

## ANÁLISE MORFOESTRUTURAL APLICADA NO VALE DO RIO DO PEIXE (SP): UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA NEOTECTÔNICA E DA MORFOGÊNESE DO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA

### *MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS APPLIED TO THE RIO DO PEIXE VALLEY, SÃO PAULO STATE, SOUTHEASTERN BRAZIL: A CONTRIBUTION TO THE NEOTECTONICS AND TO THE MORPHOGENESIS UNDERSTANDING OF THE WESTERN SÃO PAULO STATE PLATEAU*

Mario Lincoln de Carlos ETCHEBEHERE<sup>1</sup>; Antonio Roberto SAAD<sup>1,2</sup>; Fabio da Costa CASADO<sup>3</sup>

**Resumo:** O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados da análise morfoestrutural aplicada à bacia hidrográfica do Rio do Peixe (SP), como subsídio ao estudo da neotectônica e da morfogênese do Planalto Ocidental Paulista. A análise efetuada baseou-se nos compartimentos geomorfológicos da área estudada, nos dados geológicos e estratigráficos disponíveis, bem como na sua conformação estrutural. Como resultado a área pesquisada pôde ser subdividida em quatro grandes compartimentos morfoestruturais, sendo que dois deles mostram-se mais intensamente dissecados e submetidos a deformações estruturais recentes. A atuação de processos neotectônicos na Bacia do Rio do Peixe é também corroborada pela sismicidade histórica da região e pelo registro de estruturas de liquefação, indicativas de eventos sísmicos de magnitude expressiva e sincrônicas ao desenvolvimento de planícies aluvionares neopleistocênicas.

**Palavras-chave:** Análise Morfoestrutural; Neotectônica; Bacia do Rio do Peixe; Planalto Ocidental Paulista.

**Abstract:** The objective of this study is to present the results concerning the application of morphostructural analyses to the Rio do Peixe Basin, as a support to neotectonic and morphogenetic studies of the São Paulo State Western Plateau, São Paulo, Brazil. This analysis was based on geological, stratigraphical, geomorphological and structural data available in the scientific literature. The results show that the study area can be divided into four morphostructural compartments in which recent structural deformations can be observed in at least two of them. Neotectonic processes can also be verified by the seismic history of the region as well as by the liquefaction structures, which are indicative of seismic events of great magnitude which were synchronous to the development of neopleistocene alluvial plains in the Rio do Peixe Basin.

**Keywords:** Morphostructural Analyses; Neotectonic; Rio do Peixe Basin; São Paulo Western Plateau.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho busca apresentar a abordagem morfoestrutural aplicada no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista, enfatizando-se os métodos e procedimentos adotados e os principais resultados auferidos. Acredita-se que estudos similares possam ser conduzidos em bacias hidrográficas vizinhas, no âmbito do Planalto Ocidental Paulista, contribuindo para o entendimento da ação neotectônica nesta parte do território brasileiro e para os decorrentes efeitos morfogênicos, incluindo o controle da formação dos depósitos sedimentares mais jovens, a origem e a preservação dos depósitos de terraço, bem como a dissecção das formas atuais de relevo e a própria evolução recente da paisagem.

O conceito de **neotectônica** ainda não é unânime (cf. discussão apresentada por Hasui & Sena Costa, 1996), desde

que o termo foi introduzido na literatura geológica por Obrushev (1948 *apud* Mello, 1997) com o fito de designar os movimentos da crosta terrestre ocorridos no Neoterciário e Quaternário. Para os propósitos deste artigo, contudo, optou-se por uma das definições mais amplamente aceitas que é a da INQUA (International Union for Quaternary Research), onde o termo “neotectônica” é entendido como *qualquer movimento da Terra ou deformação do nível de referência geodésico, seus mecanismos, sua origem, independentemente de sua idade de início, suas implicações práticas e suas extrapolações futuras*. A desvinculação cronológica do termo, embutida nesta definição, permite recuar o início das deformações neotectônicas em uma determinada área até o instante que nela se instala o sistema vigente de tensões, incluindo desde os movimentos instantâneos (sismos) até  $10^7$  anos, caso necessário para o entendimento da origem do movimento (Mörner, 1989 *apud* Salvador & Riccomini, 1995).

1- Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão – CEPPE; Universidade Guarulhos – UnG ([metchebehere@ung.br](mailto:metchebehere@ung.br))

2- Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Universidade Estadual Paulista – UNESP

3- Laboratório de Geociências – UnG ([fcasado@ung.br](mailto:fcasado@ung.br))

Outro conceito importante refere-se à diferenciação dos termos “morfoestrutural” e “morfotectônico”, onde o primeiro abrange as feições espaciais passivas, eventualmente resultantes de deformações pretéritas, sobre cuja geometria existe um acomodamento dos elementos de relevo, em especial da posição e estilo dos cursos d’água, refletindo a disposição dos corpos rochosos ou de seus estratos ou estruturas. O segundo termo engloba uma ligação efetiva entre a disposição dos elementos geométricos do substrato e da superfície do terreno com deformações crustais síncronas (neotectônica), denotando, assim, um caráter “ativo” para essas feições. Essa diferenciação é adotada no presente artigo, onde se busca destacar primeiramente as características morfoestruturais da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, seguindo-se uma interpretação tentativa de se concatenar esse quadro com a possível atuação de deformações neotectônicas na área.

### LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O vale do Rio do Peixe compreende aproximadamente 12.400 km<sup>2</sup> estendendo-se, no rumo NW, do Planalto de Marília até a foz, no rio Paraná (Figura 1). Abrange territórios de 26 municípios, com destaque para as cidades de Marília, Presidente Prudente, Osvaldo Cruz, Adamantina, Tupã, Bastos e Garça, cujos núcleos urbanos ocupam, na maior parte dos casos, os divisores de água da bacia, confrontando o vale do Rio do Peixe com os do Santo Anastácio, a sul, e Aguapeí (ou Feio), a norte.

A ocupação territorial do vale do Rio do Peixe deu-se a partir da década de 1920, com rápido desmatamento e subsequentes plantios de café, algodão, amendoim, milho e cana-de-açúcar, seguindo-se, após o esgotamento dos solos, a formação de pastagens para a pecuária bovina extensiva. Essa ocupação acelerada foi feita de modo descuidado, priorizando os ganhos financeiros de curto prazo em detrimento da capacidade do meio físico, que passou a sofrer processos de erosão acelerada e o consequente assoreamento da rede de drenagem, outrora cogitado até mesmo para servir como via fluvial para o escoamento, rumo à capital, de insumos agropecuários (CGC, 1913). Na atualidade, os campos e pastagens começam a ser substituídos por plantações intensivas de cana-de-açúcar, na esteira da indústria sucro-alcooleira, que floresce no interior paulista.

Em termos fisiográficos, a bacia hidrográfica do Rio do Peixe pode ser dividida em três grandes setores: alto, médio e baixo vales, com extensões diferenciadas. O baixo vale compreende o trecho à jusante do meridiano 51°30’ de longitude oeste, caracterizando-se pelo predomínio de ampla planície aluvionar, na qual o Rio do Peixe exibe um padrão meandrante, caracterizado por alta sinuosidade. O médio vale corresponde a um trecho situado aproximadamente entre os meridianos 51°30’ e 50°50’ de longitude oeste, onde o talvegue do Rio do Peixe encontra-se bastante rebaixado em relação às encostas imediatas, implicando em um pronunciado desnível topográfico nas proximidades da foz dos afluentes, marcadas por corredeiras e pequenas cascatas, trecho este referido pelos membros da expedição exploradora do rio em 1905 como a “seção dos saltos”, na qual “... os

