

a)



b)



c)



FIGURA 5.22 - Dobras da fase de deformação D2 na Unidade Beleza do Terreno Paraíba do Sul, Arapeí (SP): a) biotita gnaíse com mármore, rio do Capitão Mór; b) rocha calcissilicática, ribeirão do Doce; c) biotita gnaíse alterado, vale do rio Capitão Mór.



FIGURA 5.23 - Afloramento de sillimanita-muscovita-biotita gnaíse milonítico do Terreno Embu, com forte lineação de estiramento subhorizontal, na Zona de Cisalhamento Rio do Gavião. Trilha do Ouro, Parque Nacional da Serra da Bocaina, S. José do Barreiro, SP.

da foliação em média de 15° para norte, gerando um padrão anastomosado ou sigmoidal neste domínio, situado por baixo do Domínio II e por cima do TPS (Anexo 1).

O contato basal do TEM com o TPS é uma estreita faixa milonítica, aqui denominada de Zona de Cisalhamento Rio do Gavião (ZCRG), em referência a um tributário do rio Mambucaba situado no Planalto da Bocaina, encaixado nesta estrutura (Anexos 1 e 2). A ZCRG possui mergulho subvertical para NW e lineação de estiramento com caimento suave, geralmente, para SW (Figura 5.23). Os poucos indicadores cinemáticos observados sugerem um movimento com componentes dextral e de empurrão com topo descendo para norte. Deste modo, a ZCRG é interpretada como uma zona de cisalhamento oblíqua de alto ângulo desenvolvida na fase D2 (Anexo 2). Esta zona possui sinais de reativações dúcteis (fase D3) e, notadamente, rúpteis (fase D4 e posterior), já que nela são encontradas texturas cataclásticas e estrias de falhas superpostas ao *fabric* milonítico D2. Importante ressaltar que a ZCRG parece corresponder à continuidade da Zona de Cisalhamento de Cubatão, limite sul do TEM (Figura 2.3).

Concluindo, percebe-se que nos quatro terrenos, as lineações de estiramento apresentam com caimentos suaves e baixa obliquidade com a foliação principal. Este comportamento, aliado ao empilhamento estrutural dos terrenos, sugere interpretar uma atuação de movimentos transpressivos com compressão NW-SE e estiramento NE-SW durante a etapa de deformação principal, não refletindo um transporte direcional predominante (Heilbron *et al.*, 2000; Eirado *et al.*, 2003).

Outra observação interessante é sobre a variação do *strike* da foliação principal (S1+S2), que muda, gradativamente, da orientação N35–40E no Domínio I Terreno Embu, situado a norte, até a direção N65–70E no Terreno Oriental, situado a sul (Figura 5.24). O motivo desta variação pode estar relacionada à época do empilhamento tectônico, resultando numa acomodação diferencial de cada terreno em relação a deformação sin-colisional. Outra

