas à sedimentação, vulcanismo e plutonismo no Bloco São Roque. Os anfibolitos da Serra de Itaberaba apresentam idades K/Ar de 1.52 Ga para a cristalização e metamorfismo e de 0.53 Ga para o resfriamento regional. Rochas metabásicas da região de Pirapora do Bom Jesus apresentaram idades K/Ar entre 1.65 e 1.05 Ga. Os metaconglomerados próximos ao Pico do Jaraguá forneceram idades Rb/Sr de 1.2 Ga para o metamorfismo principal em seixos, enquanto a matriz teve idades de 0.8 Ga significando o metamorfismo Brasileiro que afetou todo o Grupo São Roque.

JULIANI *et al.* (1986) propuseram o uso do termo Grupo Serra do Itaberaba para a porção basal do Grupo São Roque, caracterizada por rochas metavulcânicas básicas com quimismo toleítico de natureza oceânica. Estes autores estabeleceram uma correlação entre rochas em fácies anfibolito da localidade tipo Serra de Itaberaba e as litologias observadas em torno do Maciço São Roque, e entre este e o Granito Itaqui. O polimetamorfismo que afetou essas rochas consistiu num primeiro evento na fácies anfibolito médio com paragênese de estauroлита, cianita, sillimanita e cordierita, um segundo sob condição de pressão e temperatura mais baixas (sem formação de cianita e sillimanita de forma generalizada), e um terceiro evento que se expressou por retrometamorfismo no fácies xisto verde.

BERGMANN (1988) efetuou a caracterização estratigráfico-estrutural da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque, na região do Sinclínio de Pirapora, distinguindo três unidades, denominadas da base para o topo de: 1) Formação Estrada dos Romeiros, onde predominam siltitos e metarritmitos com intercalações de rochas metabásicas e metacarbonáticas; 2) Formação Voturuna, constituída por quartzitos e metassiltitos e, 3) Formação Pirapora, consistindo de rochas básicas toleíticas e metacalcários.

Da mesma forma, no contexto local, pode-se atribuir ao período acima citado um forte incremento nos conhecimentos sobre a área em foco. GODOY (1989) efetuou estudos em dois complexos granitóides do tipo rapakivi, denominados São Francisco e Sorocaba, ambos intrusivos nos metamorfitos do Grupo São Roque. O Granito São Francisco estaria vinculado às falhas transcorrentes de Taxaquara e de Pirapora, que determinariam parte de seus contatos. Sua disposição geral segue os eixos das estruturas sinformais e antiformais ligados a fase de dobramento D3. O Granito Sorocaba teria sua colocação controlada pela continuidade da falha transcorrente de Jundiuvira e apresentaria alojamento tardi a pós-D3. O mesmo autor reconhece ainda uma tectônica rúptil mais jovem, com direção NW-SE, caracterizada pela exposição lateral de blocos crustais de profundidades diferentes no Granito Sorocaba. CAMPOS NETO *et al.* (1990) estudando a geologia da Folha Pilar do Sul, na escala 1:25.000, reconheceram uma seqüência de metassedimentos turbidíticos a sudeste da cidade homônima e um domínio constituído por micaxistos e rocha ígneas pré-metamórficas localizado na Serra dos Lopes e adjacências, ao sul da Zona de Cisalhamento Taxaquara. Esse conjunto de rochas foi correlacionado ao Grupo Açungui.

Em IG/SMA (1990), no mapeamento geológico da Folha Salto de Pirapora (1:50.000), foram destacados aspectos sobre a sedimentação do Grupo São Roque na região. Na porção ao sul da Falha Pirapora, apontou-se uma deposição em águas profundas através de fluxos gravitacionais de massa representados por correntes de turbidez de baixa densidade (metarritmitos), às quais se intercalam processos de decantação num contexto de deposição pelágica ou hemipelágica (metargilitos). Ao norte do referido falhamento, foi suposta uma deposição em sistemas de leques submarinos em posição relativamente distal, com maior variação de litofácies. Ainda no mesmo trabalho, e a partir das premissas estabelecidas em trabalhos anteriores realizados na região, procurou-se estabelecer relações entre o metamorfismo e a deformação atuantes. Assim, o primeiro evento deformativo F1, que teria cisalhamento simples como principal mecanismo atuante, deve ter ocorrido sincronicamente à primeira fase de metamorfismo M1, caracterizada nos metassedimentos presentes na área, como de grau fraco.

Destaca-se ainda, relacionado a este evento F1, a presença de dobras fechadas a isoclinais em estrutura duplex, como indicativo de cavalgamentos regionais. O evento F2 corresponde à estruturação regional dos litotipos e está associado ao segundo episódio metamórfico M2, de grau fraco a alto e também de caráter regional. Este metamorfismo de grau fraco caracteriza-se pela presença de cloritóide nos metapelitos e, como grau médio nos xistos e gnaisses xistosos ao sul da Falha Taxaquara. A terceira fase de deformação F3 é caracterizada por crenulação zonal gerando *kink-bands* e dobras isópacas. Também em IG/SMA (1990) é estabelecida tentativamente uma coluna estratigráfica para os litotipos do Subgrupo Itararé constituída por três unidades: unidade basal, consistindo de lamitos, argilitos e ritmitos com intercalações restritas de diamictitos; unidade intermediária composta predominantemente por arenitos, e no topo, uma unidade constituída por siltitos com intercalações centimétricas de arenito fino e argilito.

Ainda em relação à geologia da área de estudo, MASSOLI (1991) ao investigar as relações entre o Subgrupo Itararé e o embasamento cristalino, reconheceu o condicionamento da paleotopografia sobre a deposição dos sedimentos fanerozóicos, apontando para a possível influência do tectonismo na formação desta superfície irregular sobre a qual implantou-se a bacia. PELLOGIA & BERGMANN (1992) efetuaram um perfil contínuo ao longo da rodovia SP-264, dentro dos limites da Folha Pilar do Sul (1:50.000), no qual estudaram os sedimentos do Subgrupo Itararé. Esses autores assinalam uma associação de fácies característica de leque costeiro (deltáico), com presença marcante de corpos de arenito com geometria sigmoidal e estruturas de deslizamentos sin-sedimentares ("*slumps*").

Dentre os trabalhos efetuados em regiões próximas à área estudada enfocando a geologia do Subgrupo Itararé, destaca-se o de STEVAUX *et al.* (1987). Neste estudo foram reconhecidas quatro associações faciológicas representativas de ambientes marinhos de águas rasas, de leque deposicional, de ambiente pró-deltáico a frente deltáica, e de planície deltáica. Destacam-se também os estudos realizados por FU-TAI *et al.* (1991) e PIRES & PETRI (1991); estes últimos autores assinalaram uma deposição por fluxos gravitacionais associados a um talude pronunciado, em contexto de águas profundas.

Retomando a abordagem regional, verifica-se que boa parte dos trabalhos existentes presumem uma evolução a partir de um quadro colisional no início do Proterozóico. Segundo HASUI (1985) e HASUI *et al.* (1989), a parte basal do Grupo Açungui incluindo a porção Ribeira e o Complexo Embu, além do Grupo Serra do Itaberaba, são destacados como porções mais antigas relacionadas a uma mesma paleobacia e afetadas por regime colisional do tipo himalaiano, considerando estas faixas de supracrustais (Açungui Superior, Complexo Pilar do Sul)

como prismas de acreção ou preenchimentos de bacias retroarco e antearco, e os granitóides como vinculados a arcos magmáticos das etapas pré- a pós-colisional. Para o Grupo São Roque e porções superiores restritas do Grupo Açungui, o referido trabalho assinala que não é possível estabelecer se faziam parte de uma extensa seqüência supracrustal ou embaciamentos independentes. Estas unidades, que atualmente ocorrem em faixas limitadas, representariam porções remanescentes de pacotes mais extensos e espessos. O quadro tectônico regional estaria relacionado a articulação de blocos crustais, com deslocamento do Bloco Vitória de leste para oeste produzindo cavalgamento deste em relação ao Bloco São Paulo em rampa oblíqua. Com este cavalgamento oblíquo de baixo ângulo, num primeiro estágio produziu-se desarticulação, imbricação e lenticularização dos corpos rochosos, em estado plástico, desenvolvendo foliação milonítica com baixos mergulhos para SSE, paralela a sutura entre os blocos, e lineação de estiramento com direção ESE. Num estágio seguinte, o transporte de leste para oeste foi sendo gradativamente impedido, induzindo o surgimento de diversas zonas de cisalhamento dúctil e dúctil-rúptil de alto ângulo com direção ENE-WSW, e criando outra lineação de estiramento.

SOARES *et al.* (1990) e WERNICK (1990) vinculam o aparecimento destas grandes zonas de cisalhamento a uma colisão oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton São Francisco. De acordo com aqueles primeiros autores, o Bloco Paraná teria se deslocado para ENE, cavalgando sobre a placa cratônica. Nesse contexto, as falhas transcorrentes seriam tardi-colisionais, compensando a reêntrância criada no cráton e gerando o Maciço de Guaxupé. NEVES & CORDANI (1991) assinalam uma colisão Brasileira/Pan-Africana do tipo A, com subducção para E, a partir do final do Proterozóico.

BATISTA (1991) e BATISTA *et al.* (1991), enfocando o Bloco São Roque estudaram aspectos litogeoquímicos e o significado tectônico das rochas metabásicas existentes na região. As interpretações destes autores ora indicam um regime compressional em limite de placa oceânica tipo arco de ilha, ora um regime extensional do tipo *rift*.

CAMPOS NETO & FIGUEIREDO (1992) propuseram a ocorrência de dois sistemas orogênicos superpostos que corresponderiam a processos de convergência sucessivos ligados à colagem de distintas microplacas. A faixa São Roque estaria associada ao sistema orogênico denominado Ribeira (cerca de 0.65 Ga), registrado na microplaca Apiaí - Guaxupé. O outro sistema considerado mais jovem (inferior a 0.6 Ga) foi denominado Rio Doce e estaria representado na microplaca Serra do Mar. DANTAS (1992) estudando a geologia e estruturas da unidade São Roque na faixa compreendida entre São Paulo e Mairiporã, elaborou um quadro evolutivo que sugere ocorrência de tafrogênese intracontinental nos primórdios do Proterozóico

Médio, com implantação de bacia do tipo *rift* assimétrico, com restrita abertura oceânica. Segundo este autor, a sedimentação poderia ter ocorrido inicialmente em sub-bacias, e posteriormente em bacias mais amplas. A possibilidade de movimentação de blocos através de grandes linhas de falha já atuantes neste período, originaria um substrato irregular para a deposição, com dificuldades para o reconhecimento de porções distais e proximais.

FRASCÁ (1992) efetuou caracterização petrográfica e geoquímica das rochas carbonáticas pré-cambrianas do Estado de São Paulo. Nesse trabalho, a autora assinala nas proximidades de Salto de Pirapora, a ocorrência de calcários associados ao Grupo São Roque com composição em torno de 85% calcita, e 15% de dolomita, quartzo, mica branca e opacos, em arranjo textural microcristalino a granoblástico.

Os trabalhos de HACKSPACHER *et al.* (1992a, b, c) e OLIVEIRA *et al.* (1992) detalharam a geologia dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque, bem como das rochas granitóides associadas, nas Folhas Cabreúva, São Roque e Pirapora, em escalas 1:50.000 e 1:25.000. Esses trabalhos assinalaram a provável idade proterozóica inferior para a sedimentação dos referidos grupos, destacando na sua evolução tectônica uma fase Dn+3 de caráter transtrativo, associada à colocação dos granitóides brasileiros, seguida de efeitos transcorrentes-transpressivos, com formação de dobras e foliações verticais em regime rúptil. À esta tectônica rúptil, atribuíram um padrão de fraturamento ortorrômbico penetrativo em toda a região.

BERGMANN (1992), em trabalhos de revisão litoestratigráfica na região do sinclinório de Pirapora, caracterizou uma seqüência constituída por três unidades representativas de diferentes condições paleoambientais. Uma unidade vulcano-sedimentar basal, uma unidade clástica turbidítica superior e uma unidade clástica alóctone caracterizada por um contato tectônico de cavalgamento sobre as unidades anteriores.

HACKSPACHER *et al.* (1993) e HACKSPACHER (1994) refinando o próprio modelo proposto anteriormente, sugerem que, há aproximadamente 1,8 Ga a crosta transamazônica consolidada teria sofrido uma distensão, dando início a deposição da seqüência vulcano-metassedimentar referente aos grupos Serra do Itaberaba e São Roque. Em seguida, teria ocorrido a evolução tectono-metamórfica durante o Ciclo Brasileiro e com o magmatismo atingindo seu máximo entre 0,8 e 0,7 Ga, a partir da fusão parcial da crosta continental inferior, associados a processos transtensivos e alojamento dos maciços granitóides Sorocaba e São Roque. O processo transpressivo - transcorrente teria ocorrido em torno de 0,6 Ga, valor este interpretado por TASSINARI *et al.* (1988) como de resfriamento. Este processo transpressivo - transcorrente passaria então a retrabalhar a crosta e estruturar os blocos Jundiá e São Roque.

Retomando a evolução dos conhecimentos sobre a área estudada, cabe destacar o trabalho “Levantamento Geológico Estrutural e Geotécnico do Maciço Rochoso da Mina de Salto, Salto de Pirapora, SP” efetuado pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - 1995), que destaca importantes aspectos descritivos e interpretativos sobre a tectônica de caráter rúptil no referido local.

CAPÍTULO 4 LITOTIPOS OCORRENTES NA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são descritos os litotipos encontrados na área de estudo, tomando por base as observações feitas em campo durante o levantamento sistemático, complementados por análises petrográficas e correlações com as descrições contidas em trabalhos anteriores. Seis grupos de litotipos são apresentados: 1. Metassedimentos e litotipos não associados ao Grupo São Roque; 2. Metassedimentos associados ao Grupo São Roque; 3. Granitóides e Milonitos; 4. Sedimentos associados ao Subgrupo Itararé; 5. Coberturas pós-paleozóicas; 6. Litotipos de ocorrência restrita. (Vide Mapa Geológico - ANEXO A).

4.1 METASSEDIMENTOS E LITOTIPOS NÃO ASSOCIADOS AO GRUPO SÃO ROQUE

As rochas aqui consideradas, compreendem duas associações de litotipos aflorantes ao sul da Zona de Cisalhamento Taxaquara, desde a Serra dos Lopes passando pela localidade de Turvinho, até as proximidades da cidade de Pilar do Sul, na porção sul e sudeste da área estudada (4.1.1 e 4.1.2, descrições a seguir) onde fazem limite com rochas granitóides pertencentes aos maciços Pilar do Sul e Piedade. Compreendem ainda, uma associação de litotipos aflorante ao norte da área de estudo, próximo à Cidade de Votorantim, cujas características composicionais associadas às feições mesoscópicas, forma de ocorrência e padrões estruturais em afloramento (vide 4.1.3), levaram à sua individualização à parte do conjunto de rochas do Grupo São Roque.

Os litotipos aflorantes ao sul, mencionados anteriormente, apresentam características distintivas que permitem sua separação do domínio de rochas metassedimentares do restante da área de estudo:

- a) assembléias minerais diferentes e grau metamórfico notadamente mais elevado, podendo atingir o fácies anfibolito (STEIN 1984, CAMPOS NETO *et al.* 1990; IG/SMA 1990);

- b) padrão estrutural completamente distinto dos litotipos situados imediatamente ao norte da Zona de Cisalhamento de Taxaquara, com mudança da vergência das foliações configurando um *trend* NW-SE, e obliteração total do acamamento sedimentar reliquiar (So).
- c) presença freqüente e generalizada de corpos de anfibolitos intercalados.

4.1.1 Xistos e micaxistos com intercalações anfibolíticas (Mxa)

Os xistos e micaxistos com intercalações anfibolíticas constituem litotipo com modesta distribuição, ocorrendo numa faixa única ao sul da área, na base da Serra dos Lopes e acompanhando o vale do Rio Turvo, ou como enclaves no Maciço Piedade no extremo sudeste da área. O contato com os gnaisses da unidade sobrejacente (4.1.2) é transicional, tendo seus limites ao sul e a leste em contato brusco com rochas granitóides, não sendo identificadas, no entanto, auréolas de metamorfismo termal. A oeste são recobertos discordantemente pelos sedimentos do Subgrupo Itararé. São rochas de granulação fina a média, constituídas principalmente por quartzo, biotita, sericita-muscovita e provavelmente clorita. Exibem uma proeminente clivagem ardosiária (xistosidade) caracterizada pelo alinhamento dos filossilicatos, que em alguns locais pode ser considerada como uma foliação de transposição. Em geral, há um forte desenvolvimento das micas, em especial a muscovita, ou ainda formação de agregados lenticulares de quartzo envolvidos por micas. Eventualmente podem ser observados níveis anfibolíticos de espessura centimétrica a decimétrica concordantes com a xistosidade. Tais características correspondem às descrições efetuadas por STEIN (1984) para as unidades litológicas compostas por xistos e anfibolitos e, por CAMPOS NETO *et al.* (1990) para as rochas que compõem o domínio Micaxistos Serra dos Lopes..

4.1.2. Gnaisses félsicos com anfibolitos (Gna)

Os gnaisses félsicos com anfibolitos constituem-se no principal litotipo formador do relevo da Serra dos Lopes, também exibindo contatos bruscos com os granitóides a leste e com os sedimentos do Subgrupo Itararé a oeste. Ao norte, as relações de contato com litotipos provavelmente associados ao Grupo São Roque e rochas miloníticas são bastante complexas e parecem ter um caráter eminentemente tectônico. São rochas com granulação média a ligeiramente grossa. Apresentam bandamento composicional onde se alternam faixas centimétricas e métricas de material de textura mais fina (biotita-clorita-muscovita) e bandas félsicas quartzo-feldspáticas, em geral pouco contínuas. Nos locais onde ocorre amplo predomínio das faixas félsicas a rocha parece ter sofrido efeitos de migmatização. Essas características são compatíveis

com as descrições contidas em STEIN (1984) para os xistos feldspatizados e localmente migmatizados, ou ainda, contidas em CAMPOS NETO *et al.* (1990) para a série de rochas granitóide-gnáissicas também incluídas no domínio Micaxistos Serra dos Lopes. Os corpos de anfibolitos ocorrem generalizadamente nesta unidade, apresentando-se lenticularizados, com espessura desde centímetros até 2 metros, sub-concordantes ao bandamento composicional. As características texturais e mineralógicas correspondem àquelas descritas pelos autores acima mencionados, predominando a grã fina a média, com hornblenda, plagioclásio e opacos (pirita, magnetita) como minerais principais.

4.1.3 Metapsamitos e metapelitos associados (Mps e Mps-x)

Essa associação de litotipos compreende uma única ocorrência relativamente contínua, ao norte da área de estudo próximo a Votorantim, apresentando formato alongado e lenticular em mapa. No entanto, cabe dizer que, o manto de intemperismo e a ocupação urbana nas adjacências da ocorrência, podem estar mascarando sua real extensão e forma. Pelas mesmas razões, não é possível estabelecer as relações de contato entre essas rochas e metarritmitos associados ao Grupo São Roque, que são aparentemente contíguos ou encaixantes. Os metapsamitos consistem de níveis decimétricos a métricos de metarenitos de coloração rosada e granulação média a grossa, contendo feldspato, minerais opacos, alguma sericita e biotita, que em afloramento se intercalam a níveis também decimétricos a métricos de uma rocha de coloração cinza-escuro, granulação fina a média, exibindo bandamento fino. Em seções delgadas apresenta porções heterogêneas com textura variando desde lepidoblástica a granoblástica, com predomínio desta última. Cerca de 60% da rocha constitui-se de agregados de forma alongada ou amendoada contendo quartzo anédrico e sericita pulvurulenta. Os 40% restantes parecem constituir uma matriz mais fina cuja mineralogia compreende: quartzo monocristalino, em pequenos grãos angulosos a subangulosos, aparentemente detrítico; quartzo recristalizado policristalino, predominantemente xenomórfico em grãos alongados ou em *ribbons* descontínuos; a muscovita está presente assim como a biotita em cristais prismáticos bem desenvolvidos, muitas vezes a biotita forma agregados com clorita e minerais opacos, por vezes exibindo intercrescimento com estes últimos; o epidoto ocorre em proporções bem mais restritas que os outros minerais. Observou-se que epidoto e clorita tendem a se concentrar e predominam nos níveis menos espessos e de coloração mais clara do bandamento. Também foi observado que a rocha apresenta uma orientação mineralógica principal dada pelo alinhamento dos agregados de quartzo-sericita e dos grãos alongados de quartzo segundo uma direção preferencial, que aparentemente é paralela

ao bandamento mesoscópico exibido pela rocha. Além desta, a rocha exhibe na matriz duas outras direções, oblíquas a esta primeira e formando um ângulo de aproximadamente 60° entre si, onde ocorrem reorientação do quartzo e das micas. Nos tipos psamíticos, foram observadas em afloramento estruturas sedimentares tais como estratificação plano-paralela e marcas onduladas.

No limite norte da ocorrência descrita acima, no ponto PS149, aflora uma rocha mais maciça, de coloração cinza-claro e com textura granular muito fina a microcristalina, podendo corresponder a um nível de metapelitos mais puros (quartzo-sericita xisto ou sericita-quartzo xisto), que no mapa geológico foi individualizado pela sigla **Mps-x**.

Os litotipos aqui incluídos nesta unidade foram individualizados dentro do conjunto de metassedimentos não-associados ao Grupo São Roque com ressalvas, considerando apenas suas características texturais e mineralógicas contrastantes em relação ao outro conjunto de rochas (metassedimentos associados ao Grupo São Roque). Tais características assemelham-se bastante às descrições feitas por JULIANI *et al.* (1986) e JULIANI (1993) para os metapsamitos e metapelitos do Grupo Serra do Itaberaba. Entretanto, cabe ressaltar que, não foram observadas em campo superfícies de discordância de qualquer natureza, ou mesmo evidências de contato brusco entre os litotipos contíguos, como mencionado no início da descrição deste litotipo. Dessa forma há que se considerar a possibilidade de que os metapsamitos e metapelitos constituam litotipo pertencente ao Grupo São Roque com características de cristalinidade e composição distintas dos demais litotipos, podendo indicar ambientes de deposição ou posições crustais diferentes.

4.2 METASSEDIMENTOS ASSOCIADOS AO GRUPO SÃO ROQUE

Os metassedimentos associados ao Grupo São Roque constituíram o objeto principal do estudo, representando os litotipos com ocorrência mais ampla em toda a área pesquisada. Estão distribuídos ao longo de duas faixas principais com direção ENE-WSW, cujos limites de natureza tectônica são bem definidos em mapa (Anexo I). A primeira faixa ocupa quase toda a metade norte da área, sendo limitada pela borda do Maciço São Francisco e Zona de Cisalhamento de Moreiras ao sul e pelo Maciço Sorocaba na extremidade norte e noroeste. A segunda faixa está situada na porção centro-sudeste da área, tendo as zonas de Cisalhamento de Taxaquara e de Pirapora como limites. Os sedimentos associados ao Subgrupo Itararé recobrem ambas as faixas a oeste em discordância angular.

Ao todo foram individualizados sete litotipos ou associações de litotipos, visto que alguns deles envolvem sensíveis variações composicionais. A constituição dos metassedimentos aqui descritos varia de terrígenos puros a carbonática e carbonática mista, de natureza química a clástico-química. O metamorfismo situa-se em condições de fácies xisto-verde baixa a média, conforme classificações de cunho regional (CAMPOS NETO *et al.* 1983, BERGMANN 1988, OLIVEIRA *et al.* 1992, HACKSPACHER 1994) e local (IG/SMA 1990) confirmadas no presente trabalho pelas observações de campo e análises petrográficas.

4.2.1. Metarenitos (Marn) quartzosos (qz) e feldspáticos-subarcoseanos a arcoseanos (fd)

Os metarenitos representam corpos em geral contínuos e com forma lenticular ou alongada, ocorrendo de maneira esparsa dentro das duas faixas principais de metassedimentos do Grupo São Roque. São litotipos que durante o levantamento de campo mostraram-se favoráveis à caracterização de fácies por preservarem um bom número de estruturas sedimentares.

A composição dos metarenitos varia entre dois extremos, desde quartzosos até termos feldspáticos-subarcoseanos e arcoseanos propriamente ditos. Os **metarenitos quartzosos** são corpos com maior expressão em mapa, em geral, com conteúdo em quartzo situando-se acima de 95% com variações locais para 80% e aumento sensível da proporção de minerais opacos, sericita e biotita (campo A1-a, eventualmente A2-a, na classificação de COIMBRA *et al.* 1992).

Ao norte da área, na localidade de Santa Helena, destaca-se um corpo lenticular de disposição NE-SW, com cerca de 5 km de extensão (eixo maior) e largura máxima de 750 m (eixo menor), intercalado aos litotipos carbonáticos (4.2.5 e 4.2.6), filitos e quartzo-filitos (4.2.4) e metargilitos/metassiltitos (4.2.3). As relações de contato com estes litotipos nos quais se intercalam são complicadas pela deformação, apresentando características transicionais e de natureza sedimentar mais ao sul da lente, que passam a contatos bruscos de natureza tectônica rumo à extremidade norte do corpo. Nestes últimos exhibe feições de acentuado cisalhamento, com o aparecimento de porções adelgadas de filitos e quartzo-filitos entre os metarenitos e as rochas metacarbonáticas.

Em seção delgada proveniente de locais menos deformados, a rocha apresenta uma textura granoblástica fina a média, formada por grãos subarredondados de quartzo com extinção ondulante, que são envolvidos (sustentados) por matriz mais fina constituída predominantemente por pequenos grãos angulosos de quartzo, subordinadamente por sericita e opacos (conteúdo inferior a 5%). A foliação é pouco pronunciada e os grãos maiores por vezes são fragmentados. Nos tipos mais deformados e recrystalizados a rocha desenvolve foliação conspícua em duas

direções dada pela orientação de cristais alongados de quartzo e sericita. Numa das direções observam-se porfiroclastos sigmoidais de quartzo com crescimento de sericita em sombras de pressão. Por vezes são observadas bandas de deformação onde há deflexão dos cristais alongados, redução de grãos e concentração de opacos. Microvenulações discordantes a subconcordantes são comuns, sempre contendo uma orientação interna de grãos poligonizados de quartzo segundo a direção principal de cisalhamento transcorrente.

Macroscopicamente a rocha apresenta-se em geral maciça, observando-se apenas orientações minerais devidas às foliações tectônicas. No entanto, estratificações plano-paralelas ocorrem em direção ao contato com os metadolomitos/metacalcilutitos na borda sudeste da lente. Ali verifica-se uma alternância de níveis centimétricos a decimétricos de metarenitos quartzosos claros, finos a muito finos, e níveis de coloração cinza claro a médio de metadolomitos maciços e metacalcilutitos finamente laminados. A espessura e a frequência dos níveis de cada um dos termos, aumenta para um ou outro, na medida em que se afasta do contato, demonstrando seu caráter transicional. Já em direção ao contato com metargilitos e metassiltitos, que são localmente sobrejacentes, além de estratificações plano-paralelas são observadas estratificações do tipo ondulada e lenticular (*"wavy e lenticular bedding"*) contendo laminações cruzadas. São estruturas importantes para a compreensão do ambiente deposicional (FOTOS 19 e 20) e serão especificamente abordadas no Capítulo 5. Três outros corpos de metarenitos quartzosos ocorrem na faixa sul de metassedimentos do Grupo São Roque. O maior deles com forma alongada, disposto também na direção NE-SW, com características granulométricas, texturais e composicionais muito similares ao anteriormente descrito, aflora entre as localidades de Juncal e Piraporão (vide Mapa Geológico, ANEXO A). Neste local, encontra-se intercalado em metarritmitos (4.2.2) em contatos transicionais, e intrudido por rochas granitóides associadas ao Maciço São Francisco (4.3.3) em contatos tectônicos, onde desenvolve pronunciada foliação milonítica dada pela recristalização das micas. Localizadamente, há evidências discretas de metamorfismo termal. Outra ocorrência semelhante, e também em contato com um corpo isolado de granitóide, situa-se próximo a Fazenda Morada Velha, a oeste da localidade de Fazendinha .

Ao sul da Cidade de Salto de Pirapora, em direção a Fazendinha (Ponto PS051), ocorre outro corpo de forma lenticular intercalado em metassiltitos e metarritmitos com estruturas sedimentares preservadas na porção basal, onde exibem contato abrupto com os metassiltitos. Nesse local, os metarenitos apresentam-se maciços a levemente estratificados com variações de granulação que vão de metarenito pelítico conglomerático fino a muito fino na base (APC, campo B2-a quartzoso ou B2-c sub-lítico, na classificação de COIMBRA *et al.* 1992) a metarenitos

quartzosos finos a médios em direção ao topo, com granodecrescência ascendente (*"finning up"*) (FOTO 21).

Em seção delgada, a rocha apresenta textura granoblástica fina constituída majoritariamente por grãos angulares de quartzo (80 a 85%), subordinadamente opacos muito finos com forma irregular, e sericita. A biotita é rara e parece ter origem detrítica, óxido de ferro aparece como material de percolação. A foliação, pouco desenvolvida, é dada pelo alongamento dos grãos de quartzo e orientação da sericita, dispostos obliquamente ao acamamento, que por sua vez é marcado pela gradação granulométrica e pela concentração de opacos no contato entre níveis com texturas distintas

Os metarenitos feldspáticos-subarcoseanos e arcoseanos compreendem corpos também em forma alongada ou lenticular, entretanto, são menos representativos em mapa. Em geral, apresentam baixo grau de seleção, com grã média a levemente grossa, podendo atingir em alguns locais termos conglomeráticos, apresentando textura predominantemente maciça a pouco estratificada. Na ocorrência situada imediatamente a sudeste de Salto de Pirapora, os metarenitos apresentam-se na forma de pequenos corpos descontínuos orientados segundo *trend* estrutural ENE-WSW. São alongados ou com forma sigmóide em mapa, fortemente afetados pelo cisalhamento transcorrente. Também são observadas, como na localidade de Piraporinha, porções de material pelítico (filitos ou metargilitos) introduzidos no pacote arenoso por tectonismo rúptil (mapa e perfil geológico P3-P3' - ANEXO A, FOTO 45). Nesse local, os metarenitos apresentam grã grossa a levemente conglomerática, de coloração rósea a esbranquiçada, de textura maciça, contendo diminutos seixos e grânulos de feldspato e quartzo orientados segundo foliações tectônicas, onde se observa também a orientação das micas (sericita-muscovita). O conteúdo de feldspato situa-se em torno de 20 a 25% podendo ser considerados como subarcoseanos na classificação de FOLK (1974) ou como metarenitos pelíticos a pelíticos conglomeráticos subarcoseanos (AC, campo B1-b ou APC, campo B2-b) na classificação de COIMBRA *et al.* (1992).

Outro corpo significativo ocorre associado aos metarritmitos (4.2.2) a sudeste da área, junto a Zona de Cisalhamento de Taxaquara, na localidade de Buenos. Trata-se de uma rocha de textura psamítica, coloração amarelo claro a esbranquiçado, e que nesse local encontra-se intensamente deformada, tendo sofrido efeitos de recristalização e recuperação que permitiriam considerá-la como um milonito. Todavia, as características da rocha sedimentar original estão ainda bem preservadas e mereceram maior ênfase para a caracterização e nomenclatura do litotipo. Em seções delgadas apresenta uma trama fortemente orientada, constituída por uma

matriz mais fina de quartzo poligonizado e alongado ou já recuperado na forma de *ribbons* finos e contínuos, subordinadamente ocorrem micas, sericita e muscovita com estruturas pisciformes (“*mica-fish*”). Esta matriz envolve porfiroclastos de diferentes tamanhos, de quartzo fracionado em sub-grãos, micropertita, e principalmente, plagioclásio em cristais subangulosos a subarredondados, por vezes fragmentados, rotacionados e com desenvolvimento de sericita em franjas de material recristalizado (FOTOS 07, 08 e 09) Estes porfiroclastos “alados” (HANMER & PASSCHIER 1991) constituem-se em importantes indicadores cinemáticos para a análise estrutural (Capítulo 6). A proporção de feldspato na rocha situa-se em torno de 50%, podendo ser classificada como metarenito arcoseano a metarenito conglomerático arcoseano (campos A1-d a B1-d) na classificação de COIMBRA *et al.* (1992) ou como metarcóseo na aceção proposta por FOLK (1974), ainda que alguns autores considerem o termo pouco apropriado.

4.2.2 Metarritmitos (Mrit)

Os metarritmitos constituem-se no litotipo associado ao Grupo São Roque mais amplamente distribuído ao longo de toda a área estudada. Forma uma extensa faixa contínua ao norte, com disposição NE-SW, desde Votorantim até as proximidades de Salto de Pirapora. Na porção centro-sul compreende amplo domínio situado entre as Zonas de Cisalhamento de Pirapora e de Taxaquara, ocorrendo de forma interdigitada com filitos (4.2.4) e metassiltitos (4.2.3). Nesta unidade são observadas intercalações lenticulares de metarenitos anteriormente descritos e a ocorrência de corpos isolados de granitóides.