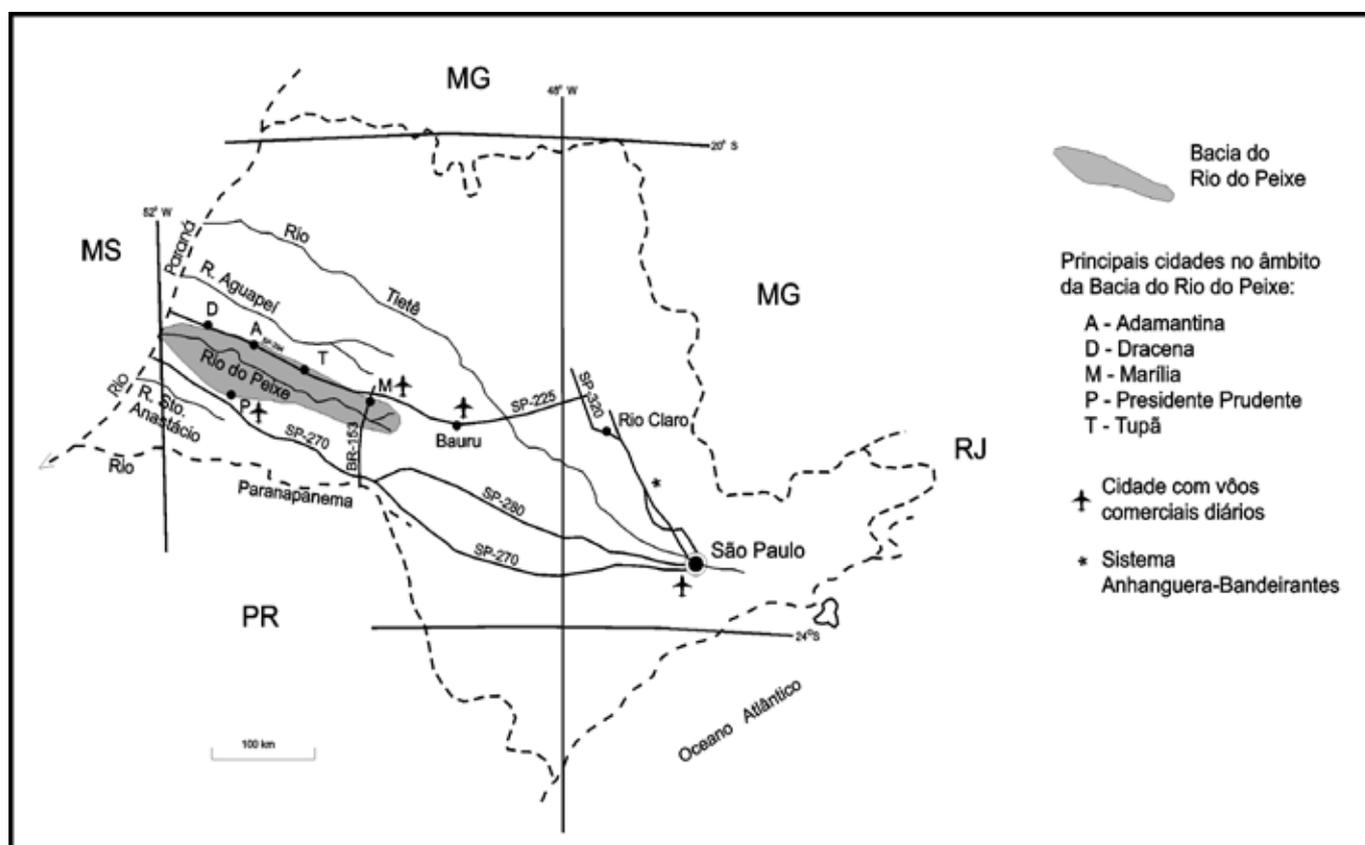


FIGURA 1: Localização da Bacia do Rio do Peixe, Estado de São Paulo.

FIGURE 1: Location of the Rio do Peixe Hydrographic Basin, São Paulo State, Southeastern Brazil.

valles são mais estreitos e mais cavados ainda, terminando por degraus na beira dos rios, forçando os ribeirões a terminarem em saltos” (CGC, *op.cit.*). O alto curso, por sua vez, estende-se a montante do meridiano 50°50' de longitude oeste, incluindo as cabeceiras do Peixe, orlada pela escarpa do Planalto de Marília.