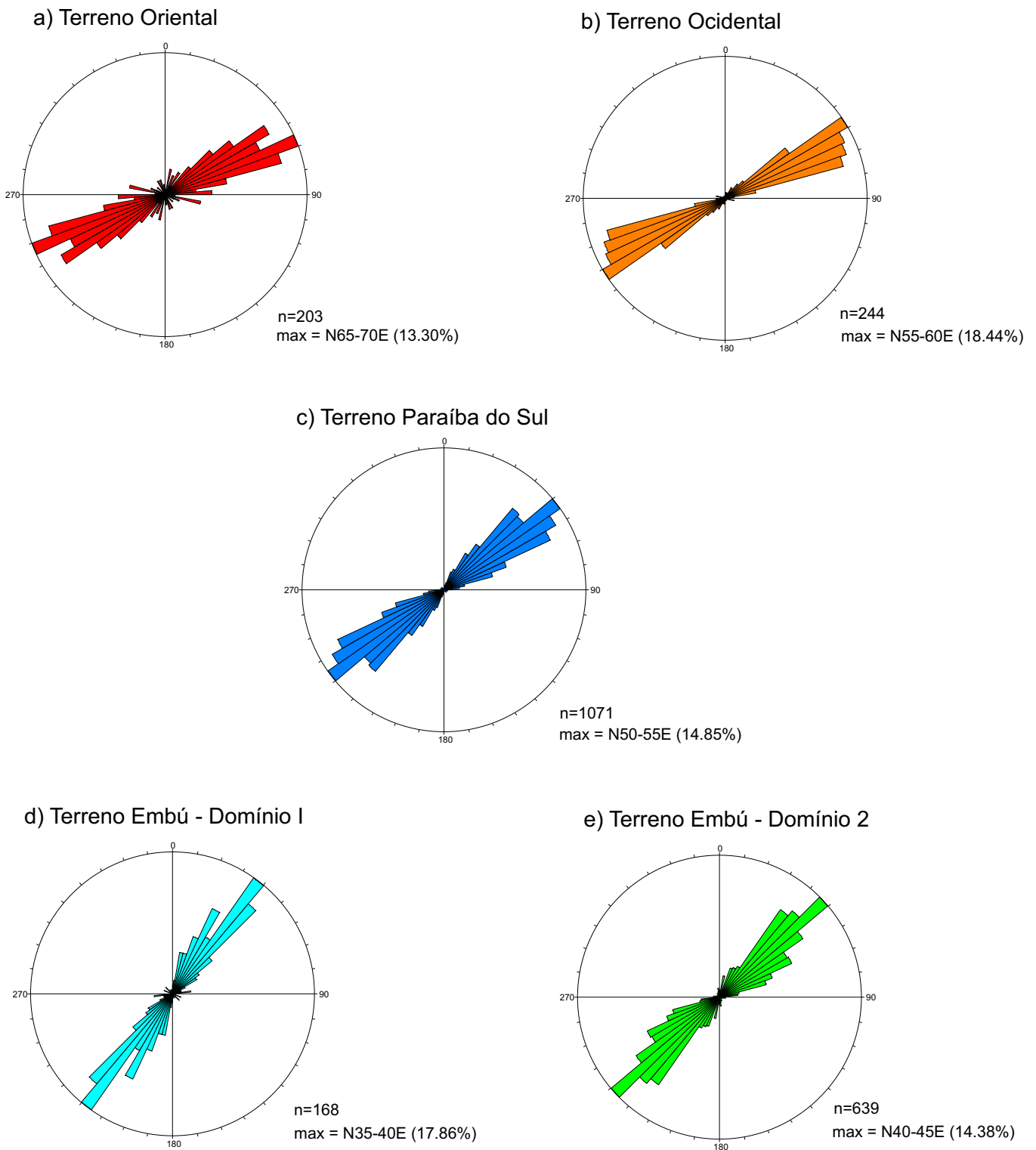


FIGURA 5.24 - Roseta de *strike* da foliação principal (S1+S2) para cada terreno tectônico (a,b,c,d,e); notar a variação gradativa na orientação da foliação, que é ENE no Terreno Oriental (máximo em N65-70E), para N40E (média) nos domínios do Terreno Embú. Em relação ao Terreno Embú, no Domínio I a direção da foliação é mais NNE, diferente do Domínio II que é N45E.

possibilidade seria a reativação tardia das discontinuidades tectônicas basais dos terrenos (empurrões e zonas de cisalhamento).

### 5.3.2 Geologia Estrutural da Deformação Tardi e Pós-colisional

As estruturas geradas na etapa de deformação principal (D1+D2) foram, posteriormente, deformadas e reativadas nas fases desenvolvidas após o ápice colisional, quando os quatro terrenos já estavam amalgamados. São reconhecidas estruturas vinculadas a duas fases de deformação distintas, relacionadas, respectivamente, às etapas tardi e pós-colisional.

#### FASE D3

Em todos os quatro terrenos abordados, as dobras são as estruturas características desta fase de deformação. Consistem em sinformais e antiformais abertos a fechados, com planos axiais íngremes, normalmente, subparalelos à foliação principal e eixos com caimentos suaves para NE ou SW (Figura 5.25). Comparado aos outros terrenos, o TEM mostra maior intensidade dos dobramentos D3, especialmente o Domínio Estrutural II (Figura 5.3e, Anexo 2c-d, e-f), em sua porção norte, setor associado à zona de charneira da Megassinforma do Paraíba do Sul, uma estrutura de caráter regional (Heilbron *et al.*, 1991).