O litotipo caracteriza-se pela alternância cíclica de níveis milimétricos, decimétricos e métricos de metarenitos predominantemente feldspáticos (subarcoseanos) muito finos a médios com granodecrescência ascendente e níveis de metapelitos (metassiltitos e filitos sericíticos). Afora a estratificação plano-paralela característica, as estruturas sedimentares não são muito freqüentes, sendo observadas em locais restritos, laminações de marcas onduladas cavalgantes (“*climbing ripple cross lamination*”) na interface entre níveis psamíticos e pelíticos.

A faixa da porção norte apresenta uma sensível variação textural e composicional com relação ao domínio sul, observando-se metarritmitos com maior contribuição pelítica, granulometria mais fina e menor espessura dos níveis organizados de forma cíclica.

Petrograficamente, os metarritmitos são compostos por grãos maiores de quartzo subarredondados e diminutos grãos subangulosos de plagioclásio formando uma textura granoblástica nas porções psamíticas; e por finos cristais de sericita-muscovita em meio a agregados lamelares de clorita, opacos e alguma biotita em arranjo lepidoblástico a

granolepidoblástico nos níveis mais pelíticos. Nem sempre o acamento reliquiar está preservado, em alguns afloramentos a rocha exibe apenas uma foliação com caráter de transposição, apresentando padrão anastomosado devido aos efeitos de fatiamento e lenticularização impostos pela deformação atuante.

4.2.3 Metargilitos e metassiltitos (Marg/slt)

Os metargilitos e metassiltitos têm ampla distribuição na área de estudo, predominantemente na porção norte, onde formam extensa faixa contínua com disposição NE-SW que se estende desde o sudeste da Cidade de Votorantim até o Bairro Capuavinha e nas proximidades de Salto de Pirapora. Neste sentido de caminamento os litotipos passam gradual e lateralmente de termos homogêneos pelíticos com textura maciça (metargilitos - **Marg**), para termos finamente laminados onde níveis milimétricos a centimétricos de material siltico e psamítico muito fino, intercalam-se a níveis mais espessos de metargilitos maciços. Esta variação gradual, lateral e provavelmente também vertical, prossegue até próximo a Salto de Pirapora e em ocorrência ao sul desta cidade, onde interdigitam-se com os metarritmitos (4.2.2). Nestes locais, começa a predominar o caráter laminado/bandado com aumento significativo dos níveis siltosos e areno-siltosos, atingindo o outro termo textural-granulométrico (metassiltitos - **Mslt**). Apesar da considerável variação textural, incluindo termos maciços, laminados e bandados, os litotipos incluídos nesta unidade podem ser considerados como pelitos, campos A4-a,b,c,d de COIMBRA *et al.* (1992).

A ocorrência a sudeste de Votorantim (Ponto PS143), é de uma rocha maciça, de coloração acastanhada a amarelada, com forte orientação mineral produzida por foliação tectônica. Alinhados segundo esta clivagem, destacam-se dentro da finíssima matriz, manchas sub-elipsoidais constituídas por mineral escuro com aparência ferruginosa. Em seção delgada, esta rocha apresentou uma matriz homogênea e criptocristalina formada por argilominerais, sericita e quartzo microcristalino. Nesta matriz destacam-se porfiroclastos rotacionados de mineral opaco com forma elipsoidal (possivelmente pirita originalmente cúbica), apresentando crescimento de sericita e outros minerais de finíssima textura nas sombras de pressão (FOTO 06). O óxido de ferro parece ser produto de alteração dos opacos. Além dos porfiroclastos e sombras de pressão associadas, observam-se bandas extensionais de cisalhamento ("*shear bands*") como feições resultantes da deformação e utilizadas como indicadores cinemáticos (HANMER & PASSCHIER 1991) na análise estrutural.

Em direção a Santa Helena e Capuavinha, os metargilitos e metassiltitos apresentam o acamamento sedimentar (com estratificação plano-paralela) mais preservado, favorecido pelo contraste litológico entre as finas camadas de material siltico e de material argiloso. No ponto de afloramento PS125 em Capuavinha, observou-se uma feição milimétrica a centimétrica, correspondente à laminação cruzada truncada por ondas, bastante similar à feição do tipo “*hummocky*”. Localmente as rochas parecem menos afetadas pelo cisalhamento transcorrente, evidenciando inclusive dobras e foliações plano-axiais de fases de deformação anteriores. Nos litotipos com textura laminar ou bandada observados em seção delgada, a rocha apresenta níveis mais espessos de textura lepidoblástica constituídos por sericita, quartzo estirado e opacos reorientados obliquamente ao acamamento pela foliação, que se alternam a níveis menos espessos de textura granolepidoblástica constituídos quase que exclusivamente por grãos e sub-grãos de quartzo também reorientados segundo a foliação tectônica. Há concentração de minerais opacos entre estes níveis, e dispersos nas faixas de textura mais fina podem ser observados porfiroclastos de quartzo deformado e recristalizado com formatos sigmóides e desenvolvimento de sombras de pressão e/ou franjas de material recristalizado.

Já os metassiltitos próximos à Salto de Pirapora apresentam cor de alteração cinza acastanhado escuro a arroxeado típica. O acamamento sedimentar nem sempre está preservado, evidenciando-se muito mais a foliação tectônica que, muitas vezes, tem o caráter de transposição, produzindo fatiamento e imbricação que geram um padrão anastomosado na rocha superposto ao acamamento. Segundo descrições petrográficas em IG/SMA (1990), os metassiltitos ocorrentes nessa porção da área são constituídos por quartzo e sericita, apresentando clorita e opacos em proporções bem menores. Na ocorrência do ponto PS-051, ao sul de Salto de Pirapora, os metassiltitos apresentam-se laminados, havendo um nítido aumento na proporção, na continuidade e na espessura de níveis silto-arenosos em direção aos metarenitos sobrejacentes, com os quais têm contato brusco como mencionado em 4.2.1. Nesse local, o litotipo passa de metassiltitos argilosos laminados para metassiltitos arenosos (PA, campo A3 de COIMBRA *et al.* 1992). A estratificação é marcada pela alternância milimétrica a centimétrica de níveis pelíticos de coloração escura e níveis psamíticos de cor clara, com redução de espessura dos primeiros em direção ao topo. Foram observadas laminações cruzadas de marcas onduladas de deriva e cavalgantes (“*ripple drift e climbing ripple cross lamination*”) (FOTOS 22 e 23) como discutido adiante no Capítulo 5. Nesse mesmo local, observam-se o acamamento sedimentar e uma clivagem ardósiana sub-verticalizados, que apresentam mergulhos em direções opostas.

Registram-se ainda ocorrências esparsas de metargilitos na forma de corpos alongados ou intercalações junto aos metarritmitos e filitos, como a sudeste da área próximo ao Bairro dos Leites, e na porção centro-sul, no bairro Juncal. Todas estas ocorrências apresentam-se intemperizadas, formando depósitos caolínicos explorados de forma semi-ativa para uso na indústria de corretivos de solo e cerâmica. São litotipos com granulação fina a muito fina, coloração cinza esverdeado claro a amarelo esbranquiçado que, em afloramento, apresentam-se como um material sericitico-argiloso. O acamamento sedimentar está preservado no contato com níveis centimétricos de metassiltitos e de metarenitos muito finos. Descrições de amostras do Bairro Juncal contidas em IG/SMA (1990), mostram que a rocha é constituída por agregados de forma semi-circular constituídos de quartzo e sericita, impregnados por óxido de ferro, e que se destacam e estão dispersos caoticamente numa matriz criptocristalina formada também por quartzo e sericita, e provavelmente argilominerais.

4.2.4 Filitos (Fil)

Termo usado genericamente para designar litotipo-padrão que compreende predominantemente filitos sericiticos e suas variações assinaladas em mapa como: filitos grafitosos (**Fil-g**), quartzo-filitos a filitos laminados ardiosianos (**Fil-q**) e biotita-clorita filitos bandados (**Fclx**). Os quartzo-filitos (**Fil-q**) são rochas microcristalinas de coloração cinza-escuro, finamente laminadas, que ocorrem na forma de lentes adelgaçadas ou como intercalações em diferentes litotipos tectonizados. Este aspecto evidencia-se pela sua presença nas proximidades da Zona de Cisalhamento de Moreiras, entre o Maciço São Francisco e os litotipos metacarbonáticos da Mina do Baltar. A leste da área, no Bairro Jurupará, os quartzo-filitos são muito similares aos de Santa Helena, ocorrendo junto ao contato de natureza tectônica de um corpo granitóide alongado e destacado do Maciço São Francisco. Seções delgadas provenientes destes locais mostram uma rocha formada por pequenos grãos alongados de minerais opacos (angulosos e com forma variada), que se realçam numa matriz muito fina composta por quartzo e sericita. Por vezes, são observados porfiroclastos “alados” de quartzo, com redução interna em sub-grãos, e franjas de material recrystalizado com desenvolvimento de sericita e quartzo xenomórfico. Alguns cristais de clorita são observados na matriz. A rocha apresenta-se fortemente foliada com aparecimento de bandas extensionais de cisalhamento (“*shear-bands*”) (FOTO 04), estruturas S-C e microdobras. Muitas vezes, a foliação é deflexionada por venulações, dentro das quais o quartzo encontra-se poligonizado e orientado segundo a foliação principal. Na Mina da Placa (Fábrica de Cimento Votoran, localidade de Santa Helena), entre metarenitos quartzosos (4.2.1) e

metacalcáreos (4.2.6), este litotipo apresenta um caráter fortemente laminar, com marcas onduladas preservadas sobre o acamamento sedimentar (vide Capítulo 5) sendo localmente designada como filito ardosiário.

Os filitos grafitosos (**Fil-g**) representam uma estreita faixa em contato com o Maciço São Francisco, a sul da Zona de Cisalhamento de Pirapora. Estas rochas, apresentam cor cinza prateada a marrom muito escuro. Eventualmente, os filitos grafitosos ocorrem como intercalações decimétricas a métricas, correspondendo a uma variação lateral e vertical dos filitos do litotipo padrão, visto que em campo estes passam de um tipo a outro, e que por sua vez gradam a metarritmitos.

Os biotita-clorita filitos bandados (**Fclx**) correspondem especificamente a uma faixa muito estreita aflorante na face norte-noroeste da Mina de Salto (Cimento Votoram), no Bairro Piraporinha. São rochas caracterizadas pela alternância milimétrica a sub-métrica de níveis escuros de coloração cinza-escuro esverdeado e níveis claros (branco leitoso), que definem o acamamento sedimentar. Nos contatos entre esses níveis, por vezes, é possível observar marcas onduladas (“*ripples*”) de dimensões milimétricas a centimétricas. Em seção delgada, os níveis escuros são formados por uma matriz micro a criptocristalina de biotita cloritizada e clorita amorfos, epidoto e algum quartzo fortemente estirado. Os níveis claros são formados por opacos e quartzo, ambos fortemente estirados e orientados segundo foliação de plano axial de microdobras. Estas microdobras afetam o acamamento sedimentar, e em certas porções de lâmina são completamente obliteradas, com a foliação de plano axial passando a uma clivagem de transposição. Também em escala de afloramento estes litotipos apresentam-se intensamente afetados por dobramentos de padrão variado, destacando-se a presença de dobras isópacas (FOTO 36 e 37).

Os filitos do litotipo-padrão (**Fil**) são mais freqüentes na faixa sul de metassedimentos do Grupo São Roque, onde ocorrem de maneira interdigitada e transicional com os metarritmitos, ou nas proximidades dos contatos de rochas granitóides. São rochas finamente laminadas, apresentando proeminentes orientações minerais devidas às foliações tectônicas. Descrições petrográficas contidas em STEIN (1984) e IG/SMA (1990) assinalam rochas compostas predominantemente por sericita, quartzo, clorita e opacos em menores proporções.

4.2.5 Metadolomitos e metacalcilutitos (Mdol/clt)

Os metadolomitos e metacalcilutitos são litotipos com estratificação, caracterizados pela alternância mais ou menos cíclica de níveis milimétricos a decimétricos de material com textura

microgranular de coloração cinza claro a médio, de composição predominantemente dolomítica, e níveis de coloração cinza escuro de textura microcristalina, configurando uma rocha finamente laminada a bandada (FOTOS 25 a 30). Mais restritamente ocorrem porções maciças, por vezes com aspecto brechóide, em níveis dolomíticos (FOTO 31). A unidade inclui ainda metacalcarenitos muito finos a finos, de composição predominantemente dolomítica, que correspondem ao aumento da granulometria dos níveis de coloração cinza claro. Em mapa, os litotipos desta unidade formam corpos alongados cujo contorno final pode ser considerado lenticular. As maiores ocorrências estão situadas a nordeste, na localidade de Santa Helena, em áreas intensamente mineradas pela Cimento Votoram (Mina Baltar - FOTOS 32 e 33 - e Mina do Pastinho) onde englobam os corpos de metacalcário (4.2.6) e intercalam-se a diversos litotipos em complexas relações de contato, ora transicionais de aparente origem sedimentar (com metargilitos a norte da Mina do Pastinho e com os metarenitos quartzosos na faixa da Mina do Baltar) ora em contatos bruscos provavelmente tectônicos (com quartzo-filitos a sul de Baltar e com os metarenitos quartzosos no limite sul do Pastinho). Na região de Salto de Pirapora, bairro Piraporinha, existem diversas ocorrências em áreas lavradas por diferentes empresas de mineração, dentre as quais destacam-se: **a.** Mina de Salto (Cimento Votoram), onde os metadolomitos e metacalcilutitos intercalam-se a metacalcários e a biotita-clorita filitos bandados em contatos transicionais e limitados pela Zona de Cisalhamento Moreiras na borda sudoeste do Maciço São Francisco; **b.** seguindo uma direção de caminamento, de NE para SW, acompanhando a referida zona de cisalhamento, nas lavras da Cosipa e da Minercal, onde estão em contato com metacalcários (4.2.6) e também com biotita-clorita filitos bandados (4.2.4), e na lavra desativada da Oliveira Bastos, onde passam gradativamente a metamargas (4.2.7); **c.** na Mina de Ponte Alta (Cimento Votoram), onde os metadolomitos e metacalcilutitos englobam os corpos de metacalcário e estão em contatos transicionais com metassiltitos localmente subjacentes e com metamargas bandadas localmente sobrejacentes; **d.** Pedreira Pagliato, em associação com metacalcários e metassiltitos laminados (IG/SMA 1990). Aparentemente, os termos mais psamíticos (metacalcarenitos), ainda que em proporção minoritária, são observados mais freqüentemente nas ocorrências situadas mais ao sul (Ponte Alta e Piraporinha).

Diversas estruturas sedimentares foram observadas em diferentes locais, destacando-se: laminações cruzadas de marcas onduladas de deriva (*"ripple drift cross lamination"*) (FOTOS 26, 27 e 28), granodecrescência normal ascendente, marcas onduladas e estruturas do tipo *"flaser"* (FOTO 30), *"tidal bundles"* (FOTOS 27 e 28), intraclastos (FOTO 29), possíveis estruturas de contração (FOTO 31) e centimétricas laminações cruzadas truncadas por ondas

(FOTO 25). Feições como estilólitos e microestilólitos são também observadas, mas podem ter sido originadas pela deformação tectônica (FOTOS 01 e 02).

Petrograficamente são rochas constituídas por carbonatos, algum quartzo microcristalino e opacos, e mais raramente sericita. A textura em geral é laminar ou bandada, onde o acamamento sedimentar original caracteriza-se pela alternância de faixas mais espessas de carbonato cripto a microcristalino (textura micrítica) e faixas estreitas de carbonatos onde predomina a textura granular (esparítica), com presença de quartzo microcristalino. Filmes de opacos permitem a visualização de microestilólitos que, em lâminas das minas de Baltar e do Pastinho, são deformados em dobras apertadas a inversas com plano axial em baixa obliquidade com relação ao acamamento (FOTO 02). Tanto em afloramento quanto em lâmina são cortados por diversas gerações de veios preenchidos por material carbonático (mais provavelmente calcita), possuindo diferentes tamanhos e orientações e muitas vezes apresentando-se dobrados. O termo metadolomito é aqui empregado, tendo por base não apenas os critérios para classificação como propostos por FOLK (1959) e por DUNHAM (1962), mas também levando em consideração a nomenclatura adotada pela Cimento Votorantim, apoiada em milhares de análises químicas realizadas ao longo dos anos, e cujos teores em magnésio apontam para uma composição de rochas dolomíticas. Por outro lado, os litotipos aqui descritos foram informalmente caracterizados com base nas classificações propostas pelos autores acima citados e por COIMBRA *et al.* (1992), apesar de que as observações realizadas no presente trabalho indicam uma natureza aloquímica impura para estas rochas, o que por si só dificultou a análise, além dos efeitos provocados pelo metamorfismo e a deformação. Dessa forma, os litotipos incluídos nesta unidade correspondem, em sua grande parte, a *mudstones* (lama-sustentados), com variações locais para *packstones* (grão-sustentados) onde houve maior desenvolvimento de texturas esparíticas e aumento do conteúdo de quartzo, segundo a classificação de DUNHAM (*op. cit.*). Poderiam ser considerados como micritos com pequenas gradações a dismicritos, segundo FOLK (1959), devido a sua constituição quase que total por componentes ortoquímicos. Na classificação proposta por COIMBRA *et al.* (*op. cit.*), os litotipos poderiam ser caracterizados como calcilutitos (campo F4) e calcarenitos (campo F3) contendo entre 40 a 90% de lama micrítica.

4.2.6 Metacalcários (Mcal)

Os metacalcários são rochas de coloração muito escura (preto), predominantemente maciços, e mais raramente laminados ou finamente bandados. A abordagem utilizada para classificação e nomenclatura do litotipo foi a mesma empregada no litotipo anterior (4.2.5). Suas

ocorrências estão intimamente associadas aos metadolomitos e metacalcilutitos anteriormente descritos e com os quais exibem contatos gradacionais. Pequenas exceções a esta relação podem ser feitas na Mina da Placa e flanco sul-sudeste da Mina do Pastinho (Santa Helena, Cimento Votoram) onde os metacalcários estão em contato direto com quartzo-filitos/filitos ardosianos e calco-filitos respectivamente, em ambos os casos provavelmente por razões tectônicas. Na mina da Cosipa em Piraporinha (IG/SMA 1990) e na mina de Ponte Alta, os metacalcários passam gradativamente a metacalcarenitos dolomíticos de granulação muito fina a fina.

Os tipos maciços em seção delgada são formados quase que na sua totalidade por cristais euhédricos a subédricos de carbonatos, grande parte com forma hexagonal e exibindo geminação. Ocorrem minerais opacos em diminutos grãos amorfos e quartzo microcristalino como acessórios dispersos na rocha. A conclusão de que a composição deste litotipo é predominantemente calcítica, está também apoiada em análises químicas da Cimento Votoran, em rochas coletadas nos mesmos locais. A presença de veios dobrados, preenchidos por material carbonático, é freqüente nos litotipos ocorrentes na Mina do Pastinho (FOTO 03).

Os tipos laminares e bandados (Mina de Salto, Piraporinha) caracterizam-se por faixas claras e mais espessas constituídas por carbonato microgranular e quartzo microcristalino (micesparito), que se alternam a filmes e finos níveis escuros e esverdeados contendo predominantemente opacos com diversas formas e tamanho de grãos, associados a epidoto e quartzo anédricos em menor proporção. Nos níveis escuros observam-se, por vezes, estruturas de contração, definidas por microvênulas aciculares preenchidas por material carbonático, com disposição sub-ortogonal e confinada a este nível, visíveis meso e microscópicamente (FOTOS 13 e 14). Os litotipos aqui descritos podem ser referidos como calcilutitos contendo 75 a 99% de lama micrítica (campos F4 a F5) na classificação de COIMBRA *et al.* (1992), ou *mudstones* na classificação elaborada por DUNHAM (1962).

4.2.7 Metamargas (Mmrg)

As rochas deste litotipo têm distribuição geográfica restrita à porção centro-norte da área de estudo. As principais ocorrências situam-se no Bairro Piraporinha, onde são observados pequenos corpos alongados ou lenticulares descontínuos, junto a Zona de Cisalhamento de Moreiras pela qual são afetados. Um dos corpos encontra-se em contato com granitóide do Maciço São Francisco (4.3.3) chegando a formar localmente auréola de metamorfismo termal (4.5.3). Na Mina de Ponte Alta, os níveis de metamarga são bandados, parecendo representar variações gradacionais entre as unidades de metargilitos/metassilitos e de

metadolomitos/metacalcilutitos. Outros corpos de dimensões restritas e circunscritos registram-se em pedreiras abandonadas entre as localidades de Capuavinha e Ponte Alta. Em afloramento, predominam rochas finamente laminadas de cor cinza médio a escuro, com tons esverdeados e avermelhados, com o acamamento sedimentar preservado ou exibindo forte foliação tectônica, como é caso da ocorrência na lavra desativada da Oliveira Bastos (Piraporinha).

Seções delgadas de amostras extraídas desse último local, de pedreiras da Mineral em Piraporinha e pedreira abandonada de Capuavinha, revelam uma rocha mista (terrígena impura ou aloquímica impura) de textura fina a muito fina, onde o acamamento sedimentar caracteriza-se pela alternância de níveis com cores e texturas distintas. Os níveis claros contêm predominantemente cristais angulosos a subangulosos de quartzo, que se apresentam poligonizados em faixas mais deformadas, e subordinadamente sericita e carbonatos. Os níveis avermelhados são compostos predominantemente por carbonatos e minerais opacos microgranulares; e os níveis esverdeados, contêm clorita e opacos em cristais e agregados, subordinadamente quartzo e sericita. Os níveis mais claros, predominantemente quartzosos, apresentam granodecrescência ascendente em direção à camada carbonática (*"finning up"*). As metamargas apresentam, em geral, uma conspícua foliação tectônica oblíqua ao acamamento, orientação das cloritas em pelo menos duas direções de clivagem, uma delas de crenulação (FOTO 12) e, diversas microestruturas devidas a deformação: microdobras, bandas extensionais de cisalhamento (*"shear bands"*), estruturas S-C, prováveis microduplexes (FOTO 11) e microfalhas deslocando veios. Em seções delgadas do litotipo bandado, provenientes da Mina de Ponte Alta (Cimento Votoram), observa-se o acamamento sedimentar preservado, o qual é caracterizado pela alternância de níveis claros com textura variando de lepidoblástica a granolepidoblásticas e granoblástica fina, e níveis escuros a muito escuros com textura essencialmente granoblástica média. Os níveis claros são constituídos por cristais de carbonato (80%) com bordas irregulares ou, menos freqüentemente, euhédricos hexagonais; o quartzo (até 20%) ocorre em tamanhos variáveis, mono ou policristalino, em grãos angulosos a subangulosos, eventualmente com texturas semi-poiquiliticas incluindo epidoto e/ou carbonato. Os níveis escuros apresentam mineralogias distintas, predominando aqueles constituídos por cristais euhédricos (hexagonais e ortorrômnicos) bem desenvolvidos de carbonatos (80 a 90%) exibindo geminação, por vezes deformada, e subordinadamente quartzo e minerais opacos de característica xenomórfica. Em menor proporção em lâmina, são observados níveis constituídos por clorita, sericita, quartzo e opacos finos em arranjo lepidogranoblástico, em outros os opacos formam uma matriz intersticial que chega a atingir cerca de 75%, ocorrendo também quartzo em grãos

angulosos, carbonatos e sericita microcristalinos. Em algumas seções delgadas do mesmo local, a deformação foi bem mais atuante, resultando numa textura lepidoblástica e lepidogranoblástica fina em padrão amendoado, onde se destacam micrólitos de carbonatos e sericita orientados longitudinalmente. Os micrólitos são envoltos por agregados alongados de pequenos cristais prismáticos de clorita e sericita, também orientados na banda C. A rocha apresenta ainda quartzo e minerais opacos.

4.3 ROCHAS GRANITÓIDES, CATACLASITOS E MILONITOS

Os litotipos granitóides são expressivos em mapa e acham-se distribuídos ao longo de toda a área estudada. Ao sul e a sudeste, formam extenso e contínuo domínio definido pelos Maciços Pilar do Sul e Piedade respectivamente. Na porção central e nordeste, destaca-se o Maciço São Francisco de forma alongada aproximadamente elíptica, ocorrendo ainda alguns corpos menores isolados correlacionáveis a esse maciço. Contornando a área de estudo nos seus limites norte e noroeste observam-se os litotipos referentes ao Maciço Sorocaba, que também apresenta alguns corpos menores isolados correlacionáveis. No presente estudo, o Maciço São Francisco foi o que melhor permitiu a investigação das relações magmatismo-tectônica e implicações com as encaixantes, principalmente devido a sua ocorrência circunscrita nas faixas de metassedimentos do Grupo São Roque e íntima associação com as zonas de cisalhamento.

Os milonitos foram tratados como um litotipo a parte somente naqueles locais onde o elevado grau de recristalização sofrido alterou completamente os caracteres originais da rocha. Ainda assim, meso e microscopicamente, o litotipo identificado guarda feições de granitóides como rocha original, razão pela qual são apresentados dentro de um mesmo grupo de litotipos. Tipos protomiloníticos ou com fraca milonitização, ocorrem nas bordas e nas vizinhanças das zonas de cisalhamento (Taxaquara principalmente). São xistos protomiloníticos e granito-gnaisses miloníticos, que representam estágios mais brandos da deformação sobre as rochas originais, metassedimentos e rochas granitóides respectivamente. A opção pela não-individualização em mapa de tais formas de ocorrência, teve como premissa a preservação de características das rochas originais. A mesma relação foi observada em litotipo cujas feições deformativas de natureza mecânica, observadas principalmente em seção delgada, permitiriam sua classificação como cataclasito, entretanto manteve-se a nomenclatura em mapa como granitóide indiferenciado. As designações aqui utilizadas foram apoiadas em STEIN (1984), GODOY (1989), IG/SMA (1990) e CAMPOS NETO *et al.* (1990).

4.3.1 Maciço Pilar do Sul (γ PS)

As rochas referentes ao Maciço Pilar do Sul, apresentam-se mesoscopicamente como litotipos de característica granítica, leucocráticos de cor cinza róseo, grã fina a média, textura fanerítica equigranular a levemente inequigranular, sem evidências de foliação. Ocorrem ao sul da área de estudo, próximo a cidade homônima, apresentando em campo e em mapa um caráter circunscrito intrusivo, limitado no contato norte pela Zona de Cisalhamento de Taxaquara, ao sul e a leste pelo Maciço Piedade. A oeste são recobertos por sedimentos associados ao Subgrupo Itararé e por coberturas aluviais que prejudicam a visualização de suas relações de contato com micaxistos (Mxa, 4.1.1). Segundo STEIN (1984) e CAMPOS NETO *et al.* (1990), a composição inclui feldspato potássico, quartzo, biotita e subordinadamente muscovita.

4.3.2 Maciço Piedade (γ Pi)

Os granitóides referentes a este maciço conformam os maiores relevos da área enfocada (Bairro da Serra, Pinhal da Serra, Telheiros, Douradinho e Correias), aflorando num amplo domínio situado no limite sudeste. São rochas leucocráticas, de coloração rósea a acinzentada, com textura fanerítica porfirítica predominante, possuindo matriz e megacristais orientados. Os megacristais de feldspato são idiomórficos prismáticos ou alongados, seguindo ou não a foliação da matriz, o maior diâmetro varia entre 1 e 7 cm. A quantidade de megacristais com relação a matriz pode variar, também ocorrendo na área porções onde a textura passa a inequigranular média a grossa. O contato com os micaxistos (4.1.1) e gnaisses (4.1.2) a oeste é brusco e discordante, sem evidências, no entanto, de falhamentos ou metamorfismo termal. A norte está limitado pela Zona de Cisalhamento de Taxaquara, onde passa gradativamente a tipos protomiloníticos e miloníticos. As descrições contidas em STEIN (1984) e IG/SMA (1990) dão conta de uma rocha formada por megacristais idiomórficos a subidimórficos de microclina orientados ou não segundo a foliação da matriz mais fina, constituída por quartzo em agregados alongados, plagioclásio e biotita fina (dispersa e intersticial).

4.3.3 Maciço São Francisco (γ SF)

O Maciço São Francisco constitui-se num extenso corpo alongado segundo a direção tectônica regional, que segundo GODOY & FIGUEIREDO (1991), compreende oito fácies dadas principalmente por sienogranitos e monzogranitos. No presente levantamento, o litotipo caracterizou-se como um granitóide leucocrático, em certos locais com tendência mesocrática, de colorações que vão do rosa-salmão acinzentado ao cinza escuro esverdeado. A textura

predominante é fanerítica inequigranular grossa, sendo comum também os termos porfíricos caracterizados por uma grande quantidade de megacristais de feldspato potássico imersos numa matriz relativamente escarsa. Desenvolve foliação incipiente apenas nas bordas do corpo dada pelo alongamento do quartzo e alinhamento da biotita. Assim mesmo, esta orientação ocorre de maneira restrita, somente em algumas porções do contato.

O maciço apresenta contatos bruscos com as encaixantes (metassedimentos do Grupo São Roque) definidos por zonas de cisalhamento transcorrente (Zona de Cisalhamento de Moreiras na borda norte do corpo e de Pirapora na borda sul). Segundo IG/SMA (1990) a foliação observada junto as bordas do corpo é cortada por planos de falhas rúpteis com direção N35-40W, o que também é visualizado através de fotolineamentos. Tais aspectos são confirmados neste trabalho pelas observações de campo e fotointerpretação, havendo inclusive pequenos deslocamentos nos contatos do granitóide produzidos por estruturas rúpteis, em especial, pelos sistemas com direção NW e N-S (Mina de Salto e Piraporinha na porção central, e Bairro Jurupará mais a sudeste).

Petrograficamente a rocha é composta por feldspato potássico xenomórfico e arredondado nas bordas dos cristais, feldspato esverdeado intersticial configurando textura *rapakivi*, quartzo intersticial e biotita dispersa (GODOY 1989, IG/SMA 1990). Esses trabalhos assinalam ainda a existência de metamorfismo de contato, sendo aqui observadas auréolas muito discretas, restritas e descontínuas sobre metacalcários na Mina de Salto, e sobre um corpo isolado de metamarga em lavra abandonada da Minercal, ambos nas proximidades do Bairro Piraporinha e na face norte do maciço. Uma única outra ocorrência foi registrada no Bairro Piraporão, a sudeste, no contato com metarenitos. Os litotipos resultantes do metamorfismo termal são especificamente abordados em 4.5.3.

4.3.4 Maciço Sorocaba (γ So)

O núcleo central do maciço situa-se externamente aos limites da área de estudo, ao norte e noroeste. Ocorrências desse granitóide são observadas na forma de pequenos corpos isolados e circunscritos, ou ainda, como manchas ou janelas em meio aos sedimentos associados ao Subgrupo Itararé e mais recentes. Os litotipos observados são leucocráticos, de coloração rósea, possuem textura fanerítica porfírica a inequigranular grossa, não foliada. As descrições petrográficas contidas em GODOY (1989), IG/SMA (1990) e em GODOY & FIGUEIREDO (1991) apontam composição granítica com 40% de feldspato potássico, 30% quartzo, 25% plagioclásio e 5% biotita. Em lâmina, os megacristais e grãos maiores são de microclina subidiomórfica a xenomórfica, enquanto biotita e quartzo são intersticiais.

4.3.5 Granitóides indiferenciados (γ gi)

Os litotipos aqui agrupados, correspondem a corpos isolados e circunscritos aflorando principalmente em contigüidade com o Maciço Sorocaba a norte e noroeste, e com o Maciço São Francisco na porção centro-sul. São tipos com cor, granulometrias e texturas variáveis, que localmente podem estar bastante afetados pela deformação. Mesoscopicamente correspondem às descrições dos Maciços Ilha e Lavras Velhas contidas em IG/SMA (1990), entretanto não foi possível associá-los a algum dos litotipos granitóides anteriormente descritos.

Cabe ressaltar a individualização de uma ocorrência próxima ao Bairro dos Leites, sudeste da área. Nesse local, o litotipo corresponde a uma rocha de aspecto granitóide, de coloração cinza escuro esverdeado a cinza chumbo, sem evidências de foliação, não sendo possível observar as relações de contato com os metassedimentos associados ao Grupo São Roque, nos quais está circunscrito, devido às coberturas de solo. As feições de cataclase estão presentes em seção delgada, onde se destacam grandes cristais subangulares de plagioclásio muito fragmentados e apresentando planos de geminação encurvados. Comportamento similar é observado em cristais de microclina. O quartzo ocorre na matriz em cristais de tamanho e forma variados, ou na forma de leitos descontínuos. Subordinadamente ocorrem na matriz clorita intersticial, sericitamuscovita, carbonatos microgranulares, biotita esverdeada com titanita como produto de alteração e opacos. As observações petrográficas permitem classificar a rocha como um cataclasito.