O clima da região pode ser classificado como tropical, quente a subquente, úmido (NIMER 1989), caracterizando-se por apresentar chuvas anuais da ordem de 1.250 mm, concentradas no período novembro-março; as temperaturas médias anuais oscilam entre 20 e 22°C, sendo janeiro o mês mais quente (máximas absolutas superam os 40°C) e junho-julho a época mais fria (mínimas absolutas de até -4°C), com ocorrências de até 5 geadas/ano. O acompanhamento dos índices de pluviosidade na região durante um período de 40 anos (1951-1990) revelou que tem havido uma tendência crescente de chuvas na época das secas (abril-setembro) e estabilidade nos índices correspondentes à estação chuvosa (Souza, 2000).

## ARCABOUÇO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A bacia hidrográfica do Rio do Peixe está localizada no âmbito do Planalto Ocidental Paulista (senso Almeida, 1964). As cabeceiras situam-se no chamado Planalto de Marília (ou Marília-Exaporã), que é a feição geomorfológica proeminente nessa porção do território paulista, elevando-se a 600-750 m de altitude e marcando a superfície cimeira da região. O Planalto de Marília exibe bordas escarpadas e festonadas, esculpidas em arenitos com intensa cimentação carbonática (Formação Marília), assumindo um formato em ferradura; no interior da qual, pontilham remanescentes do planalto (*inselbergs*). O restante da bacia hidrográfica do Rio do Peixe ocupa uma superfície planáltica rebaixada, com altitudes variando de 550 a 250 m rumo à calha do rio Paraná, que é a drenagem-tronco regional. Esta superfície planáltica rebaixada está esculpida em rochas cretácicas e caracteriza-se por um relevo de colinas amplas, com topos planos e vertentes convexas, mostrando regolitos espessos, com variados graus de densidade de drenagem. Relevos modelados por acumulação restringem-se às planícies aluvionares do Rio do Peixe, em especial no baixo curso e, mais restritamente, a aluviões formados a montante de soleiras litológicas, bem como a alguns níveis de terraço, afeiçoados em diversos graus e que se encastoam em vertentes já formadas em porções dissecadas na ampla superfície planáltica rebaixada.

O substrato da bacia, como já mencionado, é constituído por rochas sedimentares cretácicas dos grupos Caiuá e Bauru (senso Fulfaro *et al.*, 1999) e algumas ocorrências isoladas de basaltos da Formação Serra Geral (~132 Ma, segundo Renne *et al.*, 1992), as quais condicionam alguns saltos e corredeiras. As rochas do Grupo Caiuá (Cretáceo Inferior) incluem arenitos maciços ou com estratificações cruzadas, intercalados com camadas lamíticas de espessuras decimétricas; no topo, essas litologias encontram-se bastante pedogenizadas, caracterizando o chamado Geossolo Santo Anastácio (Fulfaro *et al.*, *op.cit.*), anteriormente considerado como uma unidade litoestratigráfica (Soares *et al.*, 1980). O superposto Grupo Bauru,

considerado como do Cretáceo Superior, compreende arenitos lamitos e lamitos arenosos esverdeados, localmente ricos em moldes de cristais salinos, da Formação Araçatuba; arenitos e lamitos, ricos em estruturas sedimentares (estratificações cruzadas e gradacionais, *ripples*, marcas de carga, sismitos, icnofósseis, *clay balls*, etc.) da Formação Adamantina; e, por fim, arenitos texturalmente imaturos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e lamitos da Formação Marília, acometidos, em graus variados, por processos de calcretização pedogenética (calcretes pedogênicos).