A foliação S3 ocorre, localmente, como uma clivagem de plano axial, principalmente nos litotipos xistosos e quartzíticos. De modo geral, os mergulhos de S3 são íngremes para SE ou de médio a alto ângulo para NW (Figura 5.25). Esta variação, junto com as observações de campo, indica a tendência assimétrica das dobras D3, relacionada ao flanco sul da Megassinforma do Paraíba do Sul. As lineações L3 consistem de uma lineação de crenulação nas rochas xistosas, paralela aos eixos D3, e de uma lineação de interseção com a foliação principal. Foliação milonítica e lineação de estiramento da fase D3 ocorrem, localmente, no interior das zonas de cisalhamento subverticais de direção NE e paralelas aos planos axiais das dobras D3 (Figura 5.25).

São observados pequenos corpos e veios de leucogranito (tardi-colisional) encaixados nessas zonas de cisalhamento D3 como aqueles relatados anteriormente no TPS e TEM. Na borda norte do planalto da Bocaina, dentro da Unidade Rio Paraitinga do TEM, as zonas de cisalhamento D3 são dúctil-rúpteis, geralmente associadas às charneiras de dobras desta fase, e possuem marcante rejeito vertical. Estas zonas mostram sinais de reativações rúpteis posteriores, devido à presença de espelhos de falhas com estrias. Por fim, os limites tectônicos dos terrenos, principalmente, o LTC e a ZCRG, também apresentam registros de reativação durante a fase D3.

#### FASE D4

As estruturas típicas da fase D4 são zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis subverticais, que ocorrem sob várias orientações, porém, destacando-se a direção NW, principalmente, o intervalo N15-20W como o de maior frequência (Figura 5.26). Outras orientações comuns são N35-40W, N70-75W e, subordinadamente, N30-35E. As zonas de cisalhamento D4 de direção NW mostram movimentação, em geral, oblíqua, tanto dextral como sinistral, com importante rejeito normal. Dobras de arrasto são estruturas frequentes relacionadas ao cisalhamento D4 (Figura 5.27a).

Foram observados nessas zonas de cisalhamento pseudotaquilitos e texturas cataclásticas, denotando a transição para um nível crustal rúptil durante a etapa pós-colisional (Figura 5.27b). Como citado anteriormente, existem suspeitas que a fase D4 reativou as zonas de cisalhamento geradas nas fases principal (p. ex. ZCRG) e tardia (D3). São freqüentes os veios de leucogranitos, pegmatitos e quartzo encaixados nas zonas D4, que correspondem aos últimos produtos do aquecimento ainda vigente durante o colapso do Orógeno Ribeira, agora sob um regime tectônico distensional (Heilbron *et al.*, 2000). Deste modo, tanto as estruturas NW, transversais ao orógeno, como as pretéritas estruturas NE, parecem ter sido ativas durante o colapso da Faixa Ribeira.



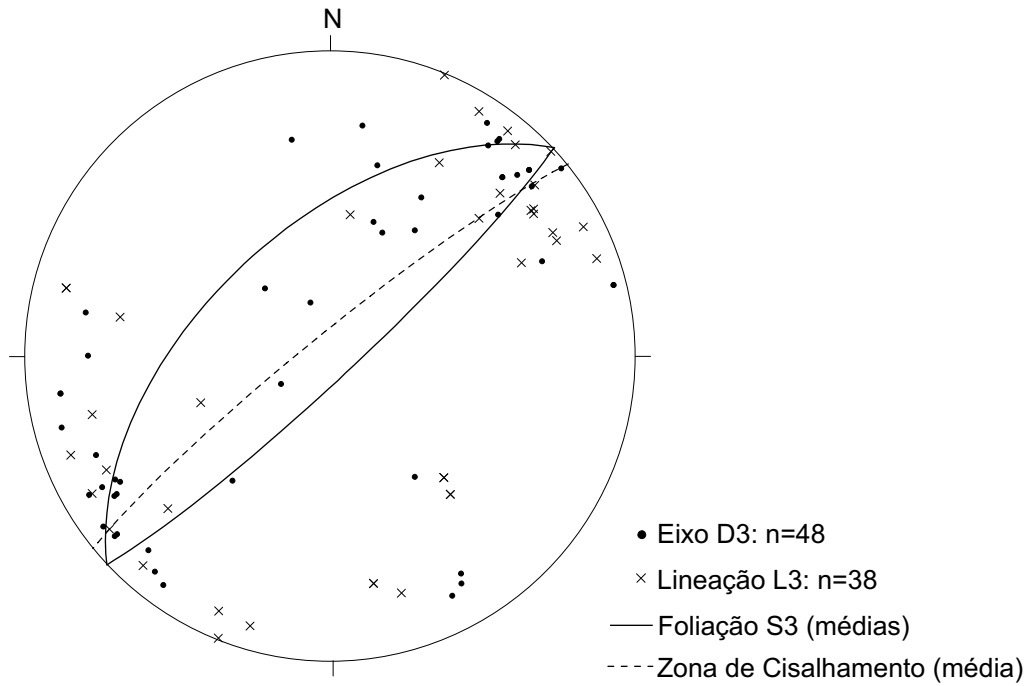


FIGURA 5.25 - Estereograma das estruturas da fase de deformação D3: eixos de dobras; lineação de crenulação e de interseção; planos médios da foliação S3 e de zonas de cisalhamento D3. Rede equi-área, hemisfério inferior