4.3.6 Blastomilonito (Eom)

Litotipo que corresponde a uma ocorrência individualizada em mapa, de dimensões restritas e disposta segundo o *trend* NW-SE, localizada na Serra dos Lopes, ao sul da Zona de Cisalhamento de Taxaquara, entre os metassedimentos tectonizados associados ao Grupo São Roque, xistos e gnaisses não associados a esse Grupo e borda oeste do Maciço Piedade, entre as localidades de Turvinho e Bom Retiro. Trata-se de rocha com aspecto gnáissico com bandamento muito fino a laminar, de coloração cinza escuro a preto, caracterizando-se por uma matriz fina foliada na qual se destacam porfiroblastos de feldspato com 2 a 3 cm no maior diâmetro, fortemente estirados segundo a foliação da matriz. Em campo observou-se que esta ocorrência corresponde à charneira de uma dobra apertada de escala local, com plano axial em alto mergulho para SW, e eixo com caimento para NW. STEIN (1984) registra a ocorrência deste litotipo, cuja descrição petrográfica indicou: porfiroblastos de microclina, plagioclásio (oligiclásio-andesina), quartzo, biotita e epidoto como minerais principais na matriz. Secundariamente ocorrem clorita,

4.4 SEDIMENTOS ASSOCIADOS AO SUBGRUPO ITARARÉ

A presença dos sedimentos do Subgrupo Itararé na área é marcada por relevos menos acentuados, com colinas amplas e suaves, exibindo topos relativamente achatados e extensos que definem vales abertos com depósitos aluviais mais desenvolvidos. Esta morfologia é observada ao longo de toda a extensão do flanco oeste da área delimitada onde estes litotipos tem distribuição ampla e contínua. Destaca-se o proeminente avanço dos sedimentos em direção a leste, na região de Salto de Pirapora, nas localidades de Ponte Alta, Piraporinha e Capuavinha.

Três litotipos principais foram individualizados, incluindo possíveis variações locais. Dessa forma, em mapa acham-se representados: ritmitos (**Rt**), lamitos com seixos e siltitos (**La/St**) e arenitos diversos (**Ar**). Na área de estudo, há um claro predomínio desses dois últimos, observando-se também que há uma tendência geral de redução da granulação em direção ao sul. As designações aqui utilizadas para os litotipos do Subgrupo Itararé correspondem às descrições contidas em trabalhos anteriores de cunho local (CAMPOS NETO *et al.* 1990, IG/SMA 1990, MASSOLI 1991, PELLOGIA & BERGMAN 1992) assim como trabalhos realizados em regiões próximas à área estudada ou de cunho regional (STEVEAUX *et al.* 1987, PIRES & PETRI 1991, FU-TAI *et al.* 1991, IG/SMA 1995).

4.4.1 Ritmitos (Rt)

Os ritmitos são litotipos referentes ao Subgrupo Itararé com distribuição mais limitada na área estudada, tendo uma ocorrência restrita às proximidades de Pilar do Sul. Caracterizam-se por intercalações de camadas desde milimétricas até decimétricas de arenitos finos laminados e de siltitos/argilitos. As cores variam de cinza claro a amarelo-acastanhado. O acamamento mergulha mais freqüentemente para S e SW a noroeste de Pilar do Sul, e preponderantemente para NE nos afloramentos situados ao norte daquela cidade. Localmente são sobrepostos por arenitos finos maciços e avermelhados que gradam superiormente a arenitos finos a médios estratificados, de coloração amarelada. Por vezes, observam-se pavimentos sub-horizontais com marcas onduladas de baixa amplitude cujas cristas alinham-se predominantemente na direção SE.

FOTO 01. Fotomicrografia de metadolomitos/metacalcilutitos com microlaminação cruzada e microestilólitos. Porção inferior com textura granoblástica e superior com textura granolepidoblástica, evidenciando caráter bandado e granodecrescência ascendente. Local: PS183 (Mina Baltar). Nicóis cruzados. X 1,6.

FOTO 02. Fotomicrografia de metadolomitos/metacalcilutitos com acamamento sedimentar do tipo bandado, evidenciado por porções de textura distinta. Microestilólitos afetados por dobras com plano axial de baixa obliquidade em relação ao acamamento. Local: PS183 (Mina Baltar). Nicóis cruzados. X 1,6.

FOTO 03. Fotomicrografia de metacalcário com veio de material carbonático afetado por dobra apertada. O plano axial é paralelo à foliação (S_{n+1}). Local: Mina do Pastinho. Nicóis cruzados. X 3,2.

FOTO 04. Fotomicrografia de quartzo-filito milonitizado com desenvolvimento de bandas extensionais de cisalhamento. Local: PS 190 (Santa Helena). Nicóis cruzados. X 1,6.

FOTO 05. Fotomicrografia de metamarga exibindo microdobra apertada sem raiz e flanco rompido, afetando o acamamento sedimentar. Indicação de movimentação sinistral (D_n). Local: PS172 (Piraporinha). Nicóis cruzados. X 3,2.

FOTO 06. Fotomicrografia de metargilito com porfiroclasto de mineral opaco e desenvolvimento de sombra de pressão. Indicação de movimento sinistral. Local: PS143 (estrada p/Itupararanga). Nicóis cruzados. X 3,2.

FOTO 07. Fotomicrografia de metarenito com formação de faixas miloníticas (banda C), onde observa-se cominuição e recristalização do quartzo e filmes de opacos. Na porção inferior direita da foto, observam-se os cristais alongados de quartzo orientados na banda S e deflexionados até penetrarem na faixa mais deformada. Local: PS239 (Santa Helena). Nicóis cruzados X 16).

FOTO 08. Fotomicrografia de metarenito arcoseano milonitizado apresentando porfiroclastos de plagioclásio rotacionados, franjas de material recristalizado, e micas pisciformes. Indicações de movimento destral. Local: PS173 (Bairro dos Leites). Nicóis cruzados X 1,6. **Obs: internegativo (elementos invertidos).**

FOTO 09. Fotomicrografia de metarenito arcoseano milonitizado com *kink-band* em cristal de muscovita indicando movimento destral. Local: PS173 (Leites). Nicóis cruzados. X 10.

FOTO 10. Fotomicrografia mostrando mica pisciforme (muscovita) em metarenito arcoseano milonitizado. Indicação de movimento destral. Local: PS173 (Leites). Nicóis cruzados. X 10.

FOTO 11. Fotomicrografia de metamarga bandada. Porção superior da foto compreende nível carbonático, porção inferior corresponde a nível clástico-pelítico contendo clorita e quartzo. Observar feições de microcavalgamentos na interface entre os níveis. Sentido do movimento é sinistral. Local: PS172 (Piraporinha). Nicóis cruzados. X 1,6. **Obs: Internegativo (elementos invertidos).**

FOTO 12. Fotomicrografia de metamarga bandada com clivagem de crenulação envolvendo recristalização de clorita e biotita. Local: PS172 (Piraporinha). Nicóis cruzados. x 10.

FOTO 13. Fotomicrografia de metacalcário bandado apresentando o acamamento sedimentar afetado por microdobras D_{n+1} . Presença de estruturas de contração nos níveis escuros, evidenciada por microvênulas preenchidas por material carbonático, perpendiculares ao acamamento e confinadas a esse nível. Local: PS237 (Mina de Salto). Nicóis cruzados X 1,6.

FOTO 14. Fotomicrografia de metacalcário bandado apresentando microdobras D_{n+1} , e microfalha com preenchimento por carbonatos deslocando o acamamento sedimentar. Movimento sinistral. Local: PS237 (Mina de Salto). Nicóis cruzados. X 1,6.

FOTO 15. Aspecto de material brechóide cortando metadolomitos em afloramento. Local: PS217 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 16. Detalhe do material brechóide da foto anterior, mostrando clastos de origem variada orientados em uma matriz de constituição calcarenítica. Local: PS217 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 17. Fotomicrografia do material brechóide mostrado nas fotos anteriores. Observar fragmentos de diferentes tipos de carbonatos (maciço, bandado, laminado) numa matriz granoblástica constituída por quartzo e carbonatos. Local: PS217 (Mina de Ponte Alta). Nicóis cruzados. X 1,6.

FOTO 18. Fotomicrografia em detalhe mostrando clasto de carbonato com geminação e, na parte inferior da foto, fragmento contendo quartzo em arco poligonal. Local: PS217 (Mina de Ponte Alta). Nicóis cruzados X 3,2.

FOTO 19. Contato entre metarenitos quartzosos e metasiltilitos, exibindo camamento ondulado a lenticular com laminações cruzadas internas. Indicação de topo para ENE. Local: PS122 (Santa Helena).

FOTO 20. Detalhe da foto anterior. Laminações cruzadas de marcas onduladas internas ao acamamento com bases tangenciais e truncamentos na parte superior. Os *foresets* indicam sentido da paleocorrente para WSW.

FOTO 21. Metarenitos quartzosos no contato com metasiltilitos laminados. Presença de intraclastos basais e granodecrescência ascendente nos metarenitos. Local: PS051 (Estrada para Fazendinha).

FOTO 22. Metassiltitos laminados com níveis de metarenito muito fino intercalados, apresentando laminações cruzadas de baixo ângulo em padrão bimodal. Local: PS051 (Estrada para Fazendinha).

FOTO 23. Mesmo local da foto anterior, mostrando laminações cruzadas de baixo ângulo com convexidade voltada para cima.

FOTO 24. Filitos laminados ardorianos apresentando marcas onduladas assimétricas sobre o acamamento sedimentar. Cristas com padrões sinuosos fora de fase em planta, indicando topos invertidos para NW e sentido de paleocorrente para SW. Local: PS241 (Mina da Placa).

FOTO 25. Metacalcilutitos dolomíticos com laminações cruzadas de baixo ângulo truncadas por ondas. Observar também laminação plano-paralela irregular e afetada por falhas de rejeito milimétrico. Local: PS224 (Mina Baltar).

FOTO 26. Metacalcarenitos dolomíticos apresentando laminação cruzada de marcas onduladas de deriva (*ripple drift cross lamination*). A foto corresponde à porção inferior do afloramento, observar que os mergulhos dos *foresets* são quase paralelos ao acamamento. Indicações de topo para WNW e paleocorrente para SSW. Local: PS213 (Mina de Ponte Alta).

FOTO 27. Metacalcarenitos dolomíticos no mesmo local da foto anterior. Porção intermediária do afloramento, mostrando laminações cruzadas com mergulhos maiores dos *foresets*, superfícies de reativação truncando as laminações, *mud drapes* e, possivelmente, *tidal bundles*.

FOTO 28. Metacalcarenitos dolomíticos no mesmo local da foto anterior, mostrando algumas laminações cruzadas bidirecionais na porção superior.

FOTO 29. Metacalcarenitos dolomíticos no mesmo local da foto anterior, com textura mais maciça contendo intraclastos centrimétricos de metarenito muito fino. Porção superior do afloramento.

FOTO 30. Contato entre os metadolomitos e lentes de metacalcáreo com feições onduladas e estruturas do tipo *flaser*. Local: PS184 (Mina Baltar).

FOTO 31. Detalhe de nível de metadolomito maciço com aspecto brechóide, contendo vênulas de material carbonático perpendiculares ao acamamento (prováveis estruturas de contração). Local: PS184 (Mina Baltar)..

FOTO 32. Aspecto geral da Mina do Baltar, vista para NE. As porções mais escuras compreendem os metacalcáreos, enquanto que os metadolomitos correspondem às porções mais claras. No lado direito da foto, observam-se dobramentos suaves atribuídos à Dn+2.

FOTO 33. Aspecto de dobra de arrasto hectométrica associada à Dn+1, afetando o acamamento reliquiar So e a foliação Sn. As ondulações observadas no flanco superior da dobra são atribuídas à Dn+2. Metadolomitos e metacalcários. Local: porção inferior da Mina Baltar.

FOTO 34. "Drag" da foliação Sn em filitos laminados. Feição associada ao cisalhamento transcorrente de caráter destrai. Local : PS061 (Juncal).

FOTO 35. Porfiroclastos alados do tipo "in-plane" indicando movimento destrai, Granito Piedade, próximo à Zona de Cisalhamento de Taxaquara. Local : PS129 (Leites).

4.4.2 Lamitos com seixos e siltitos (La/St)

Os litotipos aqui descritos são mais representativos na porção centro-noroeste da área, especialmente nas vizinhanças de Salto de Pirapora onde avançam na direção leste sobre o embasamento cristalino, formando extensas “manchas” sobre os litotipos do Grupo São Roque. Estas “manchas” se estendem desde a localidade de Capuavinha, passando por Ponte Alta e Piraporinha, passando a ter distribuição mais contínua em direção ao sul onde ocupam cotas mais altas que as ocorrências ao norte. Também nesta direção começam a perder expressão em área para os arenitos. Os lamitos caracterizam-se como uma rocha maciça de coloração cinza médio a castanho avermelhado, dependendo do grau de intemperismo, contendo grânulos e seixos esparsos de dimensões variadas, e mais raramente blocos. Os seixos são freqüentemente arredondados e têm natureza variada, predominando os de quartzitos/metarenitos/arenitos silicificados com coloração vermelho-arroxeadas, subordinadamente observam-se seixos subangulares de granito e milonito (apenas a leste de Salto de Pirapora).

Aparentemente relacionando-se com baixos topográficos, os lamitos passam gradualmente para siltitos laminados (estratificação plano-paralela) a maciços, com colorações amareladas, e com drástica redução na quantidade e no tamanho dos seixos, que nestes locais passam a ter diâmetros inferiores a 5 mm. Destacam-se suas ocorrências em Piraporinha, nos entornos da Mina de Salto e Ponte Alta; e entre as localidades de Barros e Bom Retiro mais ao sul.

4.4.3 Arenitos diversos

As descrições dos arenitos englobam diversos termos texturais e composicionais, desde arenitos finos laminados, arenitos finos a muito finos maciços ou estratificados, arenitos lamíticos ou lamitos arenosos com seixos e blocos polimíticos, e predominantemente arenitos finos a médios feldspáticos a subarcoseanos. São litotipos associados ao Subgrupo Itararé com maior distribuição, estendendo-se por todo o flanco oeste da área de estudo. De um modo geral, os termos mais grossos predominam mais ao norte, desde as imediações de Sorocaba até o Bairro da Ilha ao sul de Salto de Pirapora. Neste trecho predominam os arenitos feldspáticos médios a grossos, e localizadamente observam-se depósitos extremamente mal selecionados exibindo estruturas de natureza gravitacional podendo ser chamados de depósitos de fluxo de detritos (*debris-flow*). Estes litotipos possuem granulometria variada (arenitos lamosos), sem estratificação, contendo grande quantidade e variedade de seixos arredondados a subangulares até blocos (de granitos variados, filitos, metacarbonatos, metarenitos) sem qualquer orientação. Dentro dos arenitos lamosos ocorrem corpos ou lentes métricas de siltitos/arenitos finos com

laminações e estruturas indicativas de processos gravitacionais (dobras e laminações convolutas com seixos rotacionados, feições de deslizamento - “*slump*” - e fluidificações).

Os arenitos finos a médios formam espessos pacotes, ocorrendo belas exposições deste litotipo em cortes da rodovia SP-264. São tipos feldspáticos, bem selecionados, com grãos arredondados, normalmente exibindo cores alternadas (avermelhados e creme esbranquiçado), estratificações plano-paralelas. Ocasionalmente observa-se estratificação cruzada tabular de pequeno porte, e laminação ondulada cavalgante (“*climbing*”) em camadas centimétricas de arenito fino. Em seção delgada estes arenitos apresentaram a seguinte constituição: quartzo (80 a 90%) em grãos angulosos a subangulosos; fragmentos de feldspato pertítico e plagioclásio (5 a 10%), por vezes sericitizado; minerais opacos na forma intersticial (inferior a 5%), e sericita-muscovita como acessório. Os arenitos finos a muito finos localizam-se bem ao sul da área, aparentemente representando o topo dos ritmitos e subjacentes a níveis de siltito e lamito com seixos; são tipos mais quartzosos, bem selecionados, com grãos arredondados, coloração amarelo esbranquiçado, maciço ou finamente estratificado.

4.5 LITOTIPOS DE OCORRÊNCIA RESTRITA

Este grupo representa os tipos de rocha de ocorrência pontual ou cuja representação em mapa não foi possível individualizar. Incluem uma única ocorrência de rocha metabásica e outra de natureza alcalina, isoladas dentro dos sedimentos associados ao Subgrupo Itararé. Além destas foram ainda incluídos neste grupo, as ocorrências de hornfels como produto de metamorfismo de contato sobre rochas preexistentes, e materiais brechóides cuja natureza foi atribuída principalmente a processos tectônicos.

4.5.1 Rocha metabásica (m β)

Registra-se uma única ocorrência deste litotipo, localizada no Bairro da Ilha, na forma de um corpo de dimensões decamétricas, circunscrito nos arenitos do Subgrupo Itararé. Trata-se de rocha de característica ígnea, melanocrática de cor preta a cinza escuro esverdeado, com textura equigranular muita fina a subafanítica, na qual se destacam apenas cristais idiomórficos bem desenvolvidos de pirlita. A rocha exibe uma foliação muito tênue, apresentando-se cortada por diversos veios de calcita de diferentes portes e fortemente afetada por tectonismo rúptil (FOTOS 40 e 46). Em seção delgada compreende anfibólio verde (cloritizado, de 10% a 15%) em agregados xenomórficos, plagioclásio (inferior a 10%), epidoto (35 a 45%), quartzo (25 a 30%),

opacos (5 a 10%) em pequenos grãos irregulares ou maiores com textura semi-poiquilitica, carbonatos e titanita como mineral acessório. Em IG/SMA (1990) esta rocha foi petrograficamente classificada como um epidosito.

4.5.2 Brecha alcalina ($K\alpha$)

A ocorrência de rocha de natureza alcalina corresponde a um corpo de forma aproximadamente elíptica, de dimensões decamétricas, aflorando entre arenitos do Subgrupo Itararé, imediatamente ao sul da Cidade de Salto de Pirapora. Em afloramento, aparenta aspecto conglomerático a brechóide, com uma matriz silto-arenosa fina a média de coloração cinza-azulado, sem qualquer orientação sustentando seixos, clastos e fragmentos diversos. Segundo COUTINHO & COIMBRA (1983), a rocha corresponderia a um possível diatrema, constituindo-se de 10 a 30% de uma matriz intersticial correspondendo a vulcanitos olivínicos, 20 a 40% de fração areia média contendo grãos de quartzo monocrystalino e feldspato, 20 a 40% de megacristais de olivina e fragmentos líticos de vulcânicas básicas a ultrabásicas.

4.5.3 Hornfels (h)

Trata-se de litotipo não individualizado em mapa, mas representado através de simbologia sobreposta aos litotipos onde ocorrem. As faixas aflorantes de hornfels possuem continuidade muito limitada, não excedendo uma a duas centenas de metros, com espessura máxima girando em torno de 10 a 30 metros. Os trechos mais significativos estão situados na borda noroeste do Maciço São Francisco, junto a Zona de Cisalhamento de Moreiras, no contato com metacalcários na Mina de Salto (Cimento Votoran) e com metamargas no Bairro Piraporinha (lavra abandonada da Mineral). Uma única outra ocorrência pontual é registrada no Bairro Piraporão a sudeste, no contato entre o corpo granitóide destacado do Maciço citado e metarenitos (4.2.1).

A principal característica observada em afloramento é de natureza textural, com desenvolvimento de um aspecto microcristalino, tendendo a vítreo e fosco, com perda das características texturais originais da rocha. Na análise petrográfica, foi observado que as assembléias mineralógicas associadas ao metamorfismo termal sobre metamargas reúnem: a) carbonatos com textura granoblástica; b) opacos disseminados com epidoto associado; c) granada (provavelmente grossulária) bem cristalizada em anéis ou menos cristalizada em regiões preferenciais tais como fendas; d) diopsídio em cristais subidiomórficos; e) serpentina ocupando fraturas; e f) plagioclásio subangular com bordas de reação (provável origem no granitóide). Sobre os metacalcários bandados da Mina de Salto, a mineralogia resultante inclui: bandas claras

de carbonato com textura granoblástica, quartzo microcristalino e em grãos xenomórficos, opacos finos e wollastonita junto às bandas escuras; estas por sua vez, contêm cristais euhédricos de opacos (predominantemente cúbicos, podendo corresponder a pirita), granada mal cristalizada em diminutos agregados, algum quartzo, epidoto e provavelmente diopsídio. Em algumas microfraturamentos foram observados pequenos cristais xenomórficos de fluorita.

4.5.4 Material brechóide

Os materiais de característica brechóide correspondem a tipo especial de ocorrência, representada em mapa apenas através de uma simbologia, sem individualização através de um código ou nomenclatura específica como acontece com os demais litotipos. São rochas cuja constituição, feições texturais, e forma de ocorrência, geralmente discordante e de contatos abruptos, levam a considerar uma origem de natureza tectônica preponderantemente rúptil. Tal aspecto faz com que uma das principais características destes litotipos seja a sua composição por fragmentos de rochas, sustentados em maior ou menor proporção por uma matriz produzida pela cominuição e percolação de fluidos, em arranjo geralmente caótico.

As principais ocorrências representadas em mapa estão localizadas: a) em metacalcários na Mina do Pastinho (bairro Santa Helena, a nordeste) onde fragmentos da rocha original são envolvidos por calcita bem desenvolvida e rotacionados dentro da massa encaixante (FOTO 41); b) na Mina de Ponte Alta, afetando metadolomitos/metacalcilutitos e metamargas, onde são observados mais de um tipo de brechação, num deles os fragmentos parecem ter sido deformados e estão alinhados segundo a orientação da matriz calcarenítica; c) na Mina de Salto (Piraporinha) no contato entre granitóide e metacalcários, registrando-se nestas a ocorrência de fluorita; d) também próximo à Mina de Salto, envolvendo o granitóide em associação com a ocorrência de paleossolos (vide 4.6.1); e) no bairro Jurupará, a sudeste da área, envolvendo o contato entre o granitóide milonitizado e filitos/metarritmitos do Grupo São Roque.

De todas as ocorrências, merece destaque aquela situada na localidade de Ponte Alta, cujas características diferem dos outros materiais brechóides originados por tectonismo rúptil. Trata-se de um corpo cuja porção aflorante possui dimensões métricas a decamétricas, com forma aproximadamente tabular, encaixado discordantemente nos metadolomitos/metacalcilutitos e metamargas, apresentando uma feição intrusiva (FOTO 15). Mesoscopicamente a rocha compreende uma matriz de textura psamítica de coloração avermelhada, muito efervescente ao reagir com HCl, e na qual se destacam um grande número de clastos de dimensões que variam de alguns milimétricos até 10 cm de comprimento. Os clastos são de litologias variadas,

apresentando-se orientados, juntamente com a matriz, segundo direção preferencial aproximadamente paralela aos limites de contato do corpo (FOTO16). Há um nítido contraste litológico no contato com as encaixantes, sem haver entretanto, evidências de tectonismo acentuado com deformação mecânica ou alteração significativa do comportamento reológico dos materiais envolvidos. As proporções entre clastos e matriz variam bastante ao longo do corpo. Em média, os clastos representam entre 20 e 40% do total da rocha, podendo, no entanto atingir mais de 70% em algumas porções restritas.

Em seção delgada observa-se uma matriz granoblástica média a pouco grossa composta por quartzo subanguloso a subarredondado, em geral, policristalino, carbonatos em grãos subédricos a euhédricos (esparito) e minerais opacos disseminados. Os clastos (fragmentos líticos) compreendem: a) carbonatos laminados a bandados com grande conteúdo de opacos orientados em filmes; b) carbonato microgranular maciço; c) megacristais de carbonato incolor exibindo geminação; d) agregados de grãos irregulares de quartzo com extinção ondulante ou em subgrãos formando arcos poligonais; e) megacristais de quartzo com formas de contorno tabulares; f) megacristais de mineral opaco euhédrico ortorrômbico; g. metamarga bandada contendo porfiroclastos/blastos de carbonato e microdobras apertadas; h) metassiltitos contendo quartzo e sericita orientados segundo duas foliações distintas (FOTOS 17 e 18).

As características da rocha e de sua forma de ocorrência, limitada aos metassedimentos associados ao Grupo São Roque, levam a crer que este litotipo tenha uma origem um pouco distinta dos outros materiais brechóides. Em IG/SMA (1990) sugere-se que este material constitui brecha de dissolução relacionada a feições cársticas, associando-se a processos de limonitização, responsáveis pela cor avermelhada presente na matriz da rocha. Esses processos teriam ocorrido posteriormente à deformação e metamorfismo que afetou os metacalcários. Cabe acrescentar entretanto, que as características de reorganização mineral observadas neste material indicam que sua geração deu-se num período que precede, pelo menos, o tectonismo rúptil que originou outros materiais brechóides encontrados na área de estudo. A orientação da foliação contida na rocha é compatível com o *trend* regional (NE-SW) e, por conseguinte, com as feições geradas pelos efeitos da transcorrência, podendo representar uma fase tardia ou imediatamente após a esta. A hipótese de um dique clástico posteriormente afetado pela deformação dúctil e dúctil-rúptil também deve ser considerada, especialmente quando se observa uma certa compatibilidade entre a matriz carbonática-psamítica deste litotipo e o contexto heterogêneo das encaixantes (metacalcários maciços, metacalcilutitos laminados, metamargas bandadas e metacalcarenitos dolomíticos finos a muito finos).

Também na Mina de Ponte Alta são observadas brechas de natureza tectônica, de características bem distintas, mas com orientações semelhantes ao tipo acima descrito. Ocorrem expressivas venulações orientadas contendo quartzo leitoso e carbonatos de cor avermelhada, provavelmente também associados aos processos de limonitização, uma vez que a análise por difração de raios-X de amostras coletadas no local registraram apenas calcita como mineral carbonático formador dos veios.

Em seção delgada de amostra da Mina de Salto, observam-se megaclastos de quartzo poligonizado e cristais romboédricos de dolomita envoltos por uma massa amorfa de quartzo, carbonatos e clorita. Há diversas direções de microfraturamento com preenchimentos por carbonatos, epidoto, hidróxidos e opacos.

4.6 COBERTURAS PÓS-PALEOZÓICAS

Compreendem os aluviões mais desenvolvidos e associados às drenagens principais, e às ocorrências peculiares e bem delimitadas em mapa de um material sedimentar intemperizado, pouco consolidado, que informalmente denominamos “solo ferruginoso”. Mormente suas distintivas características, que por si só levaram à sua individualização, estes depósitos ganharam importância especial ao longo do levantamento dado o interesse das Indústrias Votorantim S.A. na sua utilização como insumo alternativo na fabricação de cimento.

4.6.1 Solo ferruginoso (SR)

Diz respeito a um material sedimentar silto-argiloso inconsolidado, com coloração castanho avermelhado-arroxeadado, cujas características mineralógicas e texturais indicam a atuação de processos pedogenéticos. Entre os bairros Piraporinha e Capuavinha (centro-noroeste da área) forma uma contínua e espessa cobertura de característica residual a coluvionar, com grande conteúdo de magnetita. Nesses locais, o material de cobertura assenta-se sobre metassedimentos do Grupo São Roque e lamitos/siltitos do Subgrupo Itararé.

Nas proximidades da Mina de Salto, em área contígua imediatamente a sudeste da Zona de Cisalhamento de Moreiras, os solos ferruginosos ocorrem na forma de uma pequena “mancha” alongada disposta na direção NE-SW, ocupando níveis topográficos mais elevados, e em íntima associação com estruturas rúpteis. Nesse local observa-se a presença de material brechóide exibindo foliação conspícua à direção regional NE, e afetando porções de granitóide (Maciço São Francisco) e siltitos do Subgrupo Itararé (vide também VII.5.4). Sobre este material tectonizado,

desenvolveu-se canga limonítica com marcante linha de seixos na base do depósito, demonstrando sua natureza coluvionar. Dado o alto gradiente de declividade nestes locais, a espessura de solo ferruginoso é bem inferior a ocorrência de Capuavinha.

Análises químicas realizadas por via úmida nos laboratórios da Cimento Votoran em amostras do material coletadas nas proximidades da Mina de Salto, mostram a seguinte composição: entre 16 e 30% de Al_2O_3 , valores médios entre 20 e 32% de Fe_2O_3 , CaO entre 0,4 e 0,7%, MgO inferior a 0,1% e SiO_2 com valores médios entre 35 e 38%. Os significativos teores em ferro e alumínio em contraste aos baixos valores para cálcio e magnésio, associados à forma de ocorrência e relações estratigráficas locais fazem crer que este litotipo pode corresponder às descrições contidas em SETZER (1960) referentes a solos argilosos oriundos da decomposição de *sills* de diabásio.

4. 6. 2 Aluviões atuais e pré-atuais (Qa)

As coberturas aluviais ocorrem com maior magnitude ao longo de toda a borda oeste da área estudada, onde estão situados os relevos colinosos e mais brandos associados ao domínio morfológico da Depressão Periférica e aos sedimentos da Bacia do Paraná. Localmente, alguns depósitos apresentam-se em terraços mais elevados que o nível de base atual, predominando camadas e/ou bancos arenosos, por vezes conglomeráticos. São corpos com espessuras decimétricas a métricas, com alto conteúdo em feldspatos. Subordinadamente, ocorrem intercalações de camadas ou lentes de material silto-argiloso com textura variegada. Em geral, este tipo de depósito apresenta estratificação plano-paralela ou caráter maciço, com razoável grau de consolidação, o que leva a crer que se trata de depósitos sub-atuais.

Os depósitos atuais correspondem às calhas das principais drenagens ou terraços pouco desenvolvidos próximos ao nível atual de base. Apresentam-se inconsolidados, constituídos principalmente por areias mal selecionadas, com alguma contribuição de silt e argila. Estes depósitos são constituídos essencialmente de quartzo e quantidades variadas de micas, feldspatos e opacos.

CAPÍTULO 5 ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES E AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO

“O termo **fácies** foi introduzido por Gressly (1838) e tem sido objeto de debate por um considerável número de autores como sintetizado por Teichert (1958), Krumbein & Sloss (1963) e Middleton (1973).” (READING 1986, p. 4).

Uma **fácies** é um corpo de rochas com características específicas. Em locais onde as rochas sedimentares podem ser observadas e descritas a partir de afloramentos e de poços em subsuperfície, a **fácies** é definida com base em características tais como forma de acamamento, composição, textura, conteúdo fóssil e estruturas sedimentares. Quando os fósseis estão ausentes ou sua presença acarreta em pequenas conseqüências, a ênfase é dada às características físicas e químicas da rocha, sendo apropriado o uso do termo **litofácies**. Segundo MIALL (1985), as litofácies são baseadas em descrições detalhadas de **fácies** e constituem elemento fundamental para o estudo genético dos sedimentos utilizando modelos de **fácies**. Uma **fácies** deve ser idealmente uma rocha com características distintivas, formada sob certas condições de sedimentação, refletindo um processo ou ambiente particular. As **fácies** podem ser subdivididas em sub-**fácies** ou agrupadas em assembléias ou associações de **fácies**. As **associações de fácies** são grupos de **fácies** que ocorrem juntos e são considerados como geneticamente ou ambientalmente relacionados. Cada grupo de **fácies** pode ser identificado como uma associação distinta. A associação é capaz de prover evidências adicionais que tornam a interpretação ambiental mais fácil do que tratando cada **fácies** isoladamente (READING 1986).

A abordagem utilizada no presente trabalho, na busca de reconhecimento e caracterização dos ambientes de sedimentação referentes ao Grupo São Roque, teve por base as premissas acima mencionadas. Nesse sentido, os litotipos referidos na legenda do mapa geológico (ANEXO A), como metassedimentos associados ao Grupo São Roque, não refletem um empilhamento estratigráfico por duas razões principais: a primeira deve-se ao fato de que determinados litotipos repetem-se com maior ou menor número de variações (composicionais e/ou texturais) ao longo da coluna ou seção vertical; a segunda, porque os litotipos analisados referem-se possivelmente à **fácies** e sistemas deposicionais contemporâneos entre si. Estes aspectos também reforçaram o uso de associações de litofácies como elemento de análise mais adequado, para a investigação dos ambientes de sedimentação, incluindo processos e feições decorrentes, suas relações cronológicas, e possíveis conotações com o quadro estratigráfico regional. Dessa forma, o mapa de associações de litofácies e polaridade estratigráfica apresentado (ANEXO B), procura contemplar as citadas

repetições de alguns litotipos na seção vertical, discriminando-as e inserindo-as junto aos demais litotipos num contexto genético e ambiental. As associações de litofácies apresentadas no mapa citado (ANEXO B) já procuram refletir um empilhamento proposto a partir de resultados obtidos no presente trabalho, e que foram correlacionados às subdivisões estratigráficas sugeridas e/ou utilizadas para o Grupo São Roque em regiões adjacentes à área de estudo (BERGMANN 1988, BERGMANN 1992, HACKSPACHER *et al.* 1993, HACKSPACHER 1994).