Capeando o substrato cretácico, ocorrem as chamadas unidades cenozóicas, ainda de cartografias e caracterizações preliminares. Essas unidades são predominantemente arenosas, pedogenizadas, com solos bem desenvolvidos, não-raro espessos de alguns metros, compreendendo elúvios, colúvios, alúvios e conjuntos que podem ser resultado de uma combinação mais complexas desses termos. Linhas de seixo, com cascalhos formados por quartzito bem arredondado e fragmentos mais irregulares de laterita podem se fazer presentes na base das unidades mais pedogenizadas. Um pouco melhor caracterizados são os terraços de acumulação fluvial ao longo das margens do Rio do Peixe e do baixo curso de alguns de seus principais tributários, que foram enfeixados na chamada Aloformação Rio do Peixe (Etchebehere, 2000). Tais depósitos são caracterizados por bancos de areias friáveis, maciças ou com estratificações acanaladas de pequeno porte, que gradam para areias cascalhentas e mesmo bancos de cascalho, com seixos bem arredondados de quartzito, basalto, gnaisses e xistos; intercalam-se a essas fácies, bancos de lamitos acinzentados, ricos em restos vegetais, de espessuras decimétricas ou métricas. As espessuras desses depósitos de terraço podem alcançar até 40 m; datações por radiocarbono indicam idades que variam de 34 a 24 ka AP, sendo que artefatos indígenas encontrados no topo dos terraços mais jovens e mesmo espalhados em massas coluvionares que os recobrem possibilitam estabelecer um limite superior da ordem de 7.000 anos AP para a Aloformação Rio do Peixe, conforme interpretação de Etchebehere (*op.cit.*). De acordo com Etchebehere & Saad (2003) e Etchebehere *et al.* (2003), os depósitos de terraço são resultado de sedimentação fluvial de alta energia (sistema *braided*), com gradações para termos meandantes psamíticos, pontilhados por esporádicos lagos, de controle neotectônico. A tectônica jovem é corroborada pela presença freqüente de estruturas de liquefação, indicativas de eventos paleossísmicos de magnitudes expressivas (variando de 5,5 a 6,6), conforme Etchebehere & Saad (2002).

O arcabouço tectônico regional pode ser delineado com base nos trabalhos de IPT (1989), Saad (1997), Riccomini (1997) e Etchebehere *et al.* (2004), nos quais o território paulista achase compartimentado por dois principais tipos de descontinuidades, designados **suturas e lineamentos**, que correspondem a feições estruturais determinadas com base em dados geofísicos (gravimetria, aeromag e sondagens magnetotélúricas), dados de fotointerpretação (em imagens de satélite e radar) e dados estratigráficos, refletidos na disposição dos mapas de isópacas e de contornos estruturais de cada compartimento. Na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, destacam-se as

suturas Presidente Prudente, Três Lagoas e Ribeirão Preto, de direção nordeste, e os lineamentos de Guapiara e Marília, ambos de direção noroeste. Admite-se que os grandes blocos estruturais, de conformação herdada do embasamento cristalino, delimitados por esses elementos apresentem reflexos na sedimentação e preservação da pilha sedimentar da Bacia do Paraná, ensejando a existência de uma tectônica ressurgente, conforme conceito expresso por Hasui (1990).

Movimentos de cunho neotectônico têm sido detectados no vale do Rio do Peixe conforme dados de literatura (e.g., Justus, 1985; IPT, 1992; Nakasu, 1998; Etchebehere, 2000; Etchebehere & Saad, 2002; Etchebehere *et al.*, 2004, no prelo), baseados em análises geomorfológicas, dados estruturais, estudos de parâmetros flúvio-morfométricos e dados paleossísmicos.

## MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A análise morfoestrutural aqui pretendida baseou-se na compartimentação geomorfológica da bacia, nos dados geológicos e estratigráficos disponíveis e na conformação estrutural da área inferida a partir de lineamentos e de eventuais basculamentos, acrescidos de algumas informações de campo.

### Análise de lineamentos

A fotointerpretação foi a ferramenta empregada, utilizando-se de imagens de satélite falsa-cor (combinação dos canais 5 [em vermelho], 4 [em verde] e 3 [em azul] do LANDSAT-5), em escala 1:250.000, para a análise regional da bacia do Rio do Peixe. Nesse tipo de imagem, a cobertura vegetal apresenta-se em tons esverdeados e as áreas desprovidas de vegetação, tais como cavas de extração mineral, em cores branco-azuladas.