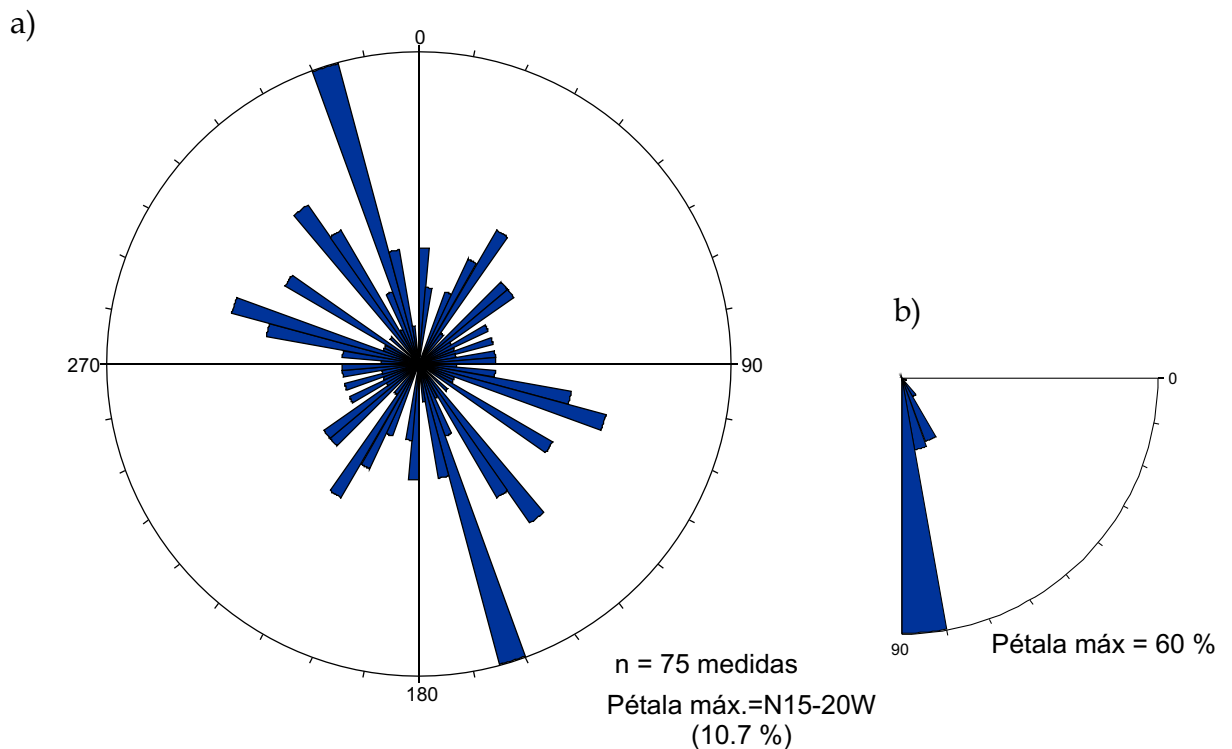


FIGURA 5.26 - Rosetas de orientação (a) e mergulho (b) das zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis da fase D4, com intervalos de 5° e 10° respectivamente.

a)



b)



FIGURA 5.27 - Zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis da fase D4 de direção NW, no granada-hornblenda-biotita gnaissse do Complexo Embu. Na foto (b) ocorre zona de cisalhamento preenchida por pseudotaquítilo (acima da lapiseira). Campos da Bocaina, S. José do Barreiro, SP.

## 5.4 UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS MESOZÓICAS E CENOZÓICAS

### 5.4.1 Diques de Rochas Toleíticas

Esta unidade será descrita posteriormente no item 5.5.1 (magmatismo toleítico) dentro da Reativação Tectônica Mesozóica e Cenozóica.