5.1 ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES

O conjunto de rochas aqui referenciado como metassedimentos associados ao Grupo São Roque, objeto desta análise, tem significativa distribuição ao longo da área de estudo, estendendo-se desde a Cidade de Votorantim (no extremo norte) até as localidades de Leites (no extremo leste-sudeste) e Bom Retiro (ao sul), onde está delimitado pela Zona de Cisalhamento de Taxaquara (vide Capítulo 6). A área de ocorrência é razoavelmente contínua, registrando-se no entanto, a incursão de corpos de rochas granitóides e de manchas de sedimentos fanerozóicos no trecho mencionado.

Para fins de analogia e correlação, foram utilizadas no presente trabalho, as designações de BERGMANN (1988) para as rochas do Grupo São Roque, cujo posicionamento estratigráfico é redefinido em HACKSPACHER (1994), com base na geologia da Folha Cabreúva. Três unidades principais são descritas por este autor e assim definidas :

- i) *Formação Estrada dos Romeiros* na base, compreendendo principalmente metarritmitos constituídos por intercalações de metarenitos feldspáticos e metapelitos, contendo laminações plano-paralelas, granodecrescência ascendente, laminações onduladas do tipo “*climbing*” e canais de preenchimento na base psamítica. A unidade consiste ainda de metarenitos feldspáticos a metarcóseos, metassiltitos e filitos variados com passagens graduais para metarritmitos e metassiltitos.
- ii) *Formação Voturuna*, compreendendo metassiltitos em contato basal gradativo com as rochas da unidade inferior, e sobrepostos por quartzitos puros a micáceos, também feldspáticos, em contato abrupto.
- iii) *Formação Pirapora* no topo, incluindo metabásicas e metacalcáreos, em contato abrupto com a unidade subjacente.

É interessante notar que nas descrições originais feitas por BERGMANN (1988), a Formação Estrada dos Romeiros seria constituída por metassiltitos e metarritmitos com

intercalações de rochas metabásicas e metacarbonáticas e, a Formação Pirapora compreenderia rochas metabásicas toleíticas e metacalcários de natureza algácea.

No presente trabalho foi possível identificar e caracterizar quatro associações de litofácies distintas, provavelmente representando ambientes deposicionais diferentes e que foram correlacionadas tentativamente às unidades estratigráficas mencionadas acima como será discutido mais adiante no item 5.2. A FIGURA 2 mostra a relação entre as associações de litofácies caracterizadas, em seção vertical esquemática. As espessuras aparentes foram estimadas a partir da distribuição em mapa e de perfis geológicos com integração de dados de poços, considerando de forma relativa os efeitos produzidos pela tectônica. As associações de litofácies caracterizadas são descritas a seguir.

5.1.1 Associação de litofácies A - siliciclástica basal

Em relação aos litotipos representados no mapa geológico (ANEXO A), a associação de litofácies A - siliciclástica basal compreende: 1. parte da unidade Marg/slt (item 4.2.3) correspondendo a metassiltitos laminados; 2. todo o conjunto de metarritmitos e respectivas variações, referidos como unidade Mrit (item 4.2.2); 3. parte da unidade Marn composta por metarenitos (item 4.2.1), correspondendo aos tipos feldspáticos a arcoseanos e algumas ocorrências de tipos quartzosos; 4. parte da unidade Fil (item 4.2.4), aqui incluindo filitos sericíticos e grafitosos e; 5. eventuais níveis de metargilitos maciços que também fazem parte da unidade Marg/slt (item 4.2.3). A associação de litofácies A - siliciclástica basal foi observada em duas porções distintas da área de estudo (ANEXO A e ANEXO B): **a.** ao norte, próximo a Cidade de Votorantim, estendendo-se para SW em direção à localidade de Capuavinha, onde apresenta contatos transicionais com a associação de litofácies B (descrita a seguir) sobrejacente em condição de topo invertido estruturalmente (vide Capítulo 6, item 6.3). A qualidade e quantidade dos afloramentos não foram favoráveis a realização de estudos mais detalhados, tampouco permitiram a identificação das relações de contato com as rochas subjacentes (metapsamitos e metapelitos, 4.1.3); **b.** na porção centro-sul, onde ocupa uma grande extensão, exibindo contatos abruptos definidos por zonas de cisalhamento transcorrente (descritas a seguir, Capítulo 6). O limite norte é dado pela Zona de Cisalhamento de Pirapora que provoca o truncamento dos *trends* faciológicos, justapondo a associações de litofácies distintas. No limite sul, ocorre o mesmo tipo de situação envolvendo a Zona de Cisalhamento de Taxaquara e rochas que foram separadas do contexto do Grupo São Roque neste trabalho (vide 4.1.1 e 4.1.2, associadas provavelmente ao Grupo Açungui).

As possíveis litofácies referentes à esta associação incluem:

A1. *Metassiltitos laminados.* Nos perfis P4-P4' e P5-P5'' (ANEXO A), a litofácies corresponde às ocorrências ao sul e a sudeste de Salto de Pirapora, entre as localidades de Ilha e Barros respectivamente, com espessuras relativas aparentes (em mapa e perfis) superiores a 500 m. Nos trechos citados, são observadas rochas argilo-siltosas com cores de alteração entre cinza castanho-avermelhado escuro a arroxeadado muito característico, constituídas por níveis extremamente contínuos com espessuras inferiores a 1 mm, configurando laminações plano-paralelas. Em direção ao topo da litofácies, há um nítido incremento de níveis de metarenito muito fino (geralmente com espessuras de 1 a 15 mm) como abordado no item 4.2.3. Especificamente no ponto PS051 (vide ANEXO E e perfil P4-P4', ANEXO A), próximo ao contato com os metarenitos da litofácies sobrejacente (descrita adiante) são observadas laminações cruzadas de baixo ângulo e indicações de fluxo combinado. São feições com dimensões milimétricas (espessura máxima dos *foresets* é inferior a 3 mm) que indicam topos normais para SE, não sendo possível, no entanto, inferir as possíveis direções de paleocorrentes dado o padrão aparentemente bimodal destas estruturas. Na porção central-inferior da FOTO 22, observa-se que os contatos basais das camadas claras (silto-arenosas) são predominantemente bruscos, com a concavidade voltada para cima, exibindo truncamento angular das laminações internas pela camada escura subjacente (pelítica). Um pouco acima da referida porção, as camadas silto-arenosas permanecem com a concavidade para cima, entretanto, as laminações internas apresentam contatos basais mais tangenciais e gradativos. Embora sejam menos frequentes, no mesmo local, observam-se feições com convexidade voltada para cima, do tipo laminação cruzada truncada por ondas como mostra a FOTO 23.

Diferentes possibilidades decorrem do que foi acima exposto, em relação à possível natureza das estruturas sedimentares observadas. Podem representar laminações cruzadas aproximadamente perpendicular à direção da corrente (festões) ou representar descontinuidades internas de *foresets*, relacionadas à base de estratificações cruzadas de maior ordem (COLLINSON & THOMPSON 1989), mas que não puderam ser identificadas localmente. Outra possibilidade é a de que, essas laminações cruzadas de características bimodais correspondam a um tipo especial de feição denominada SCS ("*swaly cross stratification*") descrita por LECKIE & WALKER (1982) (*apud* WALKER & JAMES 1992, p.223).

A2. *Metarenitos maciços e levemente estratificados.* A litofácies está representada por "manchas" (em mapa, ANEXOS A e B) ou lentes (PERFIS P3-P3' e P4-P4') de dimensões variáveis e espessuras estimadas aparentes da ordem de dezenas a algumas centenas de metros,

aflorantes no trecho entre as Zonas de Cisalhamento de Pirapora e de Taxaquara. Compreende metarenitos predominantemente maciços com variações composicionais e granulométricas. Os tipos quartzosos apresentam grã levemente grossa a fina, como na ocorrência do ponto PS051 anteriormente mencionada, onde os metarenitos apresentam-se em termos conglomeráticos finos (vide 4.2.1), contendo na base, clastos da litofácies A-1 descrita acima (metassiltitos laminados) e, em granodecrescência ascendente (FOTO 21). Os referidos clastos são angulosos a subangulosos, com dimensões inferiores a 5mm de comprimento, distribuídos de maneira levemente orientada subparalelamente ao plano de acamamento. Os tipos feldspáticos são em geral mais grosseiros e estratificados e suas ocorrências, próximas às zonas de cisalhamento transcorrente (de Pirapora e de Taxaquara), podem indicar a influência destas na distribuição desta litofácies ao longo da área estudada.

A3. Metarritmitos. Esta litofácies predomina na associação de litofácies A, assim como nas porções de área acima mencionadas, sendo observada em todos os perfis geológicos (ANEXO A), provavelmente refletindo a estruturação tectônica regional (Capítulo 6). As espessuras aparentes estimadas indicam pacotes superiores a 2000 m. É constituída pela alternância de níveis psamíticos (cujas espessuras variam desde alguns centímetros até 4 metros) contendo metarenitos muito finos a médios de composição predominantemente feldspática e, de níveis de metapelitos (metassiltitos, metargilitos, filitos) com espessura nunca excedendo 50-60 cm. Os níveis metareníticos apresentam contatos bruscos na base (onde são geralmente maciços), com granodecrescência normal ascendente em direção às porções pelíticas, marcando estratificação gradual que passa a plano-paralela. Milimétricas laminações cruzadas de marcas onduladas cavalgantes (“*climbing*”) ocorrem com pouca frequência próximas à interface entre os níveis pelíticos e psamíticos, aspecto também reportado em IG/SMA (1990) na área de estudo e, em HACKSPACHER (1994) para ocorrências na Folha Cabreúva. Entre as localidades de Juncal e Leites, situadas a sudeste, essas feições indicaram topos normais ora para NW, ora para SE, com predominância desses últimos, provavelmente devido dobramentos locais (conjunto de sinformes e antiformes, atribuído à fase de deformação Dn+1, vide Capítulo 6, item 6.1). Ao norte da localidade de Santa Helena, próximo ao contato gradacional com os metassiltitos e metargilitos sobrejacentes da associação de litofácies B (descrita a seguir), os metarritmitos exibem finas estratificações onduladas (“*wavy bedding*”) indicando topos invertidos para SE, visto que o acamamento sedimentar original mergulha para NW no local.

A4. Filitos laminados a bandados. Esta litofácies tem nos filitos sericíticos seu principal constituinte, ocorrendo subordinadamente níveis ou variações laterais de filitos grafitosos. A

distribuição desta litofácies na área de estudo, em alguns locais, parece estar condicionada à presença das zonas de cisalhamento transcorrente. Junto à Zona de Cisalhamento de Pirapora, especialmente no seu flanco sul, ocorrem extensas faixas desta litofácies justapostas aos metarritmitos descritos anteriormente (A-3), e também aos metassiltitos da litofácies A-1, com as quais exibe contatos abruptos. O tectonismo rúptil posterior parece ter sido o responsável pela ocorrência desta litofácies também no flanco norte da referida zona de cisalhamento na localidade de Piraporinha, onde está em contato com rochas granitóides e com associações de litofácies aqui consideradas estratigraficamente superiores (vide item 5.1.3). Em condições normais, os filitos incluídos nesta litofácies apresentam estratificação do tipo plano-paralela e representam uma passagem gradual dos níveis pelíticos verificados na litofácies anterior (A-3) para níveis mais espessos e definidos.

A5. *Metargilitos maciços.* A litofácies compreende níveis de metargilitos maciços, geralmente caolinizados em afloramento, com ocorrência, dimensões e espessuras restritas (provavelmente algumas dezenas de metros), sobrepostos em contato transicional aos filitos anteriormente descritos. As cores de alteração vão de cinza esverdeado claro a amarelo esbranquiçado.

5.1.2 Associação de litofácies B - siliciclástica intermediária

A associação de litofácies B - siliciclástica intermediária, abrange os seguintes litotipos representados no mapa geológico (ANEXO A): **1.** grande parte da unidade Marg/slt (4.2.3) incluindo os diferentes termos texturais (metargilitos e metassiltitos); **2.** parte dos metarenitos quartzosos (4.2.1). O trecho de ocorrência ou, onde a associação de litofácies foi melhor caracterizada, situa-se na porção norte da área de estudo, estendendo-se da localidade de Santa Helena (noroeste da Mina do Pastinho, vide ANEXO E) até a localidade de Capuavinha e adjacências. Foram reconhecidas três litofácies e assim descritas:

B1. *Metassiltitos laminados e maciços.* Esta litofácies inclui extensas camadas de metapelitos finos a muito finos, cuja espessura total aparente estimada pode alcançar cerca de 1000 m. Caracterizam-se por contínuos níveis argilosos e siltosos a areno-siltosos exibindo estratificação/laminação plano-paralela, cujas espessuras variam em média de 5 mm a 10 cm. Os níveis pelíticos mais puros possuem coloração cinza médio a escuro, passando a castanho-avermelhado quando intemperizados, enquanto os níveis silto-arenosos exibem cores mais claras, de cinza claro a amarelado. A litofácies apresenta contatos basais gradacionais com a associação de litofácies subjacente (metarritmitos - A3) e também com as litofácies sobrejacentes, em especial, os metarenitos da litofácies B3 (descrita a seguir). A passagem para a litofácies B2 (metargilitos,

também descrita a seguir), aparentemente representa uma variação vertical e lateral. Notadamente, há um incremento dos níveis silto-arenosos em direção a litofácies B3. Nesse contexto, na localidade de Capuavinha (ponto PS125), são observadas laminações cruzadas de baixo ângulo (amplitudes da ordem 1 a 2 cm), de padrão aparentemente bimodal caracterizado pela concavidade dos *sets* basais e convexidade para cima dos *sets* superiores, podendo configurar uma feição do tipo *hummocky* (HARMS *et al.* 1975 *apud* WALKER & JAMES 1992). Na localidade de Santa Helena, próximo à entrada da Fábrica de Cimento Votoran, os metassiltitos exibem significativas estruturas sedimentares na interface com os metarenitos, que serão descritas a seguir.

B2. *Metargilitos maciços a laminados.* Como acima mencionado, esta litofácies possivelmente representa variação vertical e lateral da litofácies anteriormente descrita, tendo uma distribuição restrita à localidade de Santa Helena. Caracteriza-se como uma rocha de coloração cinza claro de tonalidade castanho-amarelada, com textura maciça e exibindo pequenas manchas sub-elipsoidais constituídas de mineral opaco geralmente oxidado.

B3. *Metarenitos quartzosos.* Na localidade de Santa Helena, ocorre um corpo de forma alongada e lenticular, com espessura aparente estimada variando entre 150 e 200 m, constituído por metarenitos cujo conteúdo em quartzo é superior a 95%. A rocha é predominantemente maciça, passando a estratificada em direção aos contatos, que são parcialmente afetados pelo cisalhamento transcorrente, especialmente em determinados trechos na interface com a associação de litofácies D sobrejacente. Os contatos com a litofácies subjacente (metassiltitos - B1) são gradacionais, exibindo ao longo do mesmo acamamentos ondulados e lenticulares ("*wavy e lenticular bedding*") que, por sua vez, contêm estruturas sedimentares internas tais como laminações cruzadas de marcas onduladas ("*ripple drift cross lamination*") como mostram as FOTOS 19 e 20, tomadas no ponto PS122, situado à entrada da Fábrica de Cimento Votoran. O plano das fotos tem orientação E-W, aproximadamente coincidente com a seção vertical perpendicular ao acamamento original, e sobre a qual foram efetuadas as observações. A atitude geral do acamamento sedimentar no local é N16W/ 88° NE, destacando-se níveis mais ou menos contínuos, com espessuras entre 5 e 15 cm, contendo areia fina a média de coloração avermelhada, adjacentes e alternados a níveis mais abundantes e mais espessos, de coloração mais clara (creme a amarelado) contendo material de granulometria mais fina (silto-arenoso). As formas do acamamento variam de plano-paralelo, ondulado e lenticular (como acima mencionado), quando as camadas mais arenosas perdem a continuidade (REINECK & SINGH 1980), indicando topo normal para ENE. Os *foresets* de laminações cruzadas têm espessuras

inferiores a 1cm, concavidade voltada para cima, com contatos inferiores tendendo a tangenciais e superiores truncados e, apresentando caráter unidirecional de feições subparalelas à paleocorrente. A atitude média dos planos de *foresets* é N63E/60° (direção e inclinação de mergulho), indicando paleocorrente com orientação WSW (Az 240 aproximadamente).

5.1.3 Associação de litofácies C - clasto-química transicional

A associação de litofácies C - clasto-química transicional ocorre na porção centro-norte da área de estudo, abrangendo principalmente as localidades de Piraporinha e Ponte Alta, e os arredores de Salto de Pirapora e da localidade de Capuavinha. Em relação às unidades referidas no mapa geológico (ANEXO A) incorpora os seguintes litotipos: 1. parte da unidade Marg/slt (4.2.3) envolvendo metassiltitos maciços e laminados; 2. biotita-clorita filitos bandados (Fclx), incluído na unidade Fil (4.2.4); 3. toda a unidade de metamargas (4.2.7); 4. parte da unidade Mdol/clt (4.2.5), aqui referindo-se aos metadolomitos/metacalcilutitos bandados e de textura mais granoblástica e, metacalcarenitos dolomíticos; 5. parte da unidade Mcal (4.2.6), referindo-se aos metacalcáreos laminados e bandados. As litofácies descritas são:

C1. *Metassiltitos maciços e laminados.* Esta litofácies compreendem as ocorrências de metassiltitos próximas à Cidade de Salto de Pirapora, entre as localidades de Piraporinha e Ponte Alta, cujas características e cores de alteração observadas em afloramento assemelham-se àquelas da litofácies A1, entretanto, apresentando sensíveis diferenças que permitem sua individualização. A espessura aparente estimada deve ser inferior a 700 m. As rochas aqui incluídas, localmente apresentam texturas maciças que evoluem para laminações plano-paralelas em direção às litofácies sobrejacentes, com as quais exibe contatos gradacionais e incluem possíveis variações laterais (contatos com as litofácies C2, C3 e C4 descritas a seguir). A estratificação quando observada, expressa-se por níveis contínuos de material silto-argiloso com espessuras nunca excedendo 5 ou 6 mm.

C2. *Metamargas laminadas a bandadas.* Esta litofácies refere-se às ocorrências de forma alongada e/ou lenticulares descontínuas, distribuídas de maneira esparsa em mapa (ANEXOS A e B), no trecho de área citado acima. A espessura provavelmente varia no sentido lateral em decorrência da forma lenticularizada, tendo sido estimados valores máximos entre 150 e 200 m. Os contatos com as demais litofácies são gradacionais e, também indicam variações laterais. As rochas que constituem esta litofácies, caracterizam-se pela alternância de níveis estratificados de material silto-argiloso, cujas espessuras variam de 1-2 mm (nos tipos laminados) a 5-10 mm (nos tipos bandados), exibindo coloração cinza médio a escuro com tonalidade verde a castanho-

avermelhada. A análise petrográfica revelou que o acamamento sedimentar em arranjo plano-paralelo consiste de níveis claros, onde predominam grãos angulosos de quartzo e sericita, que se alternam a níveis compostos por carbonatos e opacos e níveis contendo clorita e opacos, responsáveis pelas tonalidades avermelhadas e esverdeadas respectivamente. As espessuras dos níveis variam bastante localmente, ressaltando-se a granodecrescência ascendente dos níveis quartzosos em direção aos níveis carbonáticos. Este aspecto, observado em nível microscópico, parece refletir as condições ambientais e o arranjo das litofácies em escala meso e macroscópica. No ponto PS155, próximo à Capuavinha (vide ANEXOS B e E), foram observadas em afloramento, na interface entre níveis claros (predominantemente quartzosos) e níveis de coloração cinza (carbonáticos) em metamargas do tipo bandado, marcas onduladas levemente assimétricas, com amplitudes inferiores a 5 mm e cristas arredondadas. Essas feições foram observadas numa única seção aproximadamente perpendicular ao acamamento, indicando topo para a direção WNW.

C3. *Metadolomitos/metacalcilutitos e metacalcarenitos dolomíticos bandados.* Na ocorrência da Mina de Salto (ao norte de Piraporinha), esta litofácies consiste de um arranjo plano-paralelo no qual predominam camadas de coloração cinza claro, com espessuras variando de 1-2 mm até 8-10 cm, que se alternam a camadas de cor cinza escuro, com espessuras menores até 2 cm. Os níveis mais claros geralmente apresentam uma textura mais granular (micesparítica), sendo constituídos predominantemente por carbonatos e quartzo, enquanto os níveis escuros exibem textura criptocristalina (micrítica), onde os minerais opacos são os constituintes principais. Mesoscopicamente, o contato entre os níveis é bem marcado pelo contraste textural e, em seção delgada apresenta-se abrupto (FOTO 01). Todavia, os contatos com as litofácies subjacente (C4) e sobrejacente (C5), no local, não refletem essa característica, prevalecendo o caráter gradacional.

Nas ocorrências da Pedreira Cosipa (Piraporinha) e, principalmente, na de Ponte Alta, a litofácies caracteriza-se pela presença mais freqüente de termos psamíticos, apresentando contatos gradacionais com as litofácies adjacentes (C1, C2 e C4). Nesse último local, a rocha exhibe estratificação plano-paralela, constituída pela alternância de níveis mais espessos (de 1 mm a 6 cm) de material silto-arenoso muito fino a fino de coloração cinza claro a amarelado constituídos por carbonatos e quartzo e, de níveis menos espessos (inferior a 1 mm a 15mm), por vezes, descontínuos, de coloração cinza esbranquiçado, contendo material mais fino (carbonatos). Ocorrem granodecrescência ascendente e variação vertical da espessura dos níveis. Na base, os níveis são mais finos e aproximadamente equidimensionais (laminações plano-paralelas), passando a espessuras maiores onde predominam gradativamente os níveis silto-arenosos, atingindo

texturas mais maciças a uniformemente estratificadas no topo, onde são observados intraclastos de metarenito muito fino, dispostos paralelamente ao acamamento sedimentar, segundo direções de maior comprimento cujas dimensões variam de 2 a 7 cm (FOTO 29). Na porção intermediária, onde a alternância entre os níveis é mais característica, observam-se diversas estruturas sedimentares internas ao acamamento. São laminações cruzadas de marcas onduladas de deriva (*'ripple drift cross lamination'*) de baixo ângulo cujo comportamento parece acompanhar as variações verticais acima descritas, observando-se uma tendência à assimetria de formas, e característica estrutural por vezes dissimilar dos *sets* adjacentes na direção do topo (de RAAF *et al* 1977 *apud* READING 1986). A FOTO 26 mostra a porção basal do afloramento do ponto PS213 (vide ANEXO E), onde as laminações cruzadas de baixíssimo ângulo tendem a paralelizar-se ao plano de estratificação na parte inferior. Já as FOTOS 27 e 28 mostram porções intermediárias e superiores, onde as laminações cruzadas gradam para ângulos maiores, prevalecendo *foresets* unidirecionais mas também em direções opostas (vide canto direito superior da FOTO 28). Os planos das referidas fotos (N40E/40°SE, médio) correspondem à seções verticais aproximadamente longitudinais ao acamamento sedimentar original, cuja atitude média no local é N25E/65°NW. Os *foresets* têm espessuras entre 2 e 3 mm podendo chegar à 1 cm, com mergulhos de 5 a 8° (na porção inferior) e de 10 a 15° (porção superior) para NNE indicando topos normais das camadas para WNW e direção de paleocorrente para SSW. As laminações cruzadas apresentam, em geral, base côncava com limites tangenciais dos *foresets*; na parte superior, os predominam os limites erosivos, por vezes, com feições de truncamento angular e superfícies de reativação e, menos freqüentemente, recobrimentos por material mais fino (*"mud drapes"*) que se assemelham à estruturas do tipo *tidal bundles* (WALKER & JAMES 1992).

As espessuras aparentes estimadas para esta litofácies não devem exceder os 200 m.

C4. Metacalcários (*metacalcilutitos predominantemente laminados e bandados*). As ocorrências referentes à esta litofácies correspondem a corpos alongados e/ou lenticulares nas localidades mencionadas acima (Mina de Salto, Pedreira Cosipa e Minercal em Piraporinha e, Ponte Alta). Nas três primeiras, corresponde a tipos bandados que se caracterizam por faixas claras com espessuras entre 3 mm e 4 cm constituídas de carbonato e quartzo (texturas esparíticas), alternadas a filmes e finos níveis escuros a esverdeados com espessuras inferiores a 1mm até 1 cm, compostos por minerais opacos e carbonatos associados a epidoto e quartzo. Estruturas de contração foram observadas nos níveis escuros (FOTO 13), em escala meso e microscópica, sendo definidas por vênulas aciculares preenchidas por material carbonático, com disposição sub-perpendicular ao acamamento e confinadas a esses níveis. Essas feições indicaram

topo normal para NW, refletindo dobramento local (Perfil P2-P2', ANEXO A). O contato com a litofácies C3, descrita anteriormente, varia de gradacional a levemente abrupto devido a contrastes texturais.

Na ocorrência de Ponte Alta, os metacalcários são mais laminados, e passam gradacionalmente nos contatos inferior e superior para os metacalcilutitos e metacalcarenitos dolomíticos da litofácies C3 respectivamente.

C5. *Biotita-clorita filitos bandados.* A única ocorrência desta litofácies, registra-se na localidade de Piraporinha, estendendo-se da Mina de Salto à lavra da Minercal, onde passa lateralmente às metamargas da litofácies C2. Corresponde a uma estreita faixa aflorante com espessura aparente estimada de cerca de 100 a 150 m, apresentando relações de contato difusas (gradacionais a levemente abruptas, posições estratigráficas variadas) com as demais litofácies (C1, C3 e C4). As rochas são constituídas por uma alternância de caráter rítmico entre níveis claros (branco leitoso a cinza muito claro), contendo predominantemente quartzo, e níveis escuros (cinza escuro a esverdeado) contendo principalmente biotita, clorita e epidoto. A espessura dos níveis é bastante variável, desde 1-2 mm até superiores a 1 metro nos níveis claros. Algumas feições centimétricas, observadas na interface de contato entre os níveis, insinuam marcas onduladas levemente assimétricas, indicando topo normal para SSE, também refletindo o dobramento local referido acima.

5.1.4 Associação de litofácies D - carbonática impura superior

A associação de litofácies D - carbonática impura superior compreende os seguintes litotipos mapeados e representados no ANEXO A: **1.** parte da unidade Mdol/clt (4.2.5); **2.** parte da unidade Mcal (4.2.6) e; **3.** porção bastante restrita e localizada da unidade Fil (4.2.4), correspondendo aos quartzo-filitos e filitos laminados ardosianos (Fil-q). O trecho de ocorrência desta associação está limitado à localidade de Santa Helena (nordeste da área de estudo), onde estão situadas as instalações da Fábrica de Cimento Votoran I e respectivas áreas de exploração mineral. Os contatos são predominantemente gradacionais com a associação de litofácies B subjacente, destacando-se trechos em que este contato foi afetado pelo cisalhamento transcorrente. As litofácies caracterizadas incluem:

D1. *Metadolomitos e metacalcilutitos dolomíticos bandados, laminados e maciços.* Diz respeito às ocorrências da Mina Baltar (FOTOS 32 e 33) e do Pastinho, onde esta litofácies descreve corpos alongados e/ou lenticulares com espessura aparente estimada entre 400 e 500 m.

Apresenta sensíveis variações texturais traduzidas pelos tipos mencionados acima e que aparentemente refletem flutuações nas condições de deposição.

Os tipos laminados e bandados são predominantes, caracterizando-se pela alternância de níveis de coloração cinza médio a escuro, de textura predominantemente micrítica, e de níveis de coloração cinza claro onde as texturas predominantes são esparíticas. A espessura de cada nível é bastante variável (de 1-2 mm até 50-60 cm) ao longo dos afloramentos, prevalecendo os níveis de granulometria mais fina. Os contatos entre os níveis são eminentemente gradacionais, assim como em relação à litofácies subjacente (D2), composta por metacalcários; observando-se granodecrescência ascendente e aumento progressivo da quantidade e da continuidade das lentes de metacalcário em direção ao topo. Na Mina do Baltar, os contatos entre os metadolomitos e as lentes de metacalcário apresentam tênues e descontínuas ondulações centimétricas, marcadas pela concentração de material fino de coloração escura, similares às feições do tipo *flaser* (REINECK & SINGH 1980, COLLINSON & THOMPSON 1989), como pode ser observado na FOTO 30. Eventualmente, os metadolomitos/metacalcilutitos apresentam textura maciça que, em alguns locais exibe aspecto brechóide, nos quais observam-se vênulas aciculares preenchidas por material carbonático (FOTO 31), similares às feições descritas na litofácies C4 e, que podem corresponder à estruturas de contração.

Na porção inferior da Mina Baltar (ponto PS224, entre cotas altimétricas 510 e 495 m), foram observadas laminações cruzadas de marcas onduladas de deriva ("*ripple drift cross lamination*"), cujas amplitudes variam entre 3 e 4 mm. As observações foram efetuadas em seção vertical aproximadamente longitudinal ao plano do acamamento que, no local, apresenta atitude média N58E/48°NW. As laminações indicaram topo normal para a direção NNW, com *foresets* submilimétricos tendo atitude média N25E/38°NW, indicando paleocorrentes na direção SSW (Az 205 aproximadamente). A FOTO 25 tomada no mesmo ponto de afloramento mostra laminações cruzadas de baixo ângulo em padrão bimodal, indicando truncamento por ondas. A amplitude da referida estrutura é de cerca de 5 mm, e o acamamento sedimentar tem atitude N87E/77°NE.

D2. Metacalcários maciços. Esta litofácies corresponde essencialmente às rochas escuras (preto) de composição predominantemente calcítica, com textura maciça (micrítica), aflorantes nas Minas Baltar, da Placa e do Pastinho, cuja espessura aparente estimada não excede os 100 m. São extremamente homogêneas, não sendo observadas estruturas sedimentares. Os contatos são gradacionais com os metadolomitos da litofácies subjacente (D1) e com os filitos da litofácies subjacente (D3) descritos a seguir.

D3. Filitos laminados ardorianos e quartzo filitos. Na ocorrência da Mina da Placa, afloram filitos de textura microcristalina de cor escura (preto), que apresentam laminações plano-paralelas com extrema uniformidade de espessuras (de 2 a 3 cm). Sobre o plano de acamamento sedimentar são observadas marcas onduladas de tipos distintos. A FOTO 24 mostra marcas onduladas assimétricas de cristas arredondadas, padrão mais ou menos contínuo e sinuoso, fora de fase em plano. As amplitudes máximas não ultrapassam 1 cm e os comprimentos de onda são da ordem de 4 a 5 cm. O plano da foto corresponde aproximadamente ao plano do acamamento no local cuja atitude é N47E/73°SE, sendo que o molde observado apresenta-se invertido indicando o topo da camada para NW. O sentido da paleocorrente, inferido a partir do caimento da linha hipotética transversal à direção das cristas e da direção dos flancos montantes, é de 47° para SW (Az 220 aproximadamente). As marcas onduladas de perfil simétrico apresentam cristas arredondadas e mais contínuas, com padrão retilíneo em planta. As amplitudes são inferiores a 5 mm e os comprimentos de onda situam-se entre 7 e 8 cm.

Os quartzo filitos afloram adjacientemente à Zona de Cisalhamento de Moreiras, apresentando-se em afloramento e em seção delgada intensamente afetados por esta, correspondendo à porções milonitizadas desta litofácies.

5.2 INTERPRETAÇÕES

As descrições efetuadas acima, integradas às análises petrográficas e aos resultados obtidos pela análise estrutural e tectônica (descritos a seguir no Capítulo 6), conduzem à interpretações distintas para cada uma das associações de litofácies caracterizadas no presente trabalho e que, fortuitamente podem implicar em correlações estratigráficas informais. Como mencionado no início deste Capítulo, as associações de litofácies descritas refletem um possível empilhamento para as rochas compreendidas na área de estudo, configurando do topo para a base as relações discriminadas a seguir.

As características observadas, geometria e relações de contato entre as diferentes litofácies, sugerem que a **associação de litofácies A - siliciclástica basal** corresponde a um contexto deposicional de águas inicialmente mais rasas passando a águas profundas. As litofácies A1 e A2, posicionadas na porção inferior da associação, compreendendo os metassiltitos com laminações cruzadas de padrões bimodais no topo, sucedidos em contato abrupto por metarenitos com intraclastos basais e granodecrescência ascendente, integram um contexto transicional de águas mais rasas, ainda que as interpretações não possam ser conclusivas, especificamente quanto

ao ambiente e as condições de sedimentação. As litofácies A3, A4 e A5, posicionadas nas porções superiores constituem-se em unidades da sequência de Bouma numa sucessão turbidítica.

As feições observadas são indicativas de que os metassiltitos representam uma sucessão de plataforma rasa, mais provavelmente um sistema dominado por ondas e tempestades, mas sem descartar a possibilidade de influência de marés. Os metarenitos traduzem-se como depósitos de canal, mas que podem ser interpretados de maneiras distintas. Numa abordagem autocíclica (processos sedimentares intrínsecos ao próprio sistema desempenhando papel mais atuante que processos externos - alocíclicos - tais como tectonismo e variações do nível do mar), MUTTI & RICCI-LUCCHI (1972) (*apud* WALKER & JAMES 1992) mencionam que sucessões com 10 a 40 metros de espessura, que se iniciam com arenitos maciços e passam em direção ao topo a turbiditos clássicos, podem ser reconhecidas em muitos lugares e indicam canais de preenchimento. Outra possibilidade considera as variações do nível do mar, onde as litofácies A1 e A2 estariam associadas a um perfil regressivo, e os metarenitos podem ser interpretados como vales incisos. Em WALKER & JAMES (1992) apresenta-se um modelo de sucessão caracterizado por depósitos de antepraia (*"shoreface"*) com contatos basais abruptos formados durante um período de descida relativa do nível do mar (denominado "regressão forçada"), cujas feições e relações entre as fácies sedimentares assemelham-se àquelas encontradas nas litofácies A1 e A2.

A litofácies A3, constituída por metarritmitos que incluem intercalações cíclicas de metarenitos com granodecrescência ascendente na base, seguidos de estratificações e laminações plano-paralelas e laminações cruzadas do tipo *climbing* na interface com camadas pelíticas, constituem unidades TABC de Bouma. Os filitos laminados da litofácies A4 constituem o intervalo TD, enquanto que as restritas ocorrências dos metargilitos maciços da litofácies A5 devem representar o intervalo pelítico TE. Estas características são extremamente compatíveis com as observações contidas em IG/SMA (1990) e conduzem às mesmas interpretações, quais sejam, as de que a sedimentação processou-se por fluxos gravitacionais representados por correntes de turbidez, intercalados à processos de decantação de material em suspensão com características de deposição hemipelágica a pelágica.

As feições características da **associação de litofácies B - siliciclástica intermediária** indicam condições de deposição de uma plataforma rasa possivelmente dominada por ondas e com influência de tempestades, e caráter progradante. Os metassiltitos da litofácies B1, onde predominam laminações plano-paralelas mas, contendo laminações cruzadas truncadas por ondas similares a *hummockys*, constituem lamas plataformais situadas próximas ou pouco acima do nível

de base das ondas. Os metarenitos da litofácies B3 e metargilitos maciços da litofácies B2 podem representar os depósitos de uma antepaia (“*shoreface*” - com indícios de progradação sobre a associação de litofácies D), onde há transição para um ambiente no qual a influência de fluxos gerados por marés torna-se progressivamente relevante, ainda assim, com aspectos indicativos de progradação, como mencionados a seguir. A presença de acamamentos ondulados a lenticulares contendo laminações internas na interface entre a litofácies B1 e B3 indica uma zona de transição entre os sedimentos plataformais e sedimentos depositados em ambiente sujeitos à influência de marés. Os trechos em que a litofácies B2 gradaciona ou interdigita-se diretamente aos sedimentos carbonáticos da litofácies D1, podem representar a progradação da *shoreface* sobre os ambientes vinculados àquela associação

As informações coletadas abrangendo as variadas litofácies que compõem a **associação de litofácies C - clasto-química transicional** indicam, como a própria denominação adotada sugere, condições de deposição que vão de uma plataforma rasa, com aporte de material carbonático, dominada por ondas e de características progradantes, para um ambiente de sedimentação onde prevaleceram os processos associados a fluxos determinados por marés (intramaré passando a intermaré). As litofácies aqui incluídas (em especial, C2, C3, C4 e C5), notadamente, apresentam geometrias lenticulares além de variações laterais e verticais entre si e, que podem estar associadas à variações relativas do nível do mar. Nesse contexto, os metassiltitos da litofácies C1 e as metamargas correspondentes à litofácies C2, constituem-se em depósitos plataformais propriamente ditos. Parte desta última litofácies (C2), associada a litofácies C5 (biotita-clorita filitos bandados), onde são observadas granodecrescências ascendentes, marcas onduladas e feições do tipo *flaser*, podem representar a passagem do contexto de plataforma rasa para ambientes de sedimentação do tipo intramaré a intermaré associados a sistemas carbonáticos peritidais ou de planícies de maré (WALKER & JAMES 1992). As constituições granulométricas e estruturas sedimentares observadas nas litofácies C3 a C4 evidenciam ambientes de sedimentação dominados por ondas e marés com características intertidais, compreendendo transições de porções inferiores para porções superiores de uma planície de maré (“*sand flats*” para “*mixed flats*”). Segundo DALRYMPLE (*apud* WALKER & JAMES 1992), *sand flats* ocupam a porção distal da maioria das planícies de maré, exibindo laminações cruzadas, onde a velocidade da corrente é menor, enquanto as camadas de lama tornam-se mais abundantes em direção ao continente à medida em que se afastam dos canais de maré, configurando *mixed flats*. As possíveis estruturas de contração verificadas na litofácies C5, situada no topo desta associação, têm origem subaquosa, porém corroborando a hipótese de lâminas d’água menores.

COLLINSON & THOMPSON (1989) assinalam a presença de gretas de sinérese (*"shrinkage cracks"*) em sedimentos argilosos ricos em carbonatos, principalmente onde as camadas são pouco espessas, como é o caso dos metacalcários laminados e bandados da litofácies C5.

As estruturas sedimentares observadas, conjugadas à geometria e relações de contato entre as litofácies (espessuras menores, formas lenticulares, contatos gradacionais com feições características), indicam que a deposição da **associação de litofácies D - carbonática impura superior** processou-se num ambiente de águas muito rasas dominado por correntes e oscilações de maré, com possibilidades de períodos de exposição subaérea das porções superiores. O referido contexto corresponde provavelmente a uma planície de maré, abrangendo a porção intermaré e, alcançando restritamente a zona supramaré. Dessa forma, as litofácies D1 e D2, constituídas respectivamente por metadolomitos/metacalcilutitos dolomíticos predominantemente bandados e laminados, e por metacalcários maciços, correspondem em parte a ambientes de sedimentação do tipo *mixed flats* e, principalmente, ambientes do tipo *mud flats*. A presença de feições similares a *hummockys* na base da litofácies D1, pode significar a incursão de ondas de tempestade sobre a planície de maré, associada à característica progradante dos depósitos plataformais e da *shoreface* como foi acima mencionado. A litofácies D3, contendo marcas onduladas assimétricas e simétricas de oscilações na superfície do acamamento, configura possivelmente as porções de topo do ambiente intertidal (*"mud flat"*) passando a supramaré. As possíveis estruturas de contração verificadas no contato entre as litofácies D1 e D2 (na Mina Baltar), em D2 (na Mina do Pastinho) e, também em D3 (na Mina da Placa), configuram gretas de sinérese como referidas anteriormente na associação de litofácies C.

Em três associações de litofácies foi possível reconhecer feições indicativas da direção e do sentido das paleocorrentes. Embora a ocorrência dessas feições tenha sido de maneira pontual e esparsa, restrita alguns poucos afloramentos, elas foram de extrema validade para o conteúdo descritivo e interpretativo acerca dos ambientes de sedimentação. Para o contexto da área de estudo como um todo, as indicações são de que as paleocorrentes direcionavam-se predominantemente para o sul, com pequenas variações. Na associação de litofácies B, os indicadores apontam o sentido da paleocorrente para WSW, enquanto que, na associação de litofácies C, o sentido indicado é SSW e, na associação de litofácies D varia de SW a SSW.

As descrições e interpretações efetuadas acima, integradas ao empilhamento estratigráfico proposto para a área de estudo, permitem o estabelecimento de correlações informais entre as associações de litofácies caracterizadas e as designações utilizadas por BERGMANN (1988) e

HACKSPACHER (1994) para as possíveis unidades litoestratigráficas do Grupo São Roque. Dentro desse contexto, podem ser feitas as seguintes observações:

- a.** a associação de litofácies A - siliciclástica basal corresponderia à Formação Estrada dos Romeiros;
- b.** a associação de litofácies B - siliciclástica intermediária corresponderia, em parte, à Formação Voturuna, ressaltando-se, no entanto, a possibilidade de variações laterais e verticais que implicam em possíveis intervalos estratigráficos de transição, como observado a seguir;
- c.** a associação de litofácies C - clasto-química transicional, representa provavelmente as referidas variações, que podem estar relacionadas a aspectos tais como flutuações do nível do mar e possíveis deslocamentos das fácies sedimentares, como indicam as feições observadas. Desse modo, a associação de litofácies C poderia representar uma transição da porção superior da Formação Voturuna para a porção mais inferior da Formação Pirapora;
- d.** a associação de litofácies D - carbonática impura superior corresponderia, com ressalvas, à Formação Pirapora. No caso, o contexto deposicional aqui mencionado, a princípio, difere substancialmente daquele observado por BERGMANN (1988) na região de Pirapora do Bom Jesus, marcado pela ausência de rochas metavulcânicas associadas à metacalcários de origem algácea.

Figura 2. Relação esquemática entre as litofácies e associações de litofácies, com indicação de algumas espessuras aparentes estimadas.

CAPÍTULO 6 GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA

As relações entre tensão e deformação envolvem o comportamento mecânico do material quando submetido a esforço sob determinadas condições físico-químicas do meio. Esta resposta do material ao esforço aplicado chama-se comportamento reológico. No caso dos materiais rochosos, destacam-se dois tipos de comportamento: i. elástico - quando a deformação é proporcional a tensão aplicada e a deformação é reversível; ii. plástico - quando a deformação não é proporcional à tensão aplicada e a deformação é irreversível. Por outro lado, as deformações podem ser permanentes, ocorrendo no campo plástico e de natureza dútil, enquanto as deformações instantâneas ocorrem no campo elástico e possuem natureza rúptil (RAMSAY & HUBER 1983).

A deformação dútil é diretamente relacionada à temperatura e ao tempo de aplicação do esforço. Este tipo de deformação é melhor caracterizada no campo plástico até o final do campo elástico, envolvendo processos nos quais os incrementos de deformação são desenvolvidos preferencialmente em planos de anisotropia ou materiais deformados preexistentes, fenômeno este conhecido como "*softening*", ou amaciamento. Diversas razões são atribuídas a isto: redução de tamanho os grãos durante a deformação, mudanças de fases minerais com formação de redes cristalinas com maior ou menor adaptação à deformação, desenvolvimento de planos de anisotropia, migração de fluidos. Ao contrário, pode ocorrer o processo ou fenômeno conhecido como "*hardening*", ou endurecimento, mais característico do campo plástico, ocorrendo quebra da rede cristalina vinculada a altas taxas de deformação com temperaturas mais baixas. A deformação rúptil é função das condições de pressão, quando esta atinge determinado valor crítico ou ponto de ruptura. Os materiais rochosos pré-deformados envolvem uma associação de diferentes minerais, que conseqüentemente acarretarão um complexo comportamento reológico. Desta forma, surge um campo de transição onde pressão (predominantemente na deformação rúptil) e temperatura (predominantemente na deformação dútil) passam a concorrer como fatores igualmente importantes, gerando um estado de deformação dútil-rúptil. (RAMSAY & HUBER 1987, HACKSPACHER 1994).

No presente trabalho, os regimes tectônicos foram abordados com base nas considerações expostas acima. O contexto geológico no qual está inserida a área de estudo aponta para uma associação ou conjunto de rochas diferenciado, gerando distintas feições de deformação em associação com magmatismo. Ao considerar este contexto, optou-se por uma forma de estudo na qual a análise estrutural e, por conseguinte, o reconhecimento dos regimes tectônicos, estivessem

separados em duas abordagens principais: a primeira inclui as feições de natureza dúctil, estendendo-se ao campo de transição dúctil-rúptil; a outra, envolve as feições de características eminentemente rúpteis. Tais abordagens envolvem a observação e descrição de elementos planares e lineares e suas interrelações, assim como a identificação de indicadores cinemáticos, atributos esses, básicos para a caracterização de regimes tectônicos.

A área de estudo abrange a porção sul do Bloco São Roque e porção limítrofe do Bloco Embu (HASUI *et al.* 1969). Como pode ser observado no mapa geológico (ANEXO A), a distribuição dos litotipos referentes ao embasamento cristalino (metassedimentos e rochas granitóides) apresenta orientação geral NE - SW, fortemente condicionada pela presença de zonas de cisalhamento transcorrente que se constituem nas principais feições regionais observadas na área de estudo e adjacências, como já assinalado em trabalhos anteriores (GODOY 1989, HACKSPACHER *et al.* 1993, WERNICK *et al.* 1993).

As zonas de cisalhamento apresentam-se como estreitas faixas, nem sempre contínuas, com larguras variáveis chegando a algumas dezenas de metros, nas quais as rochas apresentam características de aumento da deformação. A característica geométrica planar, marcada pelo desenvolvimento de foliação milonítica bastante penetrativa, com mergulhos de alto ângulo e forte orientação preferencial, faz com que as zonas de cisalhamento delimitem domínios estruturais, blocos ou compartimentos tectônicos, dentro dos quais os conjuntos de rochas foram menos afetados pelo regime de transcorrência. Do norte para o sul da área estudada, configuram-se três zonas principais de cisalhamento, duas delas de caráter ramificado, assim distribuídas (vide mapa geológico - ANEXO A):

Zona de Cisalhamento de Moreiras (ZCTM) - situada mais ao norte, estendendo-se desde Votorantim até a localidade de Piraporinha (centro-oeste da área de estudo), onde converge e se une à Zona de Cisalhamento de Pirapora (descrita a seguir). Possui orientação NE-SW, localmente passando a NNE-SSW, com desenvolvimento discreto e descontínuo de faixas miloníticas; em geral, as rochas associadas caracterizam-se como protomilonitos.

Zona de Cisalhamento de Pirapora (ZCTP) - corta a área de estudo aproximadamente na sua porção central, com orientação ENE-WSW, expressando-se como forte lineamento fotogeológico delimitando o flanco sul-sudeste do Maciço São Francisco, e discretas faixas de deformação concentrada principalmente nos metassedimentos do Grupo São Roque.

Zona de Cisalhamento de Taxaquara (ZCTT) - situada mais ao sul da área, estendendo-se da localidade de Boa Vista de Baixo (próximo à Cidade de Piedade) até o Bairro dos Barros, já em direção à Pilar do Sul. Caracteriza-se pela formação de faixas mais contínuas com

desenvolvimento de milonitos a partir de metassedimentos e rochas granitóides do Maciço Piedade. Representa também um importante elemento tectônico que separa grupos de rochas metassedimentares com diferentes características estruturais e metamórficas.

Foram estabelecidos quatro domínios estruturais abrangendo o conjunto de rochas referente ao embasamento cristalino para a análise dos elementos de natureza dúctil e dúctil-rúptil, tomando as principais zonas de cisalhamento transcorrente como limites para cada domínio. Os domínios estruturais também foram utilizados como referência para a análise dos elementos de natureza rúptil, neste caso envolvendo os demais litotipos e prolongando hipoteticamente os limites das zonas de cisalhamento nas porções de área em que estas são recobertas pelos sedimentos do Subgrupo Itararé e demais coberturas. De norte para sul, estes domínios distribuem-se da seguinte forma (FIGURA 3):

- i) *domínio Votorantim* - abrange o conjunto de rochas situado ao norte da área de estudo, limitado em grande parte (entre as localidades de Santa Helena e Piraporinha) pela Zona de Cisalhamento de Moreiras, e pela terminação da Zona de Cisalhamento de Pirapora (a oeste próximo a Salto de Pirapora).
- ii) *domínio Pirapora* - englobando uma pequena porção de metassedimentos do Grupo São Roque e, principalmente, rochas granitóides pertencentes ao Maciço São Francisco, situados entre a Zona de Cisalhamento de Moreiras e a de Pirapora.
- iii) *domínio Fazendinha-Jurupará* - abrange um extenso e variado conjunto de rochas compreendidas entre as Zonas de Cisalhamento de Pirapora e de Taxaquara.
- iv) *domínio Pilar do Sul* - refere-se às rochas aflorantes ao sul da Zona de Cisalhamento de Taxaquara.

Ao longo dos domínios estruturais acima descritos, foram reconhecidas três fases de deformação no contexto dúctil a dúctil-rúptil. A primeira fase (**F_n**) foi responsável por dobramentos locais do acamamento sedimentar (**S₀**), envolvendo o desenvolvimento da foliação tectono-metamórfica (**S_n**) e de uma lineação mineral e de estiramento referida no presente trabalho como **L_n**. A segunda fase (**F_{n+1}**) caracteriza-se pelo desenvolvimento de dobras de estilo bastante variado sobre a foliação anterior (**S_n**), com desenvolvimento local de foliação de plano axial (**S_{n+1}**), às vezes de crenulação, geralmente verticalizada. Notadamente, a frequência e a intensidade dos dobramentos aumenta em direção às zonas de cisalhamento como resultado de efeitos transpressivos, observando-se uma transição gradual da foliação **S_{n+1}** de caráter mais dúctil para uma foliação milonítica (**S_m**) de característica dúctil-rúptil.

Figura 3. Mapa esquemático da área estudada mostrando a compartimentação em domínios estruturais delimitados pelas principais zonas de cisalhamento (ZCTM, ZCTP e ZCTT). A linha tracejada acompanhada por pontos configura o limite aproximado da Bacia do Paraná.

Da mesma forma, a foliação anterior S_n é fortemente condicionada por esta foliação milonítica, à qual se associa também o desenvolvimento da lineação de estiramento assinalada como L_c . A terceira fase (F_{n+2}) tem penetratividade limitada e caracteriza-se por dobras suaves e *kinks* sobre a foliação S_{n+1} e sobre a foliação milonítica S_m . Aos planos axiais destas feições associa-se o desenvolvimento local de clivagem espaçada e/ou de crenulação, discreta e/ou zonal.

Não obstante à intensa deformação sofrida pelos metassedimentos, a observação e a descrição de estruturas sedimentares foram possíveis (Capítulo 5), assim como foram utilizadas

durante a análise estrutural feições primárias tais como o acamamento reliquiar S_0 e feições de topo e base das camadas.

A aplicação de método gráfico para determinação da direção de paleoesforços e demais procedimentos adotados para a análise das feições de natureza rúptil possibilitou o reconhecimento de pelo menos seis regimes de esforços vinculados provavelmente a lapsos de tempos distintos correspondentes à fases de deformação diferentes. Foram caracterizados dois regimes de esforços extensionais e quatro regimes compressivos, dois deles com características indicativas de transcorrência.

6.1 TECTÔNICA DÚCTIL E DÚCTIL-RÚPTIL

Como mencionado no início deste capítulo, para fins de análise foi adotada uma categoria ampla que abrange as feições dúcteis e aquelas referentes ao campo de transição dúctil-rúptil, o que levou em conta o caráter polifásico e/ou progressivo da deformação, assinalado por diversos autores em âmbito local e regional (HASUI 1973, 1975; CARNEIRO 1983; STEIN 1984; HASUI *et al.* 1989; IG/SMA 1990; CAMPOS NETO *et al.* 1990; HACKSPACHER *et al.* 1993). As principais feições estruturais são apresentadas de forma descritiva, levando em consideração aspectos importantes como geometria, disposição espacial, efeitos decorrentes da superposição de eventos (RAMSAY 1960, RAMSAY 1967, RAMSAY 1980, RAMSAY & HUBER 1987), vergência de dobras e foliações (BELL 1981), assim como os elementos utilizados como critérios na determinação do sentido de movimento e direção de transporte das massas rochosas (indicadores cinemáticos), observados tanto em escala macro, meso e microscópica (HANMER & PASSCHIER 1991). Por fim, é efetuada uma breve discussão acerca dos elementos estruturais apresentados, suas relações com os eventos deformativos e inserção no contexto regional.

Seguindo critérios de homogeneidade como mencionado no Capítulo 2, item 2.6, os elementos planares e lineares foram analisados e subdivididos em domínios para cada conjunto semelhante, tratados estatisticamente e representados na forma de projeções estereográficas em diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior (FIGURAS 4 a 12).

A análise estrutural permitiu o reconhecimento de três fases de deformação associadas a metamorfismo regional de baixo grau e metamorfismo dinâmico sobre o conjunto de rochas analisado, registrando-se também a ocorrência discreta de metamorfismo termal. Cabe ressaltar no entanto, que em boa parte da área estudada, o estudo individualizado das foliações não foi possível. Esta dificuldade pode ser atribuída aos efeitos de superposição de estruturas,

principalmente aqueles promovidos pelo cisalhamento transcorrente, com tendência à verticalização e paralelização das foliações pretéritas, além de redobramentos. Em muitos locais, o acamamento reliquiar e/ou as relações entre as foliações não puderam ser reconhecidos, observando-se em afloramento apenas uma clivagem ardosiária, xistosidade ou bandamento diferenciado, o que tornou extremamente difícil ou mesmo temerário, vincular a foliação observada a uma ou outra fase de deformação. Este tipo de situação foi mais freqüente nos domínios estruturais ao sul da área de estudo (domínios Pirapora, Fazendinha-Jurupará e Pilar do Sul), razão pela qual parte dos dados referentes a estes domínios foram tratados e representados em estereogramas agrupadamente.

Por outro lado, em determinados locais, principalmente no domínio Votorantim ao norte, o reconhecimento de forma individualizada das foliações S_n , S_{n+1} e S_n condicionada pela foliação milonítica S_m foi efetuado com sucesso.

6.1.1 Fase F_n

A fase de deformação F_n compreende a foliação tectono-metamórfica principal (S_n) observada ao longo de toda a área, associada a uma lineação de estiramento e/ou mineral (L_n), e dobramentos locais do acamamento sedimentar original (S_0).

6.1.1.1 FOLIAÇÕES

A foliação S_n é representada por uma clivagem ardosiária, que localmente pode evoluir para uma xistosidade, para um bandamento diferenciado ou composicional. A foliação é dada principalmente pelo alinhamento de filossilicatos, e pela alongação de grânulos e seixos de quartzo e feldspato segundo direção preferencial de orientação. Apresenta-se sub-paralela ou levemente oblíqua ao acamamento reliquiar S_0 , tanto em afloramento quanto em lâmina. O desenvolvimento de clorita, biotita e mica branca (sericita-muscovita) está associado à foliação S_n , indicando um metamorfismo em condições de fácies xisto-verde como assinalado por outros autores (CAMPOS NETO *et al.* 1983, CAMPOS NETO *et al.* 1990, OLIVEIRA *et al.* 1992, HACKSPACHER 1994). Essa foliação é observada em praticamente todos os litotipos associados ao Grupo São Roque, sendo melhor identificada no domínio estrutural Votorantim (localidades de Santa Helena, Capuavinha e Ponte Alta) e domínio Pilar do Sul. No domínio Votorantim, a foliação S_n (FIGURA 5) apresenta direção geral NE-SW, passando para ENE-WSW nas vizinhanças das zonas de cisalhamento, localmente adquirindo direções N-S e E-W em função de dobramentos em escala local. Os mergulhos são bastante variáveis, predominantemente de médio a alto ângulo (entre 45 e 80°) para SE, verificando-se uma intensificação da

clivagem/xistosidade S_n em direção às faixas miloníticas, registrando-se mergulhos mais altos (geralmente acima de 70°) para NW. O estereograma correspondente à foliação S_n na FIGURA 5 indica uma possível estruturação em leque da foliação, apontando uma vergência NW de possíveis dobras D_n sobre o acamamento original S_0 como abordado a seguir neste mesmo item.

Os altos mergulhos ou até mesmo a verticalização dessa foliação são decorrentes dos efeitos superimpostos pela transcorrência. Em determinadas porções do domínio Votorantim e, principalmente, nos domínios Pirapora e Fazendinha-Jurupará, as observações de campo e de lâmina petrográfica indicaram a presença de duas foliações apenas em escala local e de maneira esparsa, o que não possibilitou a individualização das diferentes foliações e, por conseguinte, a extrapolação dos dados por extensões de área mais significativas e para o contexto do domínio estrutural. Por esta razão, o tratamento e representação dessas estruturas agrupadamente demonstrou-se mais adequado. Dessa forma, os estereogramas da FIGURA 7 apresentam a foliação S_n condicionada pela foliação milonítica S_m (descrita a seguir no item 6.1.2), subverticalizada e fortemente orientada na direção NE-SW, juntamente com a foliação S_{n+1} também descrita a seguir. Tal procedimento não parece ter prejudicado a interpretação, considerando que os eventos foram progressivos entre si, e que nos domínios estruturais citados, as relações geométrico-espaciais pretéritas foram fortemente afetadas pelos efeitos do cisalhamento transcorrente.

Já no domínio Pilar do Sul (FIGURA 6) observa-se que a foliação S_n apresenta um comportamento distinto em relação ao restante da área de estudo, com orientação estatística preferencial segundo a direção NW-SE e mergulhos relativamente mais baixos (em geral, entre 25° e 60°) predominantemente para NE, e em alguns poucos locais para ENE, ESE e SW provavelmente refletindo dobras menores.

6.1.1.2 DOBRAS

As possíveis dobras D_n afetam o acamamento original S_0 e, quando observáveis em afloramento, apresentam-se em escala milimétrica a decimétrica contidas na foliação principal (S_n), ou mais raramente, como dobras menores (parasíticas) de dimensões métricas com orientação do plano axial subparalela ao S_0 nos flancos. São dobras fechadas a isoclinais com espessamento da charneira, adelgaçamento e até rompimento dos flancos em alguns locais (dobras similares ou anisópacas, classe 2 e classe 1C de RAMSAY 1967). Microscopicamente, podem estar representadas por microdobras fechadas a isoclinais em filmes de opacos (microestilólitos) com plano axial em baixa obliquidade em relação ao S_0 , ou por vezes, o próprio S_0 apresenta-se

afetado por microdobras apertadas e isoclinais com flancos rompidos, formando um pequeno ângulo com S_0 original. Ao norte da área de estudo, no domínio estrutural Votorantim, entre a cidade homônima e a localidade de Santa Helena, o comportamento da foliação S_n e do acamamento reliquiar S_0 , e de forma mais restrita as relações estratigráficas entre os litotipos, indicam a possível existência de uma macrodobra (dimensões hectométricas) com flanco superior invertido associada ao evento D_n . A charneira desta possível estrutura estaria situada na localidade de Santa Helena, abrangendo as Minas do Baltar, da Placa e do Pastinho (vide ANEXO A, mapa geológico e perfil P1-P1') onde as associações de litofácies constituídas por rochas metacarbonáticas e metapelitos finos, e por metarenitos quartzosos ocupariam o núcleo de uma feição sinclinal, provavelmente afetada por redobramentos e efeitos de rotação durante a transcorrência que alteraram a configuração e relações geométricas originais. Figuras e padrões de interferência entre dobras de diferentes fases (no caso, dobras D_n e dobras D_{n+1}) foram observados na localidade acima mencionada e em Piraporinha, como assinalado anteriormente em IG/SMA (1990). Os aspectos mencionados acima são novamente discutidos no item 6.3.

Os estereogramas da FIGURA 10 referem-se a possíveis dobras D_n observadas em escala de afloramento, cujos planos axiais apresentam mergulhos da baixo a médio ângulo (35 a 55°) e orientação estatística preferencial para SSW mais freqüentemente. Os eixos têm caimentos variando de sub-horizontal (entre 10 e 15°) para NNE e SSW, a inclinado (até 65°) para SSE ou SSW nos domínios Votorantim e Fazendinha-Jurupará. Os dados referentes ao acamamento S_0 nos domínios Votorantim e Pirapora representados nos estereogramas da FIGURA 4 e também o da foliação S_n no domínio Votorantim (FIGURA 5) parecem indicar uma superfície afetada por dobramentos de característica cilíndrica, com vergências predominantemente para NNW mas também para SSE. A ausência de planos horizontais e a dispersão observada nos dados, insinuando padrões de guirlanda em pequeno círculo, pode ser atribuída a redobramentos, o que corrobora o que foi exposto acima.

6.1.1.3 LINEAÇÕES

Associada provavelmente à fase D_n , observa-se uma lineação mineral e de estiramento com caimentos variando entre 15° e 50° predominantemente para S e SSW nos domínios Votorantim e Pirapora (FIGURAS 5 e 6), e localmente para SW e ENE. Esta lineação (L_n) nem sempre é observada ao longo da área de estudo, podendo ser, às vezes, confundida com a lineação de estiramento (L_c) originada pelo cisalhamento transcorrente, sendo observada com maior freqüência nos domínios estruturais referidos acima. Essas feições lineares também indicam

os efeitos produzidos em fases de deformação posteriores, seja por redobramentos (RAMSAY 1960) ou por rotações em regime de cisalhamento não-coaxial (RAMSAY & HUBER 1983, 1987). Observa-se primeiramente que, os estereogramas das FIGURAS 5 e 6, referentes a lineação Ln (Votorantim e Pirapora), apresentam atitudes muito próximas dos eixos de dobras Dn (FIGURA 10). Observa-se também que a trajetória do lugar geométrico definido pelas concentrações máximas de pólos da lineação Ln no domínio Votorantim (FIGURA 5) pode ser coincidente com um trecho de grande círculo, o que representaria a deformação de lineações sobre uma superfície afetada por dobras similares segundo RAMSAY (1960). A dispersão observada no estereograma de Ln da FIGURA 7 para o domínio Pirapora pode ter sido provocada por redobramentos, insinuando uma figura em pequeno círculo, o que estaria associado a deformações por dobras concêntricas segundo o mesmo autor.

No domínio Pilar do Sul, a lineação Ln tem comportamento distinto em relação ao restante da área, como acontece com a foliação Sn. Neste, a lineação Ln apresenta caimentos entre 5° e 20° para NW (FIGURA 6).

6.1.1.4 INDICADORES CINEMÁTICOS

Os indicadores cinemáticos referentes à fase Fn fornecem movimentações de caráter sinistral, provavelmente para o quadrante norte (corroborado também pela vergência das estruturas). As feições mesoscópicas compreendem estruturas S-C, deflexões e sigmóides centimétricos a decimétricos da foliação Sn (BERTHÉ *et al.* 1979, VERNON *et al.* 1983, LISTER & SNOKE 1984 *apud* HANMER & PASSCHIER 1991) em alguns locais nos domínios Votorantim e Pilar do Sul, ocorrendo inclusive em litotipos não-associados ao Grupo São Roque. As feições microestruturais observadas incluem a presença de microdobras apertadas sem raiz, algumas de caráter intrafolial ou com suposto plano axial de baixa obliquidade em relação ao acamamento reliquiar So, associadas à fase Fn e indicando movimentação sinistral (FOTOS 02 e 05), em litotipos siliciclásticos e carbonáticos impuros associados ou não ao Grupo São Roque (filitos, metamargas, metapsamitos e metapelitos associados). Algumas feições S-C e possíveis microduplexes observados em seções delgadas dos litotipos citados, fornecem indicações de movimentação sinistral. Em metargilitos maciços a laminados (4.2.3) aflorantes ao norte da localidade de Santa Helena, foram observados agregados de material policristalino muito fino

Figura 4 . Comportamento do acamamento sedimentar S_0 nos domínios estruturais Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará nos quais foi observado.

Figura 5 . Comportamento da foliação S_n e da lineação de estiramento L_n associada, no domínio estrutural Votorantim.

Figura 6. Comportamento da foliação S_n e da lineação de estiramento L_n associada, no domínio estrutural Pilar do Sul.

Figura 7. Comportamento da foliação S_{n+1} e da foliação S_n condicionada pela foliação milonítica S_m nos domínios Votorantim, Fazendinha-Jurupará e Pirapora, neste último incluindo a lineação de estiramento L_n associada ao S_n .

(sericita e outros minerais não identificados) nas porções adjacentes a porfiroclastos ou cristais maiores de minerais opacos com forma sub-elipsoidal, deformados e rotacionados. O material apresenta características de recristalização a partir de reações com a matriz (FOTO 06), podendo ser considerado como sombras de pressão (HANMER & PASSCHIER 1991). A indicação do movimento é sinistral, ainda que esta afirmação não possa ser tomada como conclusiva, dada a natureza um tanto quanto ambígua do próprio indicador e a observação efetuada em uma única lâmina petrográfica de amostra orientada.

6.1.2 Fase F_{n+1}

A fase F_{n+1} configura-se como o mais importante e mais penetrativo evento de deformação que atuou na área em apreço, responsável em grande parte pela estruturação de todo o conjunto de rochas ocorrentes na região. Esta fase foi responsável pela formação de dobras normais com foliação de plano axial inclinada a subvertical, que afetaram tanto o acamamento original S_0 quanto a foliação tectono-metamórfica anterior S_n e, principalmente, pelo desenvolvimento das zonas de cisalhamento transcorrente e estruturas associadas (foliação milonítica e lineação de estiramento). Observa-se em mapa (ANEXO A), que existe um nítido padrão amendoado de distribuição dos litotipos, com algumas unidades de rocha exibindo forma lenticularizada e padrões sigmoidais, demonstrando o forte condicionamento exercido pelo cisalhamento transcorrente de natureza destrai. A formação de rochas miloníticas propriamente ditas, é verificada com maior frequência junto à Zona de Cisalhamento de Taxaquara, sendo mais comum a presença de protomilonitos onde as características da rocha original ainda foram preservadas.