### 5.4.2 *Pluton* Alcalino do Morro Redondo

Na extremidade nordeste da área mapeada aflora uma pequena parte (porção sul) do *pluton* alcalino do Morro Redondo (Anexo 3). Este corpo é constituído por nefelina sienito e, subordinadamente, por brechas alcalinas (Valença *et al.*, 1983). Nas proximidades deste maciço, ocorrem blocos alinhados de rochas alcalinas muito finas, possivelmente, diques de fonolitos. Datações K-Ar deste corpo alcalino forneceram idades de 65 Ma (Cordani & Teixeira, 1979) e 73,6 Ma (Brotzu *et al.*, 1989).

### 5.4.3 Sedimentos Paleogênicos

Três principais ocorrências de depósitos sedimentares paleogênicos afloram na área de estudo. O maior deles está situado na margem leste da represa do Funil, a norte da área, e pertence à extremidade SW da Bacia de Resende (Anexo 1, Figura 2.4). Este depósito é constituído, principalmente, por arenitos intercalados com conglomerados e pelitos, sendo incluídos por Ramos (2003) na Associação da Fácies 5 da Formação Resende, que representaria um sistema fluvial entrelaçado.

Outra ocorrência corresponde ao depósito da Fazenda do Cafundó, situado na extremidade nordeste da área, próximo a localidade de Rialto (RJ) (Anexo 1). Constituído por pacotes de conglomerados e arenitos correlacionados à Formação Resende (Carmo, 1996), esta sucessão foi reinterpretada por Ramos (1997 *apud* Ramos, 2003) como um sistema de rios entrelaçados efêmeros rasos passando a perenes, inserido-a na Formação Quatis que corresponderia à base da Bacia de Resende. No contexto dos Riftes Continentais do Sudeste do Brasil (RCSB), o depósito da Faz. do Cafundó está



encaixado no alto do embasamento entre as bacias de Resende e Volta Redonda, sendo limitado a norte por falha normal de direção N60E com mergulho íngreme para SE e com bloco sul abatido, onde se encaixa o córrego do Cafundó (Anexo 3). Foi observado em campo que os conglomerados possuem seixos e blocos arredondados de brechas tectônicas silicificadas, material de preenchimento comum das falhas do RCSB. Carmo (1996) e Gontijo (1999) relatam que as falhas NE e planos de fraturas afetam os sedimentos paleogênicos, indicando reativação tectônica sin a pós-deposicional.

A última ocorrência de destaque é o depósito do Sertão da Bocaina, a 1.230m de altitude, localizado junto à represa da Faz. Brastel, a sul da cidade de Bananal (Anexo 1). Este depósito é composto na base por conglomerados e arenitos seixosos, semelhantes aos afloramentos da Faz. do Cafundó, além de arenitos médios e pelitos maciços. Observações de campo identificaram planos de falhas de direção NW e movimento oblíquo nos gnaisses alterados do embasamento deste depósito, que localmente afetam a base da sucessão sedimentar. Esta ocorrência foi descrita por Gontijo (1999), que reconheceu ainda neste depósito sedimentar um perfil laterítico maduro com concreções bauxíticas, típico de mantos de intemperismo antigos. Esta autora sugeriu a correlação deste depósito com os sedimentos paleogênicos das bacias de Resende e Volta Redonda. Outras ocorrências de depósitos de idade terciária têm sido reportadas por Carmo (1996) e Gontijo (1999), especialmente na área da Folha Bananal (1:50.000).

#### **5.4.4 Sedimentos Neogênicos**

Uma diversidade de depósitos sedimentares cobre o embasamento, associados a ambientes de encostas, fluviais, costeiros, marinhos e, localmente, lagunares. Os depósitos associados à dinâmica erosiva das encostas ocorrem de maneira generalizada em toda área de estudo, sendo representados por sedimentos coluviais, rudáceos (p. ex. tálus) e leques aluviais.