6.1.2.1 FOLIAÇÕES

A foliação S_{n+1} caracteriza-se mesoscopicamente como uma clivagem espaçada de espessura milimétrica, definida pela orientação de filossilicatos, por vezes, de plano axial associada às dobras ou, menos frequentemente clivagem de crenulação e de transposição (FOTO 38). No domínio Votorantim, onde foi melhor observada, os mergulhos são geralmente altos (entre 60° e 75°) para SSE (orientação preferencial estatística, FIGURA 7). Em grande parte dos domínios estruturais apresenta um comportamento verticalizado, em especial, nas proximidades das zonas de cisalhamento, onde as orientações preferenciais estatísticas apontam uma disposição segundo a direção NE-SW e mergulhos predominantemente para SE e SSE, condicionada à estruturação regional (vide estereogramas da FIGURA 7 referentes à foliação milonítica S_m ,

descrita a seguir). Localmente a foliação S_{n+1} pode evoluir para um bandamento diferenciado de espessura milimétrica a decimétrica, observando-se a transposição da foliação S_n e também do acamamento S_0 com formação de megalitons e micrólitos lenticulares, no interior dos quais encontram-se preservados os referidos elementos planares pretéritos, como também foi observado em IG/SMA (1990).

As feições microscópicas correspondem à orientação preferencial de sericita e quartzo alongado, de opacos e epidoto em menor proporção, por vezes desenvolvendo um fino bandamento textural e composicionalmente diferenciado. Eventualmente em alguns litotipos, clorita e biotita podem estar associadas à foliação S_{n+1} (em algumas lâminas observam-se estes minerais orientados segundo duas direções, uma delas correspondendo a uma discreta clivagem de crenulação, FOTO 12). As assembléias minerais encontradas nos litotipos associados ao Grupo São Roque e relacionadas à esta fase de deformação, também são indicativas de um metamorfismo regional em condições de fácies xisto verde, mas com características retrógradas (haja vista a pervasiva cloritização de biotitas) como assinalado por alguns autores (JULIANI *et al.* 1986, CAMPOS NETO *et al.* 1990)

6.1.2.2 DOBRAS

As dobras **D_{n+1}** ocorrem principalmente em escala desde centimétrica a hectométrica, podendo atingir dimensões quilométricas, correspondendo em grande parte aos sinformes e antiformes representados no mapa e perfis geológicos (ANEXO A). São dobras de estilo e geometria variáveis, que refletem possivelmente uma passagem gradativa para o regime transcorrente-transpressivo apontado em diversos trabalhos (HASUI *et al.* 1989; HACKSPACHER *et al.* 1992a, 1992b; HACKSPACHER *et al.* 1993; HACKSPACHER 1994). Dessa forma, são observadas em escala de afloramento, dobras fechadas a abertas com desenvolvimento de foliação oblíqua ao acamamento reliquiar S_0 nos flancos, dobras isópacas, ou ainda, dobras fechadas a isoclinais com espessamento da charneira e associadas com o desenvolvimento de clivagem de transposição (dobras similares ou anisópacas, variando da classe 2 à classe 1C, e também dobras paralelas 1B de RAMSAY 1967). Os planos axiais possuem orientação NE-SW acompanhando o comportamento da foliação S_{n+1} (FIGURA 11), com mergulhos predominantemente altos a subverticais (acima 70°) para SE e SSE, principalmente nas feições com maiores dimensões, mas podendo apresentar variações locais dos mergulhos para N, NW e NNW. Os eixos apresentam em geral pequeno caimento (entre 10° e 20°) para SW e com variações locais do ângulo e da direção de caimento (FIGURA 11).

Em mapa (ANEXO A), as dobras D_{n+1} são representadas por um conjunto de sinformes e antiformes alternados (padrões em dobras escalonadas), que podem estar associados à uma possível feição anticlinal de caráter regional abrangendo mais de um domínio estrutural, como discutido a seguir no item 6.3. As dobras observadas no mapa geológico e perfis (ANEXO A), apresentam característica ligeiramente assimétricas, com amplitudes e comprimentos de onda que podem variar de algumas dezenas até centenas de metros. As evidências apontam uma gradação na forma, orientação e geometria dos dobramentos D_{n+1} na medida em que eles se intensificam em direção às zonas de cisalhamento, como mostra o esboço na FIGURA 27. Notadamente, os comprimentos de onda tornam-se mais curtos enquanto que, numa relação inversa, a amplitude dos dobramentos varia implicando em transições da geometria cilíndrica para cônica e, conseqüentemente, mudanças no estilo dos dobramentos. Quanto a estes aspectos, é interessante notar que, em algumas porções da área, como nos domínios estruturais Votorantim e Fazendinha-Jurupará, os planos axiais e eixos de dobras D_{n+1} apresentam-se encurvados, provavelmente pela superimposição dos efeitos do cisalhamento transcorrente e também da fase subsequente D_{n+2} . Nas proximidades da Mina de Salto (localidade de Piraporinha), junto ao corpo de rochas granitóides do Maciço São Francisco, delimitado pela Zona de Cisalhamento de Moreiras, observam-se num mesmo local padrões de dobramento variáveis, ocorrendo dobras apertadas com espessamentos de charneiras ao lado de dobras isópacas de perfil aproximadamente simétrico (FOTOS 36 e 37). Os planos axiais são orientados na direção ENE e também NE, com mergulhos subverticais a altos (entre 85° e 65° para NNW, SE e SSE) e eixos com pequeno caimento para SW (FIGURA 11, estereogramas referentes ao domínio Pirapora). Estas dobras estão associadas ao fechamento uma feição sinforme de extensão local (PERFIL P2-P2', ANEXO A) envolvendo padrões em "M" e "W", refletindo provavelmente o contraste de competência e respostas diferenciadas à deformação entre os litotipos envolvidos e, o próprio caráter progressivo da deformação associada à esta fase, que parece envolver transição de condições dúcteis para dúcteis-rúpteis, e significativas permutas na orientação espacial entre os tensores de compressão máxima, mínima e intermediário, relacionados tanto ao alojamento do Maciço São Francisco, quanto à implantação de condições transpressivas, ou ambos.

As dispersões de dados verificadas nos estereogramas da FIGURA 11 referentes aos planos axiais e eixos de dobras D_{n+1} podem estar relacionadas aos aspectos acima mencionados.

FOTO 36. Biotita-clorita filitos bandados com dobras apertadas associadas à Dn+1. Local: PS234 (Mina de Salto).

FOTO 37. Dobras isópocas de perfil aproximadamente simétrico, também associadas à Dn+1, no mesmo local da foto anterior.

FOTO 38. Metassiltitos laminados mostrando relações entre as foliações Sn e Sn+1 (sub-vertical). Local: PS123 (Represa de Prainha - Sta. Helena).

FOTO 39. Metadolomitos exibindo plano de falha com superposição de estrias. As estrias com caimento para lado esquerdo da foto indicam movimentos sinistrais e são mais antigas, associadas ao regime de compressão NE-SW (C2). As estrias com caimento para lado direito da foto são posteriores e destrais, associadas ao regime de compressão NW-SE (C3). Local: PS156 (Mina Baltar).

FOTO 40. Rocha metabásica com detalhe de plano estriado, associado ao regime de compressão N-S (C1). Movimento sinistral. Local : PS035 (Bairro da Ilha).

FOTO 41. Falhas de baixo ângulo com preenchimentos por calcita, associadas ao regime de extensão NNW-SSE (E1). Observar fragmentos de metacalcário, basculados "em dominó" para a direita. Falhas normais associadas com espaçamento centimétrico e grande penetratividade são perpendiculares ao plano da foto e do afloramento. Local: PS187 (Mina de Pastinho).

FOTO 42. Falhas normais mencionadas na foto ao lado, exibindo deslocamentos centimétricos.

FOTO 43. Veios *en-echelon* nos metadolomitos. Feições associadas ao regime de compressão NE-SW (C2). Movimentação sinistral. Local: PS209 (Mina do Pastinho).

FOTO 44. Crescimento de cristais fibrosos de calcita sobre plano estriado indicando movimentação dextral. Feições associadas ao regime de compressão NW-SE (C3). Metadolomitos. Local: PS157 (Mina Baltar).

FOTO 45. Composição fotográfica mostrando conjugado de falhas associado ao regime de compressão NW-SE (C3). Os rejeitos são centrimétricos a métricos deslocando porções de filito em meio a metarenitos feldspáticos. A falha situada do lado direito da foto apresenta componente sinistral e corresponde à direção R' do conjugado de Riedel. A falha do lado esquerdo tem componente dextral e corresponde à direção R. Local: PS070A (Piraporinha)

FOTO 46. Veios *en-echelon* preenchidos por calcita, associados ao regime de compressão E-W (C4), indicando movimentação dextral. Rocha metabásica. Local: PS035 (Bairro da Ilha).

FOTO 47. Conjugado de falhas em médio e baixo ângulo, associados à fase de compressão E-W (C4). Observar fraturas adjacentes a um dos planos, com disposição *en-echelon*, indicando a posição dos quadrantes extensionais. Filitos ardosianos. Local : PS241 (Mina de Placa).

6.1.2.3 ZONAS DE CISALHAMENTO TRANSCORRENTE

As zonas de cisalhamento transcorrente constituem-se nas principais feições regionais ocorrentes na área de estudo, como mencionado no início deste Capítulo, e estão relacionadas à fase de deformação F_{n+1} . Apresentam-se como estreitas faixas, nem sempre contínuas, com larguras variáveis chegando a algumas dezenas de metros, forte orientação preferencial segundo as direções NE-SW e ENE-WSW, marcadas pelo desenvolvimento de foliação milonítica (**S_m**) com mergulhos de alto ângulo e lineação de estiramento (**L_c**) sub-horizontal, muito penetrativas ao longo de toda a área estudada. De norte para sul da área estudada, configuram-se três zonas principais de cisalhamento como descritas a seguir (vide ANEXO A e FIGURA 3):

A **Zona de Cisalhamento de Moreiras (ZCTM)** está localizada mais ao norte, possuindo orientação NE-SW, localmente passando a ENE-WSW, com desenvolvimento discreto e descontínuo de faixas miloníticas, cujas espessuras não excedem 300 a 350 m (em geral, as rochas associadas caracterizam-se como protomilonitos, envolvendo principalmente os metassedimentos associados ao Grupo São Roque). A caracterização do movimento foi possível através de feições mesoscópicas e microscópicas, onde os indicadores cinemáticos (discutidos a seguir) apontam uma movimentação de caráter dextral. Registram-se ao longo da ZCTM ocorrências esparsas de rochas hornfêlsicas. Estas, estão limitadas a algumas faixas de litotipos metacarbonáticos em contato com as rochas granitóides do Maciço São Francisco na localidade de Piraporinha (Mina de Salto e lavra desativada da Minercal), com espessuras da ordem de dezenas de metros, contendo granada (provavelmente grossulária), por vezes, diopsídio e epidoto.

A **Zona de Cisalhamento de Pirapora (ZCTP)** situa-se na porção central da área, com orientação ENE-WSW, expressando-se principalmente como forte lineamento fotogeológico delimitando o flanco sul-sudeste do Maciço São Francisco. Em campo, foram observadas discretas faixas de deformação concentrada, principalmente nos metassedimentos do Grupo São Roque (filitos e metarenitos feldspáticos), com modestas espessuras de rochas protomiloníticas (inferiores a 200 m). Os indicadores cinemáticos são tênues e ocorrem com menor frequência ao longo da ZCTP, apontando movimentações predominantemente dextrais.

A **Zona de Cisalhamento de Taxaquara (ZCTT)** está situada mais ao sul e a sudeste da área de estudo, configurando uma feição tectônica que separa conjuntos de rochas metassedimentares com diferentes características estruturais e metamórficas, como mencionado no Capítulo 4. Trata-se da zona de cisalhamento mais proeminente, de fácil caracterização em campo devido à formação de faixas mais espessas (entre 250 e 700 m) e contínuas com desenvolvimento de rochas protomiloníticas, milonitos e até blastomilonitos em metassedimentos (filitos,

metarritmitos, metarenitos feldspáticos a arcoseanos e metassiltitos associados ao Grupo São Roque, xistos e rochas gnáissicas não associados ao referido Grupo) e em rochas granitóides do Maciço Piedade. As transformações minerais associadas ao metamorfismo dinâmico envolvem a remobilização e recristalização de quartzo e sericita. As observações de campo e os elementos microestruturais apontam uma movimentação de caráter destral, originada por um regime de cisalhamento não-coaxial, com desenvolvimento de domínios transpressivos locais ao longo da ZCTT e cuja caracterização foi feita através dos diferentes tipos de feições descritos a seguir no item 6.1.2.4.

Associado à fase de deformação D_{n+1} e ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento, ocorre uma foliação milonítica (**Sm**) que se intensifica nas faixas de alta deformação, localmente recuperando as foliações anteriores (principalmente S_n), afetando tanto os metassedimentos (associados ou não ao Grupo São Roque) quanto as rochas granitóides referentes aos Maciços Piedade e São Francisco especialmente. A foliação milonítica **Sm** caracteriza-se mesoscopicamente por um forte estiramento dos minerais segundo uma direção preferencial, com formação de uma conspícua lineação (**Lc**) indicando uma deformação acentuada. Em afloramento, por vezes, observa-se a deflexão e/ou truncamento dos elementos planares pretéritos, com a foliação milonítica superimposta às foliações precedentes, produzindo o fatiamento e imbricação de porções da rocha original com feições de lenticularização, conferindo um padrão textural anastomosado. A foliação milonítica ao longo de toda área apresenta um comportamento espacial bastante pervasivo (FIGURA 8), caracterizado por orientação estatística preferencial nas direções ENE-WSW com variações para NE-SW, e mergulhos altos a sub-verticais (geralmente entre 70° e 85°) em metassedimentos e médios a altos (entre 55° e 75°) em rochas granitóides, ora para NW ora para SE. Em seções delgadas, a foliação milonítica está representada pelo alinhamento preferencial de porfiroclastos de quartzo e feldspato, por vezes rotacionados e desenvolvendo franjas assimétricas de material recristalizado que se constituem em importantes indicadores cinemáticos (6.1.2.4); e por bandas neoformadas por recristalização dinâmica de quartzo e sericita-muscovita., orientadas subparalelamente às direções de elongação máxima dos cristais e grãos.

A lineação de estiramento (**Lc**) associada a esta fase de deformação tem caráter bastante penetrativo, é uma das principais feições vinculada aos efeitos do cisalhamento transcorrente, e corresponde ao alongamento de cristais e agregados de minerais, formas aciculares e alinhamento de lentes rochosas. Sua origem é mecânica, materializando o eixo X da deformação (de maior estiramento) que indica a direção de transporte de massas rochosas. A lineação de estiramento **Lc**

apresenta direção predominante ENE-WSW com caimentos geralmente baixos (entre 5° e 30°) para SW ou NE. O comportamento da lineação Lc é bastante uniforme ao longo dos três domínios estruturais nos quais foi observada (Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará) e similar ao comportamento do eixo das dobras Dn+1 (FIGURAS 8 e 11).

6.1.2.4 Indicadores Cinemáticos

Dentre as várias feições estruturais observadas, algumas possuem especial interesse pois são indicativas da rotação que acompanha o processo de cisalhamento não coaxial (HASUI & COSTA 1991). Foram observadas feições indicativas do sentido de movimentação e da direção geral de transporte das massas rochosas em escala mesoscópica (em afloramento e amostras de mão), e principalmente em nível microscópico (microtectônica).

As principais feições mesoscópicas observadas em afloramento foram feições do tipo S-C com a foliação milonítica associada à fase Dn+3 envolvendo uma foliação preexistente nos filitos e metarritmitos próximos à Zona de Cisalhamento de Taxaquara e nas adjacências do corpo de rochas granitóides destacado do Maciço São Francisco nas localidades de Jurupará e Piraporão, assim como também foram observadas bandas extensionais de cisalhamento (WHITE *et al.* 1980, BERTHE *et al.* 1979, PLATT & VISSERS 1980 *apud* HANMER & PASSCHIER 1991). No domínio Fazendinha-Jurupará, são observados, com pouca frequência, pequenos arrastos da foliação (“*drags*” de dimensões centimétricas a decimétricas) associados à Fase Fn+1, revelando um comportamento dúctil-rúptil da deformação (FOTO 34). Todas essas feições forneceram indicação de movimentação destrai. No Bairro dos Leites a sudeste da área, em litotipo granitóide associado ao Maciço Piedade, foram observados porfiroclastos de feldspato rotacionados, exibindo franjas assimétricas de material recristalizado (quartzo e sericita) com tênue geometria em plano (“*in-plane*”) ou tipo δ (FOTO 35), indicando também movimentação destrai (PASSCHIER & SIMPSON 1986 *apud* HANMER & PASSCHIER 1991).

As feições microestruturais foram observadas em diferentes litotipos associados ao Grupo São Roque, especialmente nos tipos siliciclásticos e carbonáticos impuros como metarenitos quartzosos e feldspáticos a arcoseanos (4.2.1), quartzo-filitos e biotita-clorita filitos bandados (4.2.4) e metamargas (4.2.7), incluindo uma significativa variedade de indicadores cinemáticos, como listados a seguir:

a) *Feições S-C e Bandas extensionais de cisalhamento.* Arranjos texturais planares foram observados em seções de alguns dos litotipos acima citados, na forma de duas direções preferenciais de orientação mineral que formam entre si um ângulo entre 30° e 45°. Esta feição é

especialmente pronunciada quando há formação de bandas realçando as direções “S” e “C”, como nos tipos mais psamíticos (metarenitos quartzosos e arcoseanos, FOTOS 07 e 08) e mistos com maior contraste de competência entre níveis de diferentes composições (metamargas). A foliação na direção “C” caracteriza-se pela orientação de minerais placóides (geralmente micas) ou de porções estreitas (faixas) de material recristalizado com diferenças composicionais, que contornam cristais maiores ou porções formadas anteriormente à milonitização, originando uma textura em padrão anastomosado. Por outro lado, a foliação na direção “S” é marcada por uma orientação oblíqua de cristais inequidimensionais de quartzo, micas ou opacos, algumas vezes configurando um padrão sigmóide (HANMER & PASSCHIER 1991). Nas lâminas de amostras orientadas, a presença dessas feições indicou um sentido de movimentação destral para as Zonas de Cisalhamento de Taxaquara e de Moreiras. Também foram observadas bandas extensionais de cisalhamento em quartzo-filitos (localidade de Santa Helena, FOTO 04) e também em metamargas (localidade de Piraporinha) ambos situados nas proximidades da Zona de Cisalhamento de Moreiras, exibindo geometrias ligeiramente assimétricas e orientadas dentro de um intervalo angular entre 90° e 135° em relação à direção C (aproximadamente a mesma que a direção geral de fluxo não-coaxial (HANMER & PASSCHIER 1991), também indicando movimentação destral.

b) *Microdobras*. Este tipo de microestrutura foi observado com relativa freqüência nos litotipos constituídos por leitos e bandas de composições, texturas e propriedades reológicas diferentes entre si, como metadolomitos/metacalcilutitos, metamargas e metapsamitos/metapelitos associados. Microdobras fechadas a apertadas em veios de quartzo formados num período pré-deformação foram observadas nesses litotipos. Apresentam-se muitas vezes com ápices agudos, espessamentos de charneiras e flancos inferiores rompidos paralelamente à direção “C” de cisalhamento. Este tipo de microdobra indicou predominantemente uma rotação horária (FOTOS 03, 13 e 14), como também foi observado por HACKSPACHER (1994).

c) *Franjas ou Asas assimétricas de material recristalizado*. Além da presença de porfiroclastos “alados” em litotipos granitóides em escala mesoscópica, e que foram acima mencionados, tais feições destacaram-se como um dos principais indicadores cinemáticos em nível microscópico nos metassedimentos associados ao Grupo São Roque. Observou-se o desenvolvimento de franjas *assimétricas de material recristalizado* (quartzo e sericita) geralmente com geometria em degrau (“*stair-step*” ou tipo σ , PASSCHIER & SIMPSON 1986 *apud* HANMER & PASSCHIER 1991), em grãos deformados de quartzo dispersos numa matriz muito fina em quartzo-filitos e filitos sericíticos (4.2.4) junto à Zona de Cisalhamento de Moreiras. Nestes locais, a rotação dos

clastos, juntamente com o material recrystalizado, geram um padrão sigmoidal para o conjunto, indicando movimentação dextra. Feições similares são observadas na localidade de Leites, junto à Zona de Cisalhamento de Taxaquara, em metarenitos arcoseanos (4.2.1), onde se destacam porfiroclastos de plagioclásio e de quartzo rotacionados, com formação de franjas assimétricas de material recrystalizado (quartzo e a sericita) indicativas de movimentação dextra (FOTO 08).

d) *Micas pisciformes* (“mica-fish”, LISTER & SNOKE 1984 apud HANMER & PASSCHIER 1991). Na localidade de Leites, na mesma ocorrência em metarenitos arcoseanos, alguns cristais alongados e assimétricos de muscovita apresentaram vergamento mineral característico da deformação plástica da rede cristalina. Estes cristais dispõem-se levemente oblíquos à direção “C” de cisalhamento, formando um ângulo entre 10° e 15° e, forneceram indicações de movimentação dextra (FOTO 10).

e) “*Kink Bands*”. Como na descrição anterior, em amostras do mesmo local e litotipo, foram observados cristais de muscovita também orientados subparalelamente à direção principal de estiramento (“C”), nos quais a extinção ondulante (originada por modificações da estrutura cristalina devido à deformação) progride para arqueamentos da clivagem em partes do cristal que são rotacionadas antiteticamente em relação ao sentido do movimento, formando superfícies nas quais o plano axial do arqueamento delimita partes de um mesmo cristal com extinções ondulantes distintas. Estas feições são conhecidas como textura em “*kink band*” e indicaram sentido de movimentação horária (FOTO 09), aspecto também observado por HACKSPACHER (1994).

6.1.3 Fase F_n+2

A Fase F_n+2 corresponde à tênue clivagem espaçada que, por vezes, corresponde ao plano axial ou clivagem de crenulação associados a dobras normais abertas e *kinks* observáveis em escala de afloramento (dimensões métricas), passando a amplas dobras regionais, com orientação aproximadamente N-S variando para NNE-SSW. São estruturas que afetam as feições anteriores, tanto o acamamento sedimentar S₀ e a foliação S_n, quanto as feições de F_n+1 (foliações, dobras e até a foliação milonítica S_m), provavelmente admitindo ou “herdando” o campo de esforços da fase de deformação precedente.

Figura 8 . Comportamento da foliação milonítica S_m e da lineação de estiramento associada (L_c) ao longo dos quatro domínios estruturais.

Figura 9. Comportamento da foliação S_{n+2} nos domínios estruturais Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará onde foi observada.

Figura 10. Planos axiais e eixos de possíveis dobras D_n nos domínios Votorantim e Fazendinha-Jurupará.

Figura 11. Planos axiais e eixos de dobras D_{n+1} nos domínios Votorantim, Pirapora e Fazendinha-Jurupará.

Figura 12. Planos axiais de dobras D_{n+2} nos domínios Pirapora e Fazendinha-Jurupará onde foram observadas.

6.1.3.1 FOLIAÇÕES

A foliação S_{n+2} é também caracterizada mesoscópicamente pelo alinhamento de minerais micáceos (notadamente sericita-muscovita) em espessuras submilimétricas. Esta feição planar é bem menos penetrativa que as demais, apresentando orientação N-S a NNE e mergulhos variáveis (de 40° a subverticais) predominantemente para ESE ora para WNW (FIGURA 9). Localmente, a foliação S_{n+2} representa uma clivagem de crenulação discreta ou zonal que corta obliquamente os planos axiais de dobras D_{n+1} . Em seção delgada, correspondem a clivagens espaçadas percoladas por óxido de ferro ou de plano axial associadas a microdobras abertas sobre foliações pretéritas e venulações.

6.1.3.2 DOBRAS

Associadas à fase de D_{n+2} observam-se dobras normais, suaves e abertas, cujos planos axiais apresentam direção de orientação preferencial estatística predominantemente NNE-SSW e mergulhos variando de médio a subvertical (entre 50° e 80°) para WNW (FIGURA 12). Alguns poucos sinformes e antiformes assinalados no mapa geológico (ANEXO A) podem corresponder à essas estruturas. Nesses locais, os dobramentos são amplos, com planos axiais sub-verticais de orientação N-S a NNE e eixos sub-horizontais (Minas do Pastinho e Baltar - FOTO 32, na localidade de Santa Helena), ou há formação de *kinks* como em quartzo-filitos situados no entorno do Maciço São Francisco (também em Santa Helena e na localidade de Jurupará).

6.2 TECTÔNICA RÚPTIL

A análise estrutural das feições de caráter rúptil foi efetuada com o intuito principal de caracterizar os regimes de esforços vigentes na geração das respectivas feições, procurando-se reconhecer a cronologia relativa dos eventos e campos de tensões associados. O estabelecimento dessa cronologia relativa teve por base a superposição de estrias sobre um mesmo plano de falha; relações de corte e deslocamento entre estruturas geradas por um mesmo regime ou por diferentes regimes de esforços; e relações geométricas e angulares entre as diferentes famílias de estruturas (sistemas de juntas, especialmente).

Os dados coletados em campo correspondem aos litotipos referentes ao embasamento cristalino (metassedimentos do Grupo São Roque e rochas granitóides do Maciço São Francisco, em grande parte) e aos sedimentos do Subgrupo Itararé (mais frequentes em lamitos e siltitos

maciços). Como já mencionado no Capítulo 2, item 2.6, os trabalhos de gabinete envolveram a aplicação de método para determinação gráfica das direções principais de esforços e procedimentos afins em populações de dados referentes a planos de falhas e respectivas estrias de atrito. As famílias de juntas também foram utilizadas para a determinação de campos de esforços, sendo para tanto empregados dados referentes aos sistemas de juntas que apresentaram comportamento pervasivo e direções sistemáticas ao longo da área de estudo.

O mapa de estruturas rúpteis, escala 1:50.000 (ANEXO C), representa os valores médios estatísticos de direções de planos e ângulos de mergulho encontrados para cada tipo de feição por ponto de afloramento. O mapa de estruturas rúpteis, conjugado aos diagramas contidos no ANEXO D, permitem a visualização localizada das principais estruturas que subsidiaram a análise para determinação dos regimes de paleoesforços e, conseqüentemente, suas possíveis trajetórias ao longo da área apresentadas nos mapas esquemáticos das FIGURAS 15 a 26.

6.2.1 Falhas

As falhas são discontinuidade planares de dimensões geralmente decimétricas a métricas, eventualmente decamétricas a hectométricas (representáveis em mapa), que ocorrem com freqüência ao longo de toda a área de estudo. Estas estruturas foram observadas principalmente nos três domínios estruturais situados ao norte da Zona de Cisalhamento de Taxaquara (FIGURA 3), afetando tanto as rochas do embasamento cristalino quanto os sedimentos do Subgrupo Itararé. Microfalhas são também comumente observadas em seções delgadas, deslocando o acamamento reliquiar S_0 ou foliações tectono-metamórficas, podendo algumas dessas estruturas apresentar preenchimento mineral, principalmente por quartzo e carbonatos (FOTO 14)

A movimentação ao longo das falhas é bastante diversa, podendo ter caráter essencialmente transcorrente dextral ou sinistral, normal ou reverso, ou ainda, envolvendo componentes intermediários, com predominância ora de rejeitos direcionais, ora normais. Ao longo de toda a área, foram coletados 310 dados referentes a planos de falhas, 245 dos quais (cerca de 79%) incluindo atitudes das estrias de atrito com indicação do sentido de movimento. Os diagramas de roseta apresentados na FIGURA 13 mostram a existência de três a cinco sistemas principais de direções de falhas que incluem: falhas de direção NE a ENE; falhas de direção E-W a WNW; falhas de direção N-S, falhas com direção NNE e falhas com direção NNW. Embora os dois últimos sistemas possam apenas representar variações locais do sistema com direção N-S, a análise dos regimes de esforços e correlação entre as estruturas (incluindo geometria e relações angulares), corroboram a hipótese de sistemas individualizados.

Figura 13. Diagramas em roseta das direções de FALHAS em cada domínio estrutural da área estudada. Intervalos de classe de 10° .

Figura 14. Diagramas em roseta das direções de JUNTAS em cada domínio estrutural da área estudada. Intervalos de classe de 10° .

T2425 2.2

Uma análise mais pormenorizada das direções de falhas por domínio estrutural mostra o seguinte quadro: no domínio Votorantim há uma ampla predominância das estruturas com direção ENE a NE; no domínio Pirapora destacam-se estruturas nas direções NNE, NNW e E-W a WNW; no domínio Fazendinha-Jurupará predominam as direções WNW a NW, NNW e NE. No domínio Pilar do Sul a quantidade de falhas observadas foi muito pequena.

6.2.2 Juntas

As famílias de juntas ocorrem de maneira generalizada ao longo da área estudada, afetando todos os litotipos, com dimensões que variam desde milimétricas a decamétricas, e espaçamentos centimétricos a métricos predominantemente. Os metacarbonatos e quartzo-filitos associados ao Grupo São Roque, as rochas granitóides em geral e a rocha metabásica do bairro da Ilha (Cap.4, item 4.5.1) mostraram-se como os litotipos mais prolíficos em quantidade de estruturas. Contudo, este comportamento pode refletir, tão somente, as melhores exposições de rocha sã em pedreiras e cortes de estrada.

As famílias de juntas ocorrem predominantemente na forma de juntas conjugadas de cisalhamento e juntas de extensão. Localmente algumas famílias de juntas apresentam relações angulares que permitem o seu reconhecimento como híbridas e, mais restritamente, como sistemas ortogonais vinculados a um mesmo regime de esforço (DUNNE & HANCOCK 1994, CAPUTO 1995). Foram coletados 1013 dados de juntas em rochas do embasamento cristalino (cerca de 60% em metassedimentos associados ao Grupo São Roque) e do Subgrupo Itararé. Os diagramas de roseta da FIGURA 14 mostram o seguinte comportamento das direções de juntas ao longo da área de estudo: no domínio Votorantim, destacam-se as estruturas com orientação NW e secundariamente as direções NNW e NNE; no domínio Pirapora, também são proeminentes as estruturas com direção NW, além das orientações E-W a WNW; no domínio Fazendinha-Jurupará são predominantes as estruturas nas direções WNW a NW, NE e NNW; e finalmente no domínio Pilar do Sul, as direções NW e NE são as mais freqüentes.

6.2.3 Regimes de Esforços

Através da aplicação de método gráfico para determinação de campos de tensões a partir de populações de dados de planos e estrias de falhas e do estabelecimento de cronologia relativa entre as estruturas observadas, foram reconhecidos seis regimes de esforços distintos. Cada regime corresponde, muito provavelmente, a lapsos de tempo igualmente distintos, o que permite

individualizá-los como eventos ou fases de deformação diferenciadas, não sendo descartada, no entanto, a hipótese de progressividade entre alguns dos eventos. Desta forma, através das feições observadas e distribuídas no mapa de estruturas rúpteis (ANEXO C), reconheceu-se o seguinte quadro para a tectônica rúptil na área estudada:

C1 - COMPRESSÃO N-S a NNE-SSW

O primeiro evento é deduzido pela análise do conjunto que corresponde principalmente a falhas transcorrentes sinistrais com direções preferenciais ENE (FIGURA 15), subordinadamente NE. Também associadas a este regime, ocorrem falhas de componente reversa e de componentes sinistrais com direções NE e NNE, localmente E-W a WNW. Mais raramente, foram observadas falhas direcionais de componente destrai com direção NNW, vinculadas a este evento. Os campos de esforços obtidos forneceram um eixo de compressão máxima σ_1 , horizontal, orientado segundo a direção N-S, com sensíveis variações para NNE-SSW.

A ampla predominância do caráter transcorrente e direcional das estruturas observadas levam a crer que o eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão), também deve ter se situado próximo a horizontal, com pequenas variações locais para posições intermediárias a subverticais (ANEXO D, figuras D1 a D13). As direções de paleoesforços obtidos para o regime de compressão C1 ao longo de toda a área de estudo pode ser visualizada na FIGURA 16.

E1- EXTENSÃO NNW-SSE

O segundo evento é representado por falhas com direções ENE a E-W e subordinadamente NE, com movimentação essencialmente normal, localmente podendo incluir componentes direcionais sinistrais (FIGURA 17 e ANEXO D, figuras D14 a D21). Os campos de esforços obtidos indicam eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão), com orientação horizontal segundo a direção NNW-SSE e σ_1 predominantemente vertical, havendo entretanto, evidências tênues de que localmente ou em determinado lapso de tempo houve permuta entre posições de tensores (compressão máxima σ_1 , sub-horizontal orientado aproximadamente na direção E-W, e intermediário σ_2 , sub-vertical). Esta situação parece corresponder à ocorrência de material brechado na Mina do Pastinho (localidade de Santa Helena), onde fragmentos de tamanhos variados de metacalcário envoltos por uma massa de calcita apresentam-se rotacionados para a direita, orientados aproximadamente segundo falhas irregulares de baixo ângulo na direção N-S com caimentos para E ou W. Este sistema de baixo ângulo parece estar associado a falhas de movimentação normal, sub-verticais, de orientação ENE sub-paralela à foliação tectônica no

FIGURA 15. Falhas de direção NE a ENE e caráter transcorrente sinistral associadas ao regime de compressão (C1), domínio Votorantim. Projeção ciclográfica, diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 16. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de compressão C1 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

FIGURA 17. Falhas normais de direção ENE a E-W associadas ao regime de extensão (E1), domínio Votorantim. Projeção ciclográfica, diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 18. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de extensão E1 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

FIGURA 19. Falhas de direção WNW a E-W e caráter transcorrente sinistral associadas ao regime de compressão (C2), domínio Pirapora. Projeção ciclográfica, diagrama Schimidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 20. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de compressão C2 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

local, com um espaçamento penetrativo da ordem de 10 a 15 cm e que, apesar de deslocarem o outro sistema apresentam nítida continuidade entre os preenchimentos por calcita (FOTOS 41 e 42 e ANEXO D, figura D21). O mapa esquemático da FIGURA 18 apresenta as direções de paleoesforços obtidos para o regime de extensão E1.

C2 - COMPRESSÃO NE-SW

O terceiro evento compreende o conjunto constituído predominantemente por falhas transcorrentes sinistrais com direção WNW e E-W (FIGURA 19), subordinadamente ENE, e falhas direcionais de componente sinistral de direção WNW. Secundariamente, ocorrem estruturas de direções N-S e NNW a NW com deslocamentos destrais, componentes reversas e, mais raramente, normais. Alguns planos referentes a estas estruturas apresentam mergulhos de médio a baixo ângulo. As estruturas referentes a este evento foram geradas, e algumas podem ter sido reativadas, por um campo de esforços com compressão máxima σ_1 em atitude horizontal na direção NE-SW, e eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão) na direção NW-SE em atitude similar. Localmente, o σ_3 parece assumir posições intermediárias a subverticais implicando a presença de estruturas de componente reversa. O mapa esquemático da FIGURA 20 apresenta as direções de paleoesforços obtidos para o regime de compressão C2. (Vide FOTO 43 e ANEXO D, figuras D22 a D45).

C3 - COMPRESSÃO NW - SE

Dentro da cronologia relativa estabelecida na área de estudo, este quarto conjunto compreende falhas de direção predominantemente ENE, subordinadamente NE e E-W, com movimentações de caráter essencialmente transcorrente destal (FIGURA 21) ou direcionais de componente destal, algumas apresentando planos com mergulhos de médio a baixo ângulo. Também estão associados a este evento falhas de direção NE com componente reversa, e conjugados de falha apresentando orientações entre NNE-NNW de componente sinistral e WNW-NW de componente destal (FOTO 45 e ANEXO D, figura D57). Mais restritamente, foram observadas famílias de juntas conjugadas de cisalhamento com orientação E-W e NW que podem estar vinculadas a este evento. Os diagramas referentes a este regime de esforços encontram-se no ANEXO D, figuras D 46 a D65.

Grande parte das estruturas associadas a este regime de esforços foram originadas por reativações de estruturas instaladas anteriormente como indicam os diversos planos com superposição de estrias de atrito. Os campos de tensões obtidos e a posição da bissetriz de

ângulos agudos em conjugados de falha e juntas de cisalhamento indicam compressão máxima σ_1 em atitude horizontal, na direção NW-SE, e eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão) na direção NE-SW, que localmente pode assumir posições verticalizadas gerando estruturas em baixo ângulo e de componentes reversas. A FIGURA 22 apresenta mapa esquemático contendo as direções de paleoesforços obtidos para o regime de compressão C3.

E2- EXTENSÃO WNW-ESE

O quinto conjunto de estruturas compreende essencialmente falhas com movimentação normal (FIGURA 23), em alguns locais apresentando componentes sinistrais e destrais, de direções predominantemente N-S e NNE, subordinadamente NE e NNW. Destaca-se também um grande número de juntas de extensão com direção N-S incluindo pequenas variações na orientação para um ou outro quadrante (ANEXO D , figuras D66 a D79).

Os campos de tensões obtidos por método gráfico e as relações espaciais em juntas de extensão indicam o eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão) orientado sub-horizontalmente, segundo a direção WNW-ESE, com variações locais para WSW-ENE. O eixo de compressão máxima σ_1 ter-se-ia posicionado em atitude predominantemente vertical, mas podendo ocupar também posições intermediárias. A distribuição das direções de paleoesforços referentes ao regime de extensão E2 podem visualizadas na FIGURA 24.

C4 - COMPRESSÃO E - W

O conjunto mais recente de estruturas rúpteis observado na área de estudo, compreende falhas de caráter transcorrente destal (FIGURA 25) e reverso, e ainda falhas direcionais de componente destal, orientadas predominantemente na direção NNE, variando em alguns locais para NNW e NE. Vinculadas a este evento, observam-se juntas de extensão com direção aproximadamente E-W, e uma grande quantidade de juntas conjugadas de cisalhamento com direções ENE a NE e WNW a NW, cujos planos apresentam mergulhos bastante variáveis, tanto de médio a alto ângulo quanto de baixo ângulo. Estas famílias de juntas conjugadas apresentam valores de ângulo agudo entre si num intervalo entre 30° e 60°, o que pode incluir algumas estruturas na categoria de híbridas. Vale destacar que, em determinados locais, principalmente sobre rochas granitóides e metacarbonáticas maciças, foram observados sistemas de juntas sub-verticais em arranjo aproximadamente ortogonal (principalmente nas direções E-W e N-S, e também NNE-WNW) e com complexas relações de corte entre si, que podem corresponder a

FIGURA 21. Falhas de direção ENE com caráter transcorrente destral associadas ao regime de compressão (C3), domínio Votorantim. Projeção ciclográfica, diagrama Schimidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 22. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de compressão C3 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

FIGURA 23. Falhas normais e de componente normal predominante com direção NE associadas ao regime de extensão (E2), domínio Fazendinha-Jurupará. Projeção ciclográfica, diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 24. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de extensão E2 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

FIGURA 25. Falhas de direção NE a NNE com caráter transcorrente destal associadas ao regime de compressão (C4), domínio Votorantim. Projeção ciclográfica, diagrama Schimidt-Lambert, hemisfério inferior, e direções de paleoesforços obtidos por método gráfico.

FIGURA 26. Mapa esquemático mostrando a distribuição das direções principais de paleoesforços relacionados ao regime de compressão C4 na região entre Pilar do Sul e Votorantim. (Denominações e limites dos domínios encontram-se na FIGURA 3).

sistemas ortogonais de juntas de extensão contemporâneos (CAPUTO 1995), supostamente gerados durante a vigência deste regime de esforços.

Os campos de tensões obtidos a partir de falhas e estrias e o posicionamento da bissetriz do ângulo agudo de juntas conjugadas de cisalhamento (FOTO 47), indicam o eixo de compressão máxima σ_1 orientado horizontalmente na direção E-W com pequenas variações locais para WNW-ESE. A orientação do eixo de tensão principal mínima σ_3 (extensão) parece sofrer significativas variações, passando de posições horizontalizadas, com as quais estariam associadas as juntas de extensão E-W, para posições sub-verticais gerando estruturas de componentes reversas. Outro tipo de arranjo, implicando posições intermediárias do eixo de extensão máxima σ_3 , ou mesmo a permuta deste com σ_2 , pode estar representado por juntas de baixo ângulo (conjugadas ou não) com orientação E-W, nas quais observa-se a presença de feições extensionais sobre a superfície do plano (DUNNE & HANCOCK 1994). Tais feições correspondem a “*ribs*” e eixos de estruturas plumosas cujas atitudes são compatíveis com a orientação aproximadamente E-W do eixo de compressão máxima σ_1 (ANEXO D, figura D81). Os diagramas referentes ao regime de compressão C4 encontram-se no ANEXO D, figuras D80 a D98 e, as direções dos paleoesforços na FIGURA 26. (Vide também FOTO 46).

6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TECTÔNICA DA ÁREA ESTUDADA

A análise estrutural dos elementos de natureza dúctil e dúctil-rúptil indica uma evolução tectônica que compreende pelo menos duas etapas com características cinemáticas distintas mas progressivas entre si. Na primeira etapa, considera-se que os metassedimentos associados e não-associados ao Grupo São Roque foram afetados por deformação associada a uma cinemática de baixo ângulo correspondente à fase **Fn**, desenvolvendo as dobras **Dn** e, provavelmente contemporâneos à geração da foliação **Sn**, cujas feições observadas são indicativas de fluxo dúctil lateral com movimentação sinistral. As evidências, ainda que não possam ser tomadas como conclusivas, indicam um possível transporte de massas rochosas para o quadrante norte (possivelmente NNW a NW) acompanhado de encurtamento tectônico na direção NW-SE ou N-S, produzindo dobras apertadas, por vezes com flancos invertidos e/ou rompidos, e lineação de estiramento (**Ln**). Os comportamentos do acamamento reliquiar **S₀** e da foliação **Sn** (no domínio Votorantim principalmente) indicam a possível existência de dobras **Dn** com vergências para NNW. A atitude dos planos axiais de dobras atribuídas a essa fase (domínios Votorantim e

Fazendinha-Jurupará) e da lineação **L_n** no domínio Pilar do Sul, corroboram a possibilidade acima mencionada.

Entretanto, cabe assinalar que todas as feições originadas pela deformação **D_n** foram afetadas pelas fases de deformação posteriores, com indicações de que os elementos planares e lineares originais sofreram, em maior ou menor grau, os efeitos produzidos por redobramentos e por rotação horária, além de pronunciada tendência à verticalização de planos de foliação e superfícies de acamamento primário. Dentro dessa primeira etapa de evolução tectônica, provavelmente em condição sin-cinemática, ocorreu o alojamento das rochas granitóides do Maciço Piedade, que apresentam características texturais e estruturais distintas dos demais maciços e indicativas de profundidades crustais maiores.

A segunda etapa da história deformacional da área diz respeito à fase de deformação **F_{n+1}**, que envolveu uma cinemática de alto ângulo, verificada na presença de foliações sub-verticais em todos os litotipos metassedimentares, afetando também em graus diferenciados as rochas granitóides de todos maciços, à exceção do Maciço Pilar do Sul, que não apresenta indícios conclusivos de uma deformação de natureza tectônica atuante. As características das feições associadas à fase **F_{n+1}** apontam uma movimentação destal e a passagem gradual de um estágio dúctil de caráter regional para uma condição dúctil-rúptil, provavelmente relacionada à formação de zonas de cisalhamento transcorrente em níveis crustais mais rasos. A fase **F_{n+1}** é assinalada pelo desenvolvimento progressivo de dobras normais (**D_{n+1}**), às quais se vincula uma foliação de plano-axial (**S_{n+1}**) de mergulhos altos a sub-verticais, evoluindo para a foliação milonítica (**S_m**), extremamente pervasiva ao longo de toda a área, com orientação preferencial estatística segundo as direções ENE-WSW e NE-SW e mergulhos sub-verticais. Sobre a foliação milonítica (**S_m**) é observa-se a lineação de estiramento (**L_c**) com caimentos baixo ângulo para SW-WSW ou NE-ENE. Existe uma grande compatibilidade entre as posições espaciais de planos axiais e eixos de dobras **D_{n+1}**, da foliação **S_{n+1}**, da foliação milonítica (**S_m**) e lineação de estiramento (**L_c**). A progressividade da deformação **F_{n+1}** e o desenvolvimento de domínios transpressivos, podem ser reconhecidos pela tendência geral de intensificação dos dobramentos em direção às zonas de cisalhamento (FIGURA 27), assim como pela mudança de atitude da foliação milonítica (direção e mergulhos), acompanhada de encurvamentos locais das faixas miloníticas, alguns dos quais podem ser visualizados no mapa geológico (ANEXO A), como ao longo da Zona de Cisalhamento de Taxaquara. Outro aspecto relativo à progressividade da deformação, refere-se à presença de dobras abertas e “*kinks*” sobre a própria foliação milonítica **S_m**, associados ao desenvolvimento de clivagem de plano axial, de crenulação discreta ou zonal,

clivagens de fratura ou espaçadas, com mergulhos altos a sub-verticais que, cortam obliquamente as feições de D_{n+1} e também de D_n . Estas estruturas foram consideradas como um terceiro evento (F_{n+2}) com uma tendência de orientação nas direções NNE e N-S (foliação S_{n+2} e planos axiais de possíveis dobras D_{n+2}), o que admitiria os campos de esforços da fase precedente.

Figura 27. Desenho esquemático mostrando evolução das dobras D_{n+1} em direção às zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT's).

As considerações efetuadas acima confirmam as observações de diversos autores para a história deformacional e metamórfica do Grupo São Roque na região. Nos trabalhos de HACKSPACHER *et al.* (1991), OLIVEIRA *et al.* (1992), HACKSPACHER *et al.* (1992a), HACKSPACHER *et al.* (1993) e HACKSPACHER (1994) assinalam-se: **i)** a existência de uma deformação $D_{n+1/+2}$ acompanhada de metamorfismo $M_{n+1/+2}$ em condições de fácies xisto-verde no Grupo São Roque, atingindo a fácies anfibolito no Grupo Serra de Itaberaba, à qual vincula-se uma cinemática de baixo ângulo; **ii)** uma fase de deformação D_{n+3} com formação de dobras normais de foliação vertical associada a metamorfismo regional na fácies xisto-verde, seguida de regime transcorrente transtensivo inicial passando a transpressivo (associado ao alojamento de granitos), com formação de milonitos em condição dúctil-rúptil, e à qual se vincula uma cinemática de alto ângulo. Esse quadro evolutivo estaria associado à Orogênese Brasileira.

Algumas considerações acerca do comportamento dos diferentes elementos estruturais e tectônicos na área de estudo merecem destaque. Os domínios Votorantim e Pilar do Sul, situados respectivamente nas extremidades norte e sul da área de estudo (FIGURA 3), contêm feições mais preservadas dos efeitos do cisalhamento transcorrente, onde é possível reconstituir de forma mais satisfatória os elementos relativos à fase de deformação F_n , enquanto os outros domínios

(Pirapora e Fazendinha-Jurupará), situados entre as zonas de cisalhamento, parecem ter sido mais afetados, havendo portanto uma maior obliteração das feições pretéritas.

O acamamento reliquiar S_0 encontra-se mais preservado e a foliação S_n foi melhor caracterizada individualmente no domínio Votorantim, assim como foi possível identificar duas lineações de estiramento com comportamentos distintos (L_n e L_c , FIGURAS 5 e 8). Os estereogramas das FIGURAS 4 e 5 mostram que a foliação S_n tem atitudes muito próximas ao acamamento S_0 , podendo traduzir-se em pequenos dobramentos locais com leque da foliação S_n (mergulhos variando de médio a alto ângulo para SSW/SSE até subverticalizados para NNE/NNW), refletindo dobramento regional com vergência geral para NNW. Nesse domínio, entre a localidade de Santa Helena e a cidade homônima, as relações estruturais e mais restritamente as relações estratigráficas, indicam a possível existência de charneira de uma macrodobra (dimensões hectométricas), cuja geometria original foi afetada por redobramentos e pelos efeitos da transcorrência destral.

No referido trecho (vide ANEXO A; perfil P1-P1' e ANEXO B), as atitudes do plano de acamamento reliquiar S_0 , e feições de topo e base das camadas (estruturas sedimentares primárias - Capítulo 5) indicam mudanças na polaridade estratigráfica, além de evidenciarem o dobramento acima mencionado. Essas feições podem indicar a simples inversão local do flanco superior da possível dobra, ou mais provavelmente, representam a inversão de todo o conjunto de estruturas (tectono-estratigráficas) semi-regional a regional, configurando uma feição sinclinal onde as rochas metacarbonáticas, metapelitos e metapsamitos ocupariam o núcleo da estrutura (associações de litofácies B e D, correlacionadas no presente trabalho às porções superiores da Formação Voturuna e basal da Formação Pirapora seguindo as designações contidas em BERGMANN 1988 e HACKSPACHER 1994). Observa-se que, na porção situada a leste, mais próximo à Zona de Cisalhamento de Moreiras (parede sudeste e nordeste da mina do Baltar, mina da Placa e arredores, parede norte e nordeste da mina do Pastinho), o acamamento S_0 apresenta mergulhos entre 65° e 80° para SE e ESE e indicações de topo invertido para o NW. A situação de topo invertido aparentemente perdura ao longo Mina do Pastinho, onde o acamamento ainda verticalizado passa a mergulhos para SSW e NNE, estendendo-se também ao norte da represa da Prainha, já no contato entre os metassiltitos e metarritmitos (aqui correlacionados à transição da base da Formação Voturuna para o topo da Formação Estrada dos Romeiros). Em direção à Cidade de Votorantim, as camadas passam a mergulhar para N e NNE com ângulos menores alcançando litotipos representativos de porções crustais mais profundas do próprio Grupo São Roque ou transições para o Grupo Serra do Itaberaba (HACKSPACHER 1994,

HACKSPACHER *et al.* 1993, JULIANI *et al.* 1986, JULIANI 1993). Na porção inferior da mina do Baltar, o acamamento S_0 passa gradativamente a mergulhar para N e NNE/NNW (com indicações de topo normal), refletindo redobramentos por D_{n+1} e D_{n+2} .

A passagem do ápice para a base da suposta zona de charneira estende-se desde a parede NW e base da mina do Baltar, até a local onde estão as instalações da fábrica de cimento Votoran I (Bairro Santa Helena), onde o acamamento S_0 assume mergulhos verticalizados para WNW e ESE (com indicações de topo normal para ESE), descrevendo assim uma estrutura sinclinal com um dos flancos invertido.

Embora não seja possível identificar superfícies de discordância, a distribuição dos litotipos e respectivas associações de litofácies (Capítulo 5) fornecem indícios locais de repetições estratigráficas que podem alcançar conotações de âmbito regional. Assim, como foi acima sugerido, as repetições estratigráficas afetariam não só as associações de litofácies dentro próprio Grupo São Roque, como também porções basais a este (metapsamitos/metapelitos ao norte, micaxistos e gnaisses ao sul). A causa dessas repetições no empilhamento das rochas foram atribuídas no presente trabalho, inicialmente à dobras invertidas a recumbentes com inversão das estruturas em mesoescala e microescala, provavelmente associadas a cavalgamento e estruturas indicativas de encurtamento tectônico, como mencionado em EESC (1995), HACKSPACHER (1994), HACKSPACHER *et al.* (1993) e IG/SMA (1990). Nesse sentido, a possível macrodobra acima mencionada teria seu desenvolvimento no contexto da cinemática de baixo ângulo (F_n), originalmente na direção ENE-WSW ou E-W (orientação esta corroborada por dobras locais observadas no domínio Votorantim, FIGURA 10), tendo sido posteriormente afetada pela deformação D_{n+1} , provocado o deslocamento para novas posições com orientação NE-SW, seguido de rotação horária do plano axial novamente para a direção ENE. Também o comportamento lineação L_n ao longo da área (6.1.1.3) fornece indícios dos efeitos acima mencionados, sem que seja possível no entanto, acompanhar a completa trajetória do deslocamento. A estruturação regional sugerida, corresponde aos padrões de interferência entre as fases D_1 e D_2 observados por IG/SMA (1990) na região de Piraporinha (Pedreiras da Cosipa e Mineral).

Como foi mencionado anteriormente, nos domínios estruturais Pirapora e Fazendinha-Jurupará, os efeitos do cisalhamento transcorrente foram mais pervasivos, marcados inclusive pela extensa ocorrência de corpos de rochas granitóides cujo alojamento associa-se à presença das zonas de cisalhamento (HASUI 1973, STEIN 1984, GODOY 1989). Nesses domínios, predominam metarritmitos, metassiltitos e filitos correspondentes a associações de litofácies

turbidíticas e transições para o Grupo Açungui como descritas em STEIN (1984), IG/SMA (1990) e CAMPOS NETO *et al.* (1990). Feições de topo e base restringem-se praticamente a um único afloramento, onde as indicações são de polaridade normal (ANEXO B). Em nível de afloramento, observa-se predominantemente o bandamento diferenciado com características de transposição como tipo principal de foliação tectono-metamórfica, razão pela qual os dados foram tratados nos referidos domínios em um único grupo. Também observa-se o fatiamento, imbricação e lenticularização das rochas produzindo padrões amendoados ou anastomosados, que evoluem para foliações miloníticas em direção às zonas de cisalhamento. Estas feições correspondem à transposição da foliação S1 e formação de estruturas em megalitons e micrólitos citadas IG/SMA 1990. CAMPOS NETO *et al.* (1990) assinalam o incremento de uma foliação S2 e destruição macroscópica da foliação S1. Tais aspectos podem estar relacionadas à passagem gradual de um regime dúctil para dúctil-rúptil durante a Fase Dn+1 refletindo variações de profundidade crustal ao longo da área, o que corrobora as possíveis repetições estratigráficas mencionadas anteriormente.

O domínio estrutural Pilar do Sul apresenta características distintas dos demais domínios, a começar pelo conjunto de rochas que o constitui, aspecto este abordado no início do presente trabalho (Capítulo 4). Neste domínio, o acamamento sedimentar So não foi observado, e a foliação tectono-metamórfica (Sn) presente, assim como a lineação de estiramento (Ln), apresentam um comportamento que reflete muito mais a deformação associada à cinemática de baixo ângulo. Neste domínio, a foliação Sn tem orientação NW-SE com mergulhos médios a altos predominantemente para NE (FIGURA 6), delineando uma inflexão local da foliação, de caráter destral como manifestado por CAMPOS NETO *et al.* (1990). Segundo os mesmos autores, as sucessões de rochas metassedimentares que ocupam a referida porção da área estudada apresentam polaridade positiva para E. A lineação Ln é sub-horizontal com orientação NW, o que pode corresponder à uma posição mais próxima da geometria original das feições associadas à deformação Fn.

Com relação à tectônica rúptil que afetou a área em foco, a avaliação dos resultados obtidos permite afirmar que, com exceção do regime compressional de orientação N-S a NNE-SSW (C1), os demais regimes correspondem aos modelos de tectônica cenozóica propostos para outras regiões situadas no estado de São Paulo (RICCOMINI 1989, SALVADOR 1994). As direções principais de fotolineamentos e, falhas de caráter normal, inversas e de rejeito direcional com movimentação horizontal predominante observadas por MELO (1990) na área do Baixo

Ribeira, correspondem a algumas das feições descritas no presente trabalho (vide diagramas em roseta, FIGURAS 13 e 14; ANEXOS C e D)

Cabem aqui alguns comentários acerca dos sistemas de estruturas rúpteis e respectivos regimes de esforços identificados. O referido regime de compressão N-S a NNE-SSW precede os demais; contudo, é interessante assinalar que estruturas associadas a este regime de esforços não foram observadas em sedimentos do Subgrupo Itararé, o que poderia indicar uma cronologia posterior ao Permo-Carbonífero (idade estimada para a deposição daqueles sedimentos). Todavia, estruturas associadas ao regime extensional NNW-SSE foram observadas em ritmitos (que provavelmente representam a unidade basal do Subgrupo Itararé na área) aflorantes próximo à Pilar do Sul, o que se contrapõe à hipótese anteriormente citada. As relações entre a passagem do regime compressional N-S a NNE-SSW para o regime extensional NNW-SSE (E1) ainda não foram bem esclarecidas. Existe a possibilidade de que algumas das estruturas inseridas no regime extensional E1 estejam ligadas ao regime C1, ou que haja progressividade entre estes. Este é o caso, por exemplo, de falhas destrais de baixo ângulo de orientação N-S associadas à falhas normais com orientação ENE, observadas em material brechóide na mina do Pastinho e mencionadas no Capítulo 6 (6.2.3).

O conjunto mais recente de estruturas rúpteis observado, cujos campos de tensões obtidos indicam esforços compressivos segundo a orientação E-W (C4), e cujas feições observadas apresentam grande compatibilidade com a última fase de eventos neotectônicos apontada por SALVADOR (1994), parece ter um registro mais acentuado na área de estudo. Foram efetuadas observações de significativa confiabilidade em falhas direcionais e de caráter transcorrente que confirmam a predominância de movimentos destrais associados a esse evento. Por outro lado, um razoável número de estruturas observadas, indica a troca de posições entre os eixos de tensão principal mínima σ_3 (extensão) e intermediário (σ_2).

Em geral, os rejeitos de falhas observados são centimétricos a decimétricos; entretanto, a caracterização indireta em algumas estruturas indica deslocamentos de ordem métrica a decamétrica, sendo possível, por vezes, a sua visualização em mapa (ANEXO A) ou em perfil (P2-P2', por exemplo). Nesta circunstância, as feições observadas no campo correspondem a fotolineamentos com maior expressão, e chegam a deslocar moderadamente alguns contatos entre litotipos. Estruturas vinculadas ao regime compressivo C3 parecem ser as responsáveis pelo deslocamento de contatos litológicos nas localidades de Piraporinha e Jurupará com maior expressão em mapa e em perfil (ANEXO A e Perfis Geológicos P2-P2' e P3-P3'). Nas localidades citadas, conjugados de falhas indicam que as estruturas de componente dextral com orientação

WNW a NW correspondem a feições sintéticas vinculadas à direção R do conjugado de Riedel, em um modelo com binário destal, enquanto as estruturas com orientação NNW a N-S de componentes sinistrais e normais vincular-se-iam à direção R', correspondendo a feições antitéticas (FOTO 45 e ANEXO D, figuras D55 A D57).

A ampla predominância das direções NW e E-W a WNW dentre os sistemas de juntas observada nos diagramas de roseta da figura 5, aparentemente reflete a penetratividade dos dois últimos eventos de caráter rúptil (regime extensional E2 e regime compressional C4) ao longo de toda a área estudada.

CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES

O estudo realizado na região entre Pilar do Sul e Votorantim permitiu o reconhecimento de um conjunto de rochas referentes ao embasamento cristalino compreendendo metassedimentos e rochas granitóides pertencentes a diferentes maciços cuja distribuição foi fortemente condicionada por zonas de cisalhamento transcorrente. Os metassedimentos associados ao Grupo São Roque, objeto principal do estudo, ocorrem de forma relativamente contínua no trecho situado entre a Cidade de Votorantim e a Zona de Cisalhamento de Taxaquara que, por sua vez, delimita blocos tectônicos distintos.

O levantamento efetuado visando a caracterização de fácies sedimentares, permitiu o reconhecimento de quatro associações de litofácies distintas para as rochas do Grupo São Roque. As associações caracterizadas correspondem a ambientes de sedimentação que variam de marinho profundo, passando a marinho raso e marinho restrito ou marinho-lagunar. As características observadas, refletem provavelmente um caráter regressivo inicial que passa posteriormente a transgressivo, onde podem ser destacados:

- a.** litofácies A1 e A2, situadas na porção inferior da associação de litofácies A - siliciclástica basal, apresentam características de uma sucessão regressiva, enquanto as litofácies A3 a A5 sobrejacentes, são características de transgressão marinha;
- b.** características progradantes da associação de litofácies B - siliciclástica intermediária, que possivelmente avançou sobre a associação de litofácies C - carbonática impura (depositada em águas muito rasas). Este aspecto é compatível com o caráter transicional ou misto da associação de litofácies C - clasto-química transicional. Os metassiltitos presentes nas associações de litofácies B e C, podem representar uma superfície máxima de inundação no sentido de GALLOWAY (1989), delimitando um trato de sistemas transgressivo.

As associações de litofácies caracterizadas podem ser correlacionadas informalmente, com pequenas variações e algumas ressalvas, às designações utilizadas por BERGMANN (1988) e HACKSPACHER (1994) para unidades litoestratigráficas do Grupo São Roque em áreas adjacentes.

A análise estrutural e tectônica teve uma abordagem diferenciada para as feições dúcteis e ducteis-rúpteis e para as feições de natureza rúptil. Com relação aos regimes dúctil e dúctil rúptil, foram identificadas três fases de deformação associadas a metamorfismo regional em condições de fácies xisto-verde nas rochas do Grupo São Roque. A primeira fase foi vinculada a uma cinemática de baixo ângulo, com feições indicativas de cavalgamento pelo menos em escala local e, encurtamento tectônico na direção NNW-SSE. As duas fases de deformação subseqüentes foram associadas à uma cinemática de alto ângulo, de características progressivas, evoluindo de um caráter dúctil com formação de um grande número dobras e foliações de plano axial, para um caráter dúctil-rúptil com desenvolvimento de zonas de cisalhamento lateral, foliação milonítica verticalizada e lineação de estiramento, domínios transpressivos, acompanhados do alojamento de rochas granitóides. Os aspectos acima mencionados, confirmam em grande parte, as observações feitas por diversos autores no contexto regional e local (CARNEIRO 1983, IG/SMA 1990, HACKSPACHER *et al.* 1991, HACKSPACHER *et al.* 1992a, OLIVEIRA *et al.* 1992, HACKSPACHER *et al.* 1993, HACKSPACHER 1994).

Com relação à tectônica rúptil, a aplicação de método gráfico para determinação das direções principais de paleoesforços demonstrou-se bastante eficiente, sendo possível o reconhecimento de seis regimes de esforços ao longo da área de estudo, dois deles de características extensionais e quatro compressivos. As interpretações indicaram que o conjunto de estruturas relacionadas ao primeiro regime de esforços identificado na área (compressão N-S), precede os demais, que foram correlacionados aos modelos de tectônica cenozóica sugeridos para outras porções do Estado de São Paulo (RICCOMINI 1989, SALVADOR 1994).

Alguns aspectos envolvendo a tectônica da área merecem ser destacados:

- i. Dobramentos observados em escala local, associados à primeira fase de deformação, responsáveis por inversões estratigráficas, podem refletir um comportamento regional. A presença de rochas metassedimentares, cujas características levam a crer que estejam associadas a porções crustais mais profundas (metapsamitos e metapelitos correlacionáveis ao Grupo Serra do Itaberaba ao norte da área de estudo, xistos e gnaisses anfibolíticos correlacionáveis ao Grupo Açungui ao sul) corroboram essa possibilidade. As seqüências de rochas turbidíticas e micaxistos identificadas por CAMPOS NETO *et al.* (1990) na Folha Pilar do Sul, aparentemente

representam a continuidade dos ambientes deposicionais de águas mais profundas representados pela associação de litofácies A - siliciclástica basal, caracterizada no presente trabalho e aflorante na porção imediatamente ao norte da Zona de Cisalhamento de Taxaquara;

ii. A presença de rochas hornfêlsicas no contato entre o Maciço São Francisco e rochas inseridas na associação de litofácies C, junto à Zona de Cisalhamento de Moreiras, podem estar associada a períodos pretéritos da transcorrência, possivelmente associada a regimes transtrativos como assinalado por HACKSPACHER (1994), revelando também a precedência da referida zona de cisalhamento em relação às demais ocorrentes na área de estudo, aspecto este também observado por HACKSPACHER *et al.* (1993);

iii. Os *trends* faciológicos foram menos afetados pelos dobramentos e mais pela tectônica transcorrente, como é o caso na localidade de Piraporinha (porção centro-oeste da área de estudo), onde a Zona de Cisalhamento de Pirapora justapõe porções inferiores da associação de litofácies A e a associação de litofácies C. Na mesma localidade, observam-se deslocamentos dos contatos litológicos e, por conseguinte, dos limites de algumas litofácies, provocados por conjugados de falhas associados ao regime de compressão NW-SE (C3). Deslocamentos nos contatos litológicos atribuídos a este evento rúptil também são observados nas localidades de Jurupará e Piraporão, situados a sudeste da área estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGARTE, J.P.; ADDAS, W.; CUNHA, H.C.S. - 1974 - *Mapa Geológico do Projeto Sudeste do Estado de São Paulo, Esc. 1: 250.000*. São Paulo. DNPM/CPRM, 3v.
- ALLEN, J.R.L. 1984. *Sedimentary Structures: Their Character and Physical Basis. Developments in Sedimentology*. 2nd Edition, Amsterdam, Elsevier. v.1, 593p.
- ALMEIDA, F.F.M. 1955. As Camadas de São Paulo e a Tectônica da Serra da Cantareira. *Bol.SBG.*, São Paulo, 4(2): 23-40.
- ALMEIDA, F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. Inst. Geogr. Geol.*, São Paulo, 41: 169-263.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUY, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Esc. 1:500.000*. São Paulo, IPT, v.1, Nota Explicativa.