Os depósitos fluviais ocorrem em maior abundância nos fundos de vales situados no domínio de colinas do Vale do Paraíba, vertente norte da Serra da

Bocaina. Deste conjunto, destacam-se as planícies e terraços dos rios Piracema, Bananal, Barreiro de Baixo e tributários, localizados entre Bananal e Arapeí (SP), a NE da área (Anexo 1). Nesta região, uma significativa sucessão de sedimentos fluviais datados do limite Pleistoceno-Holoceno são agrupados na Aloformação Bananal (Moura & Mello, 1991). Posteriormente, deposição fluvial marcante só é registrada na área, por volta de 1.000 A.P., mas principalmente, a partir dos séculos XVIII e XIX, com aumento da erosão das encostas e acumulação de sedimentos nos fundos de vales, decorrente do desmatamento promovido pelo *Ciclo do Café* (Coelho Netto *et al.*, 1994, Mello *et al.*, 1995, Coelho Netto, 1999). Junto às encostas dos vales acontece, frequentemente, a interdigitação entre depósitos fluviais e coluviais, relacionada à dinâmica dos *Complexos de Rampas* (Meis *et al.*, 1985).

No Planalto da Bocaina os depósitos fluviais são menos expressivos e mais segmentados em alvéolos, que são limitados à jusante por cachoeiras (*knickpoints*). Porém, se destacam as planícies do ribeirão do Veado, tributário do rio Mambucaba, e dos rios Paca Grande, do Braço e Paraitinga.

Na região costeira junto à escarpa da Serra da Bocaina, os depósitos fluviais voltam a ser expressivos, por exemplo, nos vales dos rios Perequê-Açú, Mambucaba e Bracuí, encontrando-se sob forte interação com a dinâmica erosiva-sedimentar das encostas e marinha, formando extensas planícies costeiras. Essas planícies flúvio-marinhas ocorrem em todo o fundo da Baía da Ilha Grande e consistem, normalmente, de ambientes protegidos da ação das ondas. Nestes estuários, pequenos deltas e os depósitos de planícies e canais de maré representam a interação entre os processos marinhos e fluviais. As planícies situadas ao fundo das baías de Parati e da Ribeira são exemplos típicos deste ambiente (Anexo 1). Já as planícies expostas à ação das ondas e com praias arenosas situam-se próximas da foz do rio Mambucaba, em frente à entrada da Baía da Ilha Grande, e principalmente, na costa sul da Ilha Grande voltada para o mar aberto, como as planícies das enseadas de Lopes Mendes, Dois Rios e da Praia do Sul, sendo que nesta última, a SW da ilha, ocorrem depósitos lagunares atuais.

## 5.5 REATIVAÇÃO TECTÔNICA MESOZÓICA E CENOZÓICA

### 5.5.1 Magmatismo Toleítico

Diversos diques de rochas máficas cortam o embasamento (Faixa Ribeira) da área de estudo compreendendo, em termos litológicos, basaltos, diabásios (principalmente) e gabros. Quanto ao caráter geoquímico, os diques são classificados como rochas da série toleítica subalcalina com alto teor de  $TiO_2$  (Guedes *et al.*, 2004, 2005), sendo associados à tectônica mesozóica, ou seja, à quebra do Gondwana e abertura do Atlântico Sul. Localmente, ocorrem pequenos diques de lamprófiro, que devem estar relacionados a outro evento magmático mais novo (Guedes *et al.*, 2005).

Foram mapeados 103 diques com espessuras variando de centimétrica até cerca de 50m, mas em média possuem entre 2 e 5m. Quanto à extensão, variam de corpos decimétricos a quilométricos, destacando como mais extensos e espessos os diques encaixados nos rios da Guarda, ao fundo da Baía da Ribeira, e nos rios Bananal e Pirapitinga, porção NE da área (Anexo 3).

O enxame de diques da área de estudo apresenta *strike* de orientação geral NE, sendo que as direções mais frequentes são N60-65E (12% do total), N10-15E (10%) e N35-40E (10%) (Figura 2.28 e Anexo 3). O mapa da Figura 5.30 evidencia que os diques estão concentrados no litoral e na porção ENE da área de estudo. Esse enxame foi dividido em dois domínios, segundo a orientação dos diques, são eles: a) Domínio do Interior Leste; b) Domínio Costeiro, incluindo a Ilha Grande (Tabela 5.2a).

O feixe de diques do Domínio do Interior Leste possui orientação preferencial nas direções N35-40E, N10-20E e, subordinadamente, N60-65E (Figura 5.30a). A direção N10-20 é bastante discordante da foliação das rochas do embasamento, enquanto as N35-40E e N60-65E, são sub-concordantes as foliações dos Terrenos Paraíba do Sul e Ocidental, respectivamente (comparar

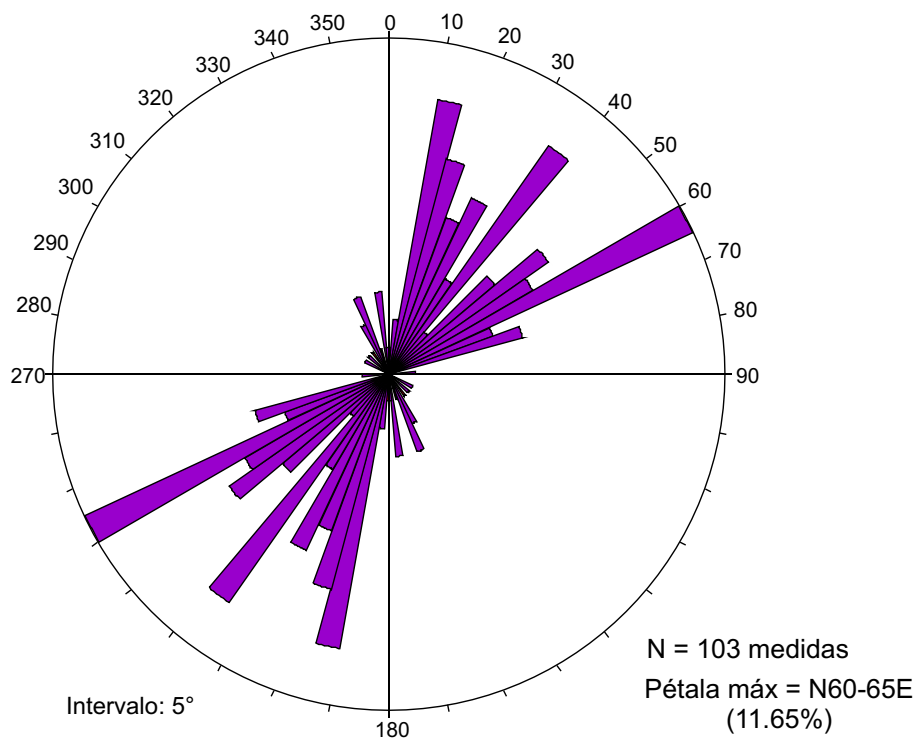


FIGURA 5.28 - Roseta de direção dos diques de rochas toleíticas, para toda área de estudo



FIGURA 5.29 - Dique de diabásio de direção NE do Domínio Costeiro, concordante com a foliação do ortogneise do Complexo Rio Negro, Terreno Oriental. Afloramento no litoral de Mambucaba, RJ.



TABELA 5.2 – Síntese das orientações preferenciais das estruturas rúpteis: diques toleíticos, falhas, fraturas e ainda as zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis D4

## a) Diques de rochas toleíticas

DIQUES	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
<b>Geral</b>	N60-65E	N10-20E, N35-40E	103
Domínio interior leste	N35-40E, N10-20E	N60-65E	73
Domínio litoral	N50-55E, N60-65E		27

## b) Falhas

FALHAS	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
<b>Geral</b>	N35-40E, N50-65E	N20-25W	183
Transcorrentes	N05-10E		10
Normais e reversas	N55-60E		17 (14 +3)
Oblíquas	N75-80E	N50-60E	23

## c) Fraturas por terrenos tectônicos

FRATURAS	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
TEM	N35-45W (N30-50W)	E-W	439
TPS	N35-40W (N35-50W)	-	959
TOC	N15-30W	N50-55E	170
TOR	N50-55E (N40-60E)	N15-20W, N30-50W	571
Granito Parati	N05-10E	N05-10W, N30-35E, N50-55E, N70-75W	94

## d) Fraturas por domínios geográficos

FRATURAS	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
Norte	N45-50W (N30-50W)	N30-35E	761
Central	N35-40W (N35-50W)	-	730
Sul - Continente	N35-40W	N05-10W, N50-55E	313
Sul - Ilha Grande	N50-55E (N40-70W)	N40-50W	379

## e) Fraturas por domínios rúpteis

FRATURAS	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
DRAP	N35-40W (N25-55W)	N70-90W, N35-40E	133

## f) Zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis D4

ZC D4	Orientação principal	Orientação secundária	Nº medidas
Geral	N15-20W	N35-45E, N70-75E	75

Abreviaturas: TEM – Terreno Embu, TPS – Terreno Paraíba do Sul, TOC – Terreno Ocidental, TOR – Terreno Oriental, DRAP – Domínio Rúptil Alto Paraitinga.