- ANGELIER, J. & MELCHER, P. - 1977 - Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull.Soc.Geól.Fr.*, **19**: 1309-1318.
- ANGELIER, J. 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, **56**: 17-26.
- ANGELIER, J. 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets. *J. geophys. Res.*, **89**: 5835-5848.
- ANGELIER, J. 1994. Fault slip analysis and paleostress reconstruction. In: HANCOCK, P.L. (ed.). *Continental Deformation*. Exeter, UK, Pergamon Press Ltd. p. 53-100.
- BATISTA, J.J. 1991. Significado tectônico das rochas metabásicas do bloco São Roque. In: SIMP.NAC.EST.TECT., 3, Rio Claro(SP), 1991. *Boletim...Rio Claro*, SBG, v.1, p.60-61.
- BATISTA, J.J.; GALIPI, D.B.; NARDY, A.J.R. 1991. Dados litogeoquímicos de metabasitos do bloco São Roque. In: CONGR.BRAS.GEOQUIM., 3, São Paulo, 1991. *Resumos...São Paulo*, SBGq, v.1, p.176-180.
- BELL, A.M. 1981. Vergence: an evaluation. *J. Struct. Geol.*, **3**(3): 197-202.
- BERGMANN, M. 1988. *Caracterização estratigráfica e estrutural da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque, região de Pirapora do Bom Jesus(SP)*. São Paulo, 164p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- BERGMANN, M. 1992. Litoestratigrafia e paleoambiente do Grupo São Roque na região do sinclínório de Pirapora(SP) - Revisão. In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp...São Paulo*, SBG, v.1, p.282-283.
- BISTRICHI, C.A. 1984. *Geologia do Sinclínório de Pirapora, SP*. São Paulo, 126p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S. de; CREMONINI, O.A.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Esc. 1:500.000*. São Paulo, IPT.v.2.
- CAMPOS NETO, M.C. & BASEI, M.A.S. 1983. Evolução Estrutural Brasileira do nordeste de São Paulo: dobramentos superpostos e esboços estratigráfico e tectônico. In: SIMP. REG. GEOL., 4. São Paulo, 1983. *Atas...São Paulo*, SBG. p. 61-78.
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; ARTUR, A.C.; SILVA, M.E.da; MACHADO, R.; DIAS NETO, C.M.; FRAGOSO CESAR, A.R.; SOUZA, A.P. 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50000, 1, São Paulo, 1983. *Atas...São Paulo*, PRÓ-MINÉRIO. p.55-79.
- CAMPOS NETO, M.C.; BERGMANN, M.; SIGA, Jr., O; FIGUEIREDO, M.C.H. 1990. *Geologia da Folha Pilar do Sul, 1:25.000*. Relatório IGUSP/PRO-MINÉRIO(inédito), V.1, Geologia, 161p.

- CAMPOS NETO, M.C. & FIGUEIREDO, M.C.H. 1992. A orogênese Rio Doce. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp....São Paulo, SBG*, v.1, p. 276-277.
- CAPUTO, R. 1995. Evolution of orthogonal sets of coeval extension joints. *Terra Nova*, 7: 479-490.
- CARNEIRO, C.D.R. 1983. *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP*. São Paulo, 155p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- COIMBRA, A.M.; GÓES, A.M.; HACHIRO, J.; SANT'ANNA, L.G.; HELLMEISTER JR., Z.; CABRAL JR., M.; MORAES, M.C.; STEFANI, F.L.; VIEIRA, P.C. 1992. Proposta de classificação integrada de rochas sedimentares clásticas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp....São Paulo, SBG*, v.2, p. 419-421.
- COLLINSON, C.D. & THOMPSON, D.B. 1989. *Sedimentary structures*. 2nd Edition, London, Unwin Hyman. 207p.
- COUTINHO, J.M.V. & COIMBRA, A.M. 1983. Brecha em Salto de Pirapora (SP): um diatrema?. In: SIMP. REG. GEOL., 4. São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, SBG. p. 223-227.
- COUTINHO, J.M.V. 1972. Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores. *Bol. IG, São Paulo* (1) : 5-99
- DANTAS, A.S.L. 1992. Geologia, estruturas e evolução tectônica da Faixa São Roque na região entre São Paulo e Mairiporã(SP). In: CONGR. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp....São Paulo, SBG*, v.2, p.132-133.
- DUNHAM, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W.E. (ed.). *Classification of Carbonate Rocks*. AAPG memoir 1, p. 62-84.
- DUNNE, W.M. & HANCOCK, P.L. 1994. Paleostress analysis of small-scale brittle structures. In: HANCOCK, P.L. (ed.). *Continental Deformation*. Exeter, UK, Pergamon Press Ltd. p. 101-120.
- ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. 1995. *Levantamento Geológico-Estrutural e Geotécnico do Maciço Rochoso da Mina de Salto (Salto de Pirapora, SP)*. São Carlos, 36p. (EESC/USP, Relatório Técnico da Disciplina SGS 812)
- FOLK, R.L. 1959. Practical petrography classification of limestones. *AAPG Bull.*, 43: 1-38.
- FOLK, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Hemphill's Book Store. 182p.
- FRANCO, R.R. 1958. Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Bol.Fac.Filos.Ciêns.Letr., USP*, São Paulo, (189):1-81. (Mineralogia, 14).
- FRASCÁ, M.H.B.O. 1992. *Petrografia e Geoquímica de Rochas Carbonáticas Pré-Cambrianas do Estado de São Paulo*. São Paulo, 168p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP)
- FU-TAI, W.; CAETANO-CHANG, M.R.; LANDIM, P.M.B. 1991. Proveniência das rochas arenosas do Subgrupo Itararé em termos de ambiente tectônico no sul do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 21(2): 127-137.
- GALLOWAY, W.E. - 1989 - Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding - surface bounded depositional units. *AAPG Bull.*, 73(2): 125 - 142.

- GAMOND, J.F. 1987. Bridges structures as sense of displacement criteria on brittle faults. *J. Struct. Geol.*, 9: 609-620.
- GINSBURG, R.N. 1975. *Tidal Deposits: A Casebook of Recent Examples and Fossil Counterparts*. Berlim, Springer-Verlag, 428p.
- GODOY, A.M. 1989. *Caracterização Faciológica, Petrográfica e Geoquímica dos Maciços Sorocaba e São Francisco, SP*. São Paulo, 220p. (Tese de Doutorado, IG-USP)
- GODOY, A.M. & FIGUEIREDO, M.C.H. 1991. Mapeamento faciológico e petrográfico dos Maciços Granitóides São Francisco e Pirapora (SP). In: SIMP. GEOL. SUDESTE, 2. São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo, SBG. p. 131-138.
- HACKSPACHER, P.C. 1994. *Tectônica Transtensiva/Transpressiva e Alojamento de Rochas Plutônicas, a exemplo da Folha Cabreúva (SP) 1:50.000*. Rio Claro, 203p. (Tese de Livre Docência, IGCE-UNESP)
- HACKSPACHER, P.C.; GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F. 1991. Tectônica transcorrente e de cavalgamento do sistema de cisalhamento do Sudeste Brasileiro. In: SIMP. NAC. EST. TECT., 3. Rio Claro, 1991. *Boletim...* Rio Claro, SBG/NSP. v.1, p. 223-230.
- HACKSPACHER, P.C.; GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F. 1992b. Geologia da Folha Pirapora(SP), 1:25.000. In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp...* São Paulo, SBG, v.2, p.127-128.
- HACKSPACHER, P.C.; GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F. 1993. Evolução crustal do Bloco São Roque na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 23(3): 260-264.
- HACKSPACHER, P.C.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F.; ARTHUR, A.C. 1992a. A tectônica transcorrente-transpressiva brasileira da Folha São Roque(SP). In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp...* São Paulo, SBG, v.2, p.348-349.
- HACKSPACHER, P.C.; OLIVEIRA, M.A.F.; GODOY, A.M. 1992c. Geologia dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na Folha Cabreúva, SP, 1:50000. In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp...* São Paulo, SBG, v.2, p.124-125.
- HANCOCK, P.L. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *J. Struct. Geol.* 7: 437-457.
- HANMER, S. & PASSCHIER, C. 1991. Shear-sense indicators: a review. *Geol. Surv. Can.*, Paper 90-17, 72p.
- HASUI, Y. & COSTA, J.B.S. 1991. *Zonas e Cinturões de Cisalhamento*. Belém, Ed. Universitária UFPA, 144p.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geol.*, S.Paulo, 6(3): 180-200.
- HASUI, Y. 1973. *Tectônica da área das folhas S.Roque e Pilar do Sul*. São Paulo, 190p. (Tese de Livre Docência - IG/USP).

- HASUI, Y. 1975a. Evolução polifásica do pré-cambriano oeste da capital paulista - *Bol.IG/USP*. 6: 95-107.
- HASUI, Y. 1975b. Geologia da Folha São Roque - *Bol. IG/USP* . 6: 157-183.
- HASUI, Y. 1985. *Novo modelo geológico do Vale do Ribeira*. S. Paulo, IPT/Pró-Minério. (IPT, Relatório nº 23742)
- HASUI, Y.; HARALY, N.L.E.; MIOTO, J.A.; SAAD, A.R.; CAMPANHA, V.A.; HAMZA, V.M.; GALLI, V.A.; FRANGIPANI, A.; PULEGHINI FILHO, P.A. 1989. *Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo. 2v. (IPT, Relatório nº 27394).
- HASUI, Y.; PENALVA, F.; HENNIES, W.T. 1969. Geologia do Grupo São Roque. In: CONGR.BRAS.GEOL., 23, Salvador, 1969. *Anais...*Salvador, SBG, v.1, p.101-134.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. & CARNEIRO, C.D.R. 1976. Considerações sobre a estratigrafia do pré-cambriano na região de São Paulo - *Bol. IG/USP*. 9: 107-113.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. 1967. O falhamento transcorrente de Taxaquara. In: CONGR.BRAS.GEOL., 21, Curitiba, 1967. *Anais...*Curitiba,SBG, p.159-168.
- HUTTON, D.H.W. 1988. Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inferences from deformation studies. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 79: 245-255.
- HUTTON, D.H.W. 1991. Emplacement studies of granitoids: mechanisms, deformation and relationship to regional tectonics. Resumo de Cursos, Durham Univ., inédito.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Esc. 1:1.000.000*. São Paulo, IPT. 2v.
- INSTITUTO GEOLÓGICO/SMA - 1990 - *Mapeamento Geológico da Folha Salto de Pirapora(SP), Escala 1:50.000*. Relatório Técnico IG/SMA/SP (inédito), v.1, 76p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO/SMA. 1995. *Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba, SP*. São Paulo. Relatório Técnico IG. 4 v.
- JULIANI, C. 1993. *Geologia, Petrogênese e Aspectos Metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na Região das Serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da Cidade de São Paulo, SP*. São Paulo, 2v, 694p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. & SCHORSCHER, H.D. 1986. Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra de Itaberaba na região de São Roque(SP). In: CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. *Anais...*Goiânia, SBG, v.2, p.730-750.
- KNECHT, T. 1943. Estaurolita da Série São Roque. *IGG, São Paulo*, 1(2): 165-168.
- KNECHT, T. 1944. Sillimanita no km20 da Via Anhanguera. *IGG, São Paulo*, 2(2): 129-132.
- MARTONNE, E. de. 1943. Problemas morfológicos do Brasil tropical Atlântico. *Rev. Bras. Geogr.*, São Paulo, 4: 523-550.

- MASSOLI, M. 1991. *Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo Itararé na região de Sorocaba - Salto de Pirapora, SP.* São Paulo, 94p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- MELO, M.S. 1990. *A Formação Pariqüera-Açu e Depósitos Relacionados: Sedimentação, Tectônica e Geomorfogênese.* São Paulo, 210p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- MIALL, A.D. - 1985 - *Principles of Sedimentary Basin Analysis.* 2ed. New York, Springer-Verlag, 490p.
- MIALL, A.D. 1988. Facies architecture in clastic sedimentary basins. In: KLEINSPEHN, K.L. and PAOLA, C. (eds.), *New Perspectives in Basin Analysis.* New York, Springer Verlag, p. 67-81.
- MODENESI, M.C. 1974. Níveis de erosão em formações superficiais na região de Itu - Salto. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 4(4): 228-236.
- MORAES REGO, L.F. - 1930 - Estados de São Paulo e Paraná. In: SFPM - *Relatório Anual do Diretor*, 1929. Rio de Janeiro, Serv.Fom.Prod.Min., 1930.
- NEVES, B.B.B & CORDANI, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Res.*, 53(1/2): 23-40.
- OLIVEIRA, M.A.F.; GODOY, A.M.; ZANARDO, A.; ARTHUR, A.C.; HACKSPACHER, P.C.; MORALES, N. - 1992 - Geologia da Folha São Roque(SP). In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Res. Exp...*São Paulo, SBG, v.2, p.126-127.
- PATERSON, S.R.; VERNON, R.H.; TOBISCH, O.T. 1989. A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *J. Struct. Geol.*, 11: 349-363.
- PELLOGIA, A.U.G. & BERGMANN, M. 1992. Aspectos da geologia do Subgrupo Itararé na região de Pilar do Sul. In: CONGR.BRAS.GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol.Res.Exp...*São Paulo, SBG, v.2, p.522-523.
- PETIT, J.P. - 1987 - Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *J.Struct.Geol.*, 9(5): 597-608.
- PETIT, J.P. & LAVILLE, E. 1987. Morphology and microstructures in "hydroplastic slickensides" in sandstone. In: JONES, M.E. & PRESTON, R.M.F. (eds.), *Deformation Mechanisms in Sediments and Sedimentary Rocks.* Geol. Soc. Special Publication No. 29, p. 107-121.
- PETIT, J.P.; PROUST, F.; TAPPONNIER, P. 1983. Critères de sens de mouvement sur les miroirs de failles en roches non calcaires. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7 Ser. XXV, p. 589-608.
- PIRES, F.A. & PETRI, S. 1991. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do médio Tietê, Estado de São Paulo. In: SIMP. GEOL. SUDESTE, 2. São Paulo, 1991. *Atas...*São Paulo, SBG. p. 391-396.
- PITCHER, W.S. 1982. Granite type and tectonic environment. In: HSU, K.J. (ed.), *Mountain Building Processes.* London, Academic Press. p. 19-40.

- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1983. *The Techniques of Modern Structural Geology, Vol.1: Strain Analysis*. London, Academic Press, 307p.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology, Vol.2: Folds and Fractures*. London, Academic Press, 391p.
- RAMSAY, J.G. 1960. The deformation of early linear structures in areas of repeated folding. *J. Struct. Geol.*, **68**: 75-93.
- RAMSAY, J.G. 1967. *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw Hill, New York, 569p.
- RAMSAY, J.G. 1980. Shear zone geometry: a review. *J. Struct. Geol.*, **2**(1/2): 83-99.
- READ, J.F. 1985. Carbonate platform facies models. *AAPG Bull.* **69**: 1-21.
- READING, H.G. - 1986 - *Sedimentary environments and facies*. Oxford, Blackwell, 615p.
- REINECK, H. & SINGH, I.B. 1980. *Depositional sedimentary environments*. 2nd Edition, New York, Springer Verlag, 549p.
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- SALVADOR, E.D. 1994. *Análise Neotectônica da Região do Vale do Paraíba compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. São Paulo, 129p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- SETZER, J. 1960. Identificação de sills de diabásio decompostos. *Bol. Soc. Bras. Geol.* **9**(1): 63-70.
- SOARES, P.P.; FIORI, A.P.; CARVALHO, S.G. 1990. Tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton São Francisco, no Maciço Guaxupé. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais...Natal*, SBG. v.7, p.63-79.
- STEIN, D.P. - 1984 - *Esboço da evolução geológica pré-cambriana da Folha Pilar do Sul, SP (SF-23-Y-C-IV-4)*. São Paulo, 148p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- STEVEAUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E.; TEIXEIRA, J.A.; LANDIM, P.M.B. 1987. Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé na bacia hidrográfica do baixo rio Capivari, SP: um modelo para prospecção de água subterrânea. In: SIMP. REG. GEOL., 6. São Paulo, 1987. *Atas...São Paulo*, SBG, v.1, p.355-374.
- TASSINARI, C.G.C. 1988. *A idade das Rochas e dos Eventos Metamórficos na Porção Sudeste do Estado de São Paulo e sua Evolução*. São Paulo, 236p. (Tese de Doutorado, IG-USP)
- TASSINARI, C.G.C.; KAWASHITA, K.; KIKUCHI. 1985. Estudo geocronológico nos metaconglomerados do Grupo São Roque, no Estado de São Paulo. In: SIMP. REG. GEOL., 5. São Paulo, 1985. *Atas...São Paulo*, SBG/NSP. v.1, p. 201-208.
- TASSINARI, C.G.C.; KAWASHITA, K.; VAN SCHMUS, R.; TAYLOR, P.N. - 1988 - As idades das rochas e dos eventos metamórficos da região sudeste do Estado de São Paulo. In: CONGR.BRAS.GEOL., 35, Belém, 1988. *Anais...Belém*, SBG, v.6, p.2840-2853.
- TJIA, H.D. 1964. Slickensides and fault movements. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **75**: 683-685.

- TJIA, H.D. 1971. Fault movement, reoriented stress field and subsidiary structures. *Pacific Geol.*, **5**: 49-70.
- WALKER, R.G. & JAMES, P. 1992. *Facies Models: response to sea level changes*. St. John's, Geol. Assoc. Can. 409p.
- WALKER, R.G. - 1984. *Facies models*. Geosci.Can.Repr.Ser., 1, 317p.
- WALKER, R.G. - 1985. Mudstones and thin-bedded turbidites associated with the Upper Cretaceous Wheeler Gorge conglomerate, California: a possible channel-levee complex. *J. Sed. Petrol.*, **55**: 279-290.
- WALKER, R.G. 1990. Facies modelling and sequence stratigraphy. *J. Sed. Petrol.*, **60**(5): 777-786.
- WERNICK, E. 1990. Zoneamento magmático regional de granitóides brasileiros no Sudeste/Sul do Brasil: implicações geotectônicas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais...Natal*, SBG. v.4, p.1668-1683.
- WERNICK, E.; HÖRMANN, P.K.; ARTUR, A.C.; FERREIRA, C.J.; GALEMBECK, T.M.B.; GODOY, A.M.; ANDRADE, F.R.D. 1993. Fases, impulsos e ciclos magmáticos em complexos granitóides associados com falhas transcorrentes, SP. *Rev. Bras. Geoc.*, **23**(3): 248-259.
- WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A.; KENDALL, C.G.S.C. (eds.). 1988. Sea Level Changes: an integrated approach. *SEPM Special Publ.* 42, 407p.
- WILSON, J.L. 1975. *Carbonate facies in Geologic History*. New York, Springer-Verlag, 471p.

ANEXO D

DIAGRAMAS DE ESTRUTURAS RÚPTEIS

CONVENÇÕES

1. Todos os diagramas apresentados correspondem à rede Schimidt-Lambert, hemisfério inferior.
2. Para os diagramas listados com letras **A** e **B**:
 - A** - populações de dados estruturais (planos e estrias de falhas) nas quais foi aplicado o método para determinação gráfica de direção de esforços (ANGELIER & MECHLER 1977). Representação com as seguintes características: de 1 a 4 dados = 1 isolinha (0 %); de 5 a 20 dados = 2 isolinhas (0 e 99.8%); > 20 dados = 3 isolinhas (0, 49.9 e 99.8%); isolinhas definem os campos com maior probabilidade de conter o eixo de compressão máxima σ_1 .
 - B** - respectivas projeções ciclográficas de planos e estrias de falhas.
3. Diagramas representando planos conjugados de falhas em projeções ciclográficas. Representação com as seguintes características: simbologia interna (seta simples) refere-se à movimentação relativa entre os blocos (movimento da capa), simbologia externa (seta dupla) refere-se ao esforço compressivo máximo σ_1 , posicionado na bissetriz do ângulo agudo entre os planos.
4. Diagramas representando famílias de juntas referem-se à projeção estereográfica dos pólos de planos das estruturas com respectivas curvas de isofrequência. A simbologia externa (seta dupla) refere-se aos esforços compressivo máximo σ_1 ou extensivo máximo σ_3 .

FIGURA D1 A

FIGURA D1 B

FIGURA D2 A

FIGURA D2 B

FIGURA D3 A

FIGURA D3 B

FIGURA D4 A

FIGURA D4 B

FIGURA D5 A

FIGURA D5 B

FIGURA D6 A

FIGURA D6 B

FIGURA D7 A

FIGURA D7 B

FIGURA D8 A

FIGURA D8 B

FIGURA D9 A

FIGURA D9 B

FIGURA D10 A

FIGURA D10 B

FIGURA D11 A

FIGURA D11 B

FIGURA D12 A

FIGURA D12 B

FIGURA D13 A

FIGURA D13 B

FIGURA D14 A

FIGURA D14 B

FIGURA D15 A

FIGURA D15 B

FIGURA D16 A

FIGURA D16 B

FIGURA D17 A

FIGURA D17 B

FIGURA D18 A

FIGURA D18 B

FIGURA D19 A

FIGURA D19 B

FIGURA D20 A

FIGURA D20 B

FIGURA D21

FIGURA D22 A

FIGURA D22 B

FIGURA D23 A

FIGURA D23 B

FIGURA D24 A

FIGURA D24 B

FIGURA D25 A

FIGURA D25 B

FIGURA D26 A

FIGURA D26 B

FIGURA D27 A

FIGURA D27 B

FIGURA D28 A

FIGURA D28 B

FIGURA D29 A

FIGURA D29 B

FIGURA D30 A

FIGURA D30 B

FIGURA D31 A

FIGURA D31 B

FIGURA D32 A

FIGURA D32 B

FIGURA D33 A

FIGURA D33 B

FIGURA D34 A

FIGURA D34 B

FIGURA D35 A

FIGURA D35 B

FIGURA D36 A

FIGURA D36 B

FIGURA D37 A

FIGURA D37 B

FIGURA D38 A

FIGURA D38 B

FIGURA D39 A

FIGURA D39 B

FIGURA D40 A

FIGURA D40 B

FIGURA D41 A

FIGURA D41 B

FIGURA D42 A

FIGURA D42 B

FIGURA D43 A

FIGURA D43 B

FIGURA D44 A

FIGURA D44 B

FIGURA D45

FIGURA D46 A

FIGURA D46 B

FIGURA D47 A

FIGURA D47 B

FIGURA D48 A

FIGURA D48 B

FIGURA D49 A

FIGURA D49 B

FIGURA D50 A

FIGURA D50 B

FIGURA D51 A

FIGURA D51 B

FIGURA D52 A

FIGURA D52 B

FIGURA D53 A

FIGURA D53 B

FIGURA D54 A

FIGURA D54 B

FIGURA D55

FIGURA D56

FIGURA D57

FIGURA D58

FIGURA D59

FIGURA D60

FIGURA D61

FIGURA D62

FIGURA D63

FIGURA D64

FIGURA D65

FIGURA D66

FIGURA D67 A

FIGURA D67 B

FIGURA D68 A

FIGURA D68 B

FIGURA D69 A

FIGURA D69 B

FIGURA D70 A

FIGURA D70 B

FIGURA D71 A

FIGURA D71 B

FIGURA D72 A

FIGURA D72 B

FIGURA D73

FIGURA D74

FIGURA D75

FIGURA D76

FIGURA D77

FIGURA D78

FIGURA D79

FIGURA D80

FIGURA D81

FIGURA D82

FIGURA D83 A

FIGURA D83 B

FIGURA D84 A

FIGURA D84 B

FIGURA D85 A

FIGURA D85 B

FIGURA D86 A

FIGURA D86 B

FIGURA D87 A

FIGURA D87 B

FIGURA D88 A

FIGURA D88 B

FIGURA D89 A

FIGURA D89 B

FIGURA D90

FIGURA D91

FIGURA D92

FIGURA D93

FIGURA D94

FIGURA D95

FIGURA D96

FIGURA D97

FIGURA D98

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO ENTRE PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP
ANEXO A

LEGENDA

LITOTIPOS

Oa SR

Oa	Depósitos aluviais
SR	Coberturas (casas) ferrugineas, provavelmente associadas a alteração de sílex de diabásio, (?) indiferenciadas

Rt Ar La/St

Sedimentos associados ao Subgrupo Itararé

Rt	Ritritos com estratificação plano-paralela, localmente com intercalações de siltitos. Raros seixos dispersos.
Ar	Abrange vários termos arenosos. Predominantemente arenitos maciços ou com estratificação plano-paralela. Em geral feldspáticos, com diferentes graus de selecionamento. Localmente termos conglomeráticos e lamitos arenosos, com seixos polifônicos de tamanho variável, intercalações de siltitos e arenitos finos laminares, e depósitos de fluxo de detritos.
La/St	Lamitos maciços com seixos arredondados polifônicos, localmente passando a siltitos.

Eon

Rochas ígneas

Eon	Blastonito
-----	------------

YPI YPS YSF YSo Ygl

Granitoides

YPI	Granito róseo, porfírico, foliado, associado ao Maciço Paraíba.
YPS	Granito róseo, equigranular a levemente inequigranular. Fino a médio, não foliado, associado ao Maciço Pilar do Sul.
YSF	Granito cinza róseo e cinza escuro esverdeado, vários termos texturais, levemente foliado nos bordos do corpo, associado ao Maciço São Francisco.
YSo	Granito róseo, em geral, porfírico, foliação incipiente, associado ao Maciço Sorocaba.
Ygl	Granitos com cor e textura variáveis, corpos de dimensões restritas e isolados, não sendo possível sua associação com alguns dos Maciços.

Mrg/slt Mrg Fil Mrl Mxi Mng

Metasedimentos Associados ao Grupo São Roque

Mrg/slt	Metarenitos, maciços ou estratificados, exibindo diferentes estruturas sedimentares, localmente conglomerático (qp) - quartzosos (fab) - feldspáticos-subarcuosos e arcuosos.
Mrg	Metargilitos maciços e laminados, passando a metassiltitos laminares, bandados com caráter rítmico. Localmente pode predominar apenas um dos termos (Mrg) ou (Msl).
Mrl	Metarritmicos, compostos por intercalações rítmicas a decimétricas de metarenito muito fino e metapelitos.
Fil	Filitos serfíticos com variações locais para quartzos-filitos (-q), termos graníticos (-g), e biotita-clorita. Filitos bandados (-cd). Inclui ainda eventuais intercalações de filitos carbonáticos e ardósianos.
Mxl/cit	Metadolomitos e metacalcilitos (dolomíticos a calcíticos). Em geral, laminado a bandado com estruturas sedimentares. Localmente maciço, por vezes, ocorrendo termos lencitoides.
Mxi	Metacalcinitos calcíticos, predominantemente maciço. Localmente laminado ou bandado.
Mng	Metangerais laminares ou bandados, compostos pela alternância de níveis micrôfônicos a decimétricos de material carbonático e clástico-pelítico. Localmente este último termo pode predominar passando a filitos carbonáticos.

Mps Mxi Gna

Metasedimentos Não Associados ao Grupo São Roque

Mps	Metapsamitos e metapelitos associados (-s)
Mxi	Metacalcinitos com intercalações de níveis pouco expressos de anfibolito.
Gna	Gnaissos bandados com predomínio de porções félsicas e frequentes intercalações de corpos de anfibolito. Localmente migmatizados e com granada.

Litotipos com ocorrência restrita

h	hornfels (metamorfismo de contato)
Mx	rocha metabásica, corpo circunscrito e isolado.
Ka	brecha alcalina, corpo circunscrito e isolado.
sp	material brechoso, originado predominantemente por tectonismo dútil, afetando diferentes litotipos.

ESCALA 1:50.000

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

Santa de Piraporã SP-270-0-0-0-0-0 CIBIC 1979	Granada SP-270-0-0-0-0-0 CIBIC 1979
Pilar do Sul SP-270-0-0-0-0-0 CIBIC 1979	Jurupará SP-270-0-0-0-0-0 CIBIC 1979

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DE SÃO PAULO

CONVENÇÕES

71	Rodovia pavimentada	71	Contato geológico observado
35	Área urbana	35	Contato geológico inferido
43	Acumulação sedimentar	43	Curvas d'água
81	Foliação tectônica	81	ESTRUTURAS
16	Linhas de estratamento	16	Faixa calcitosa/dolomítica
46	Plano axial e eixo de dobramento	46	Troncos de falha com indicação de direção de movimento quando caracterizada
		46	Troncos de fraturas magmáticas
		46	Tronco contínuo - observado
		46	Tronco descontínuo - inferido

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA SEDIMENTAR

Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo São Roque
na região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP.

PAULO CESAR FERNANDES DA SILVA

1997

MAPA DE ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES E POLARIDADE ESTRATIGRÁFICA
DO GRUPO SÃO ROQUE - REGIÃO ENTRE PILAR DO SUL E VOTORANTIM, SP
ANEXO B

ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES - LEGENDA

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES D - CARBONÁTICA IMPURA SUPERIOR

D3	Filitos ardósianos com estratificação plano-paralela, marcas onduladas assimétricas e simétricas e estruturas de contração.
D2	Metacálcnrios maciços com estrutura "fíaser" no contato basal.
D1	Metadolomitos/metacalcilitos dolomíticos com estratificação plano-paralela, laminações cruzadas de marcas onduladas, esporadicamente truncadas por ondas, estruturas de contração.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES B - SILICICLÁSTICA INTERMEDIÁRIA

B3	Metarenitos quartzosos maciços e estratificados, apresentando acanamento ondulado a lenticular com laminações cruzadas internas na base.
B2	Metargilitos maciços.
B1	Metassiltitos com laminação plano-paralela e laminação cruzada truncada por ondas.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES A - SILICICLÁSTICA BASAL

A5	Metargilitos maciços, correspondendo ao intervalo TE da sequência de Bouna.
A4	Filitos com estratificação plano-paralela, correspondendo ao intervalo TD da sequência de Bouna.
A3	Metarrititos correspondendo aos intervalos TABC da sequência de Bouna.
A2	Metarenitos quartzosos e feldspáticos a arcoseanos, maciços a levemente estratificados, com granodrecrescência ascendente e intraclastos basais.
A1	Metassiltitos com laminação plano-paralela. Laminações cruzadas em padrão binodal no topo.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES C - CLASTO-QUÍMICA TRANSICIONAL

C5	Biótitas-clorita fílitos com estratificação plano-paralela, raras marcas onduladas no contato basal.
C4	Metacalcínrios laminados com eventuais estruturas de contração.
C3	Metadolomitos, metacalcilitos e metacalcarenitos dolomíticos com estratificação plano-paralela, granodrecrescência ascendente, laminações cruzadas de marcas onduladas e intraclastos.
C2	Metanargos com estratificação plano-paralela, granodrecrescência ascendente.
C1	Metassiltitos com laminação plano-paralela e maciços.

ESCALA 1:50.000

0 1000 2000 m

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

Santa Helena 17-23-1-C-1-1-1 CIBR 1970	Santa Helena 17-23-1-C-1-1-1 CIBR 1970
Pilar do Sul 17-23-1-C-1-1-1 CIBR 1970	Juncal 17-23-1-C-1-1-1 CIBR 1970

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DE SÃO PAULO

CONVENÇÕES

Área urbana	Folhas cataclíticas/márficas relacionadas às zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT) com indicação do movimento	Contato geológico observado
Cursos d'água	ZCTM = ZCT Marinho ZCTP = ZCT Pirapora ZCTT = ZCT Teófilo	Contato geológico inferido
Plano de falha com indicação de direção de movimento quando caracterizada	Trincheiras de fraturas repetidas	
Acumulação sedimentar	Polaridade estratigráfica (indicação de topo das camadas)	
Estratificação ou laminação plano-paralela	Marcas onduladas	Sentido de paleocorrente
Acumulação ondulada a lenticular	Laminações cruzadas ("ripple drift" ou "chasing")	Estrutura "fíaser"
Granodrecrescência ascendente	Laminações cruzadas truncadas por ondas	Intraclastos
		Estruturas de contração

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA SEDIMENTAR

Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo São Roque
na região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP.

PAULO CESAR FERNANDES DA SILVA

1997

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE AFLORAMENTOS DESCRITOS EM CAMINHAMENTOS ANEXO E

CONVENÇÕES

- SP-79 Rodovia pavimentada
- Estrada de terra
- Cursos
- Área
- P-5001 Local de afloramento com descrição
- P-5002 Local de afloramento com descrição e coleta de amostra
- P-5003 Local de afloramento com descrição, coleta de amostra
- P-5004 Poço perfurado com descrição litológica
- OBS. IG = Afloramentos originalmente descritos por IG/SMA(1990)

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA S**

Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo na região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP.

PAULO CESAR FERNANDES DA SILVA

1997

Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo São Roque na região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP.

1997