O conceito de **lineamento** aqui adotado é o exarado por Sabins Jr. (1978), que definiu tais feições da seguinte forma: “*lineament: a linear topographic or tonal feature on the terrain and on images and maps that may represent a zone of structural weakness*”. Tais traços foram anotados com a preocupação de se evitar inferências de extensões ou continuidades no terreno, limitando-se, da maneira mais fiel possível, ao aspecto factual observado nas imagens de sensores remotos, conforme recomendado por diversos autores (e.g., Liu, 1984; Taylor, 1988). Um dos maiores problemas deparados na extração dos lineamentos diz respeito à presença de cercas de propriedades, que configuram notáveis traços na superfície, os quais, em algumas situações, são muito difíceis de serem discernidos de elementos estruturais propriamente ditos.

A maioria dos lineamentos marcados refere-se a trechos retilíneos de drenagem, o que deve refletir o encaixe do curso d'água em descontinuidades estruturais. Depois, aparecem trechos retilíneos escarpados e cristas alongadas (feições positivas de relevo), que podem representar entalhes geomorfológicos controlados pelo fraturamento no primeiro caso, e por zonas de intensa cimentação (e.g., carbonatação, laterização), condicionadas pela percolação de fluidos em feixes de fraturas, no segundo caso. Nos trechos de relevo mais suave,

solos mais espessos e pouco dissecados pelos elementos da rede de drenagem, como se verifica nos resquícios de pedimentos e de superfícies planálticas, a marcação de lineamentos se baseou na presença de faixas alongadas com texturas e tonalidades contrastantes, dadas por vegetação diferenciada ou por zonas mais úmidas. Neste caso, a maior umidade estaria vinculada à percolação de água, facilitada por feixes de fraturas abertas e não pela própria permeabilidade granular do substrato rochoso cretácico.

### Análise das assimetrias de drenagem

A técnica de análise de assimetrias de drenagem aqui adotada foi originalmente proposta por Cox (1994). Mediante sua aplicação, pode-se obter índices quantitativos de natureza vetorial, i.e., que apresentam um rumo azimutal e uma determinada magnitude. O princípio do método é mostrado na Figura 2, a qual ilustra uma hipotética bacia de drenagem, com os pontos A, B, C, D, e E representando diferentes índices de assimetria. O chamado índice de assimetria (IA) pode variar entre zero e ~1, extremos estes que representam, respectivamente, um curso d'água perfeitamente simétrico (o talvegue coincide com a linha mediana da bacia) e uma drenagem totalmente assimétrica, com o canal se situando junto à linha divisória da bacia (cf. situação do perfil “C” na Figura 2).

É importante salientar que o método de Cox (*op.cit.*) não provê uma indicação direta de um basculamento neotectônico, mas constitui sim, uma técnica que permite identificar rapidamente possíveis mergulhos de blocos. Nos exemplos de aplicação mostrados por aquele autor, verifica-se uma notável coincidência de blocos basculados com falhamentos cenozóicos. Outro ponto a ser destacado desta técnica é que sua eficácia está diretamente relacionada ao padrão de drenagem de cada área, sendo que os melhores resultados são obtidos em bacias de disposição dendrítica de seus canais perenes, em decorrência da diversidade de direções dos eixos longitudinais das sub-bacias. Bacias de drenagem com padrões retangulares ou unidirecionais acabam propiciando tendências inoportunas para uma avaliação de basculamento de blocos.

Na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, os melhores resultados foram obtidos na análise de bacias de 4ª ordem (cf. Etchebehere, 2000), delineadas em folhas topográficas em escala 1:50.000, nas quais a extensão dos cursos d'água é representada por linhas azuis. Assim, os segmentos de drenagem que não possuem afluentes são considerados como de 1ª ordem; a junção de dois segmentos dessa ordem origina um trecho de 2ª ordem; a junção de dois tributários de 2ª ordem forma um segmento de 3ª ordem e assim sucessivamente.

Para análise das assimetrias das sub-bacias de 4ª ordem no vale do Rio do Peixe, adotou-se um espaçamento entre os perfis subsequentes da ordem de 2 km. Tais perfis são traçados perpendicularmente ao canal principal da bacia, possibilitando que se verifique o afastamento do mesmo em relação à linha mediana da bacia, calculando-se seu valor e seu rumo. Os resultados alcançados em cada setor podem ser lançados em estereogramas para facilidade de análise. Sub-bacias totalmen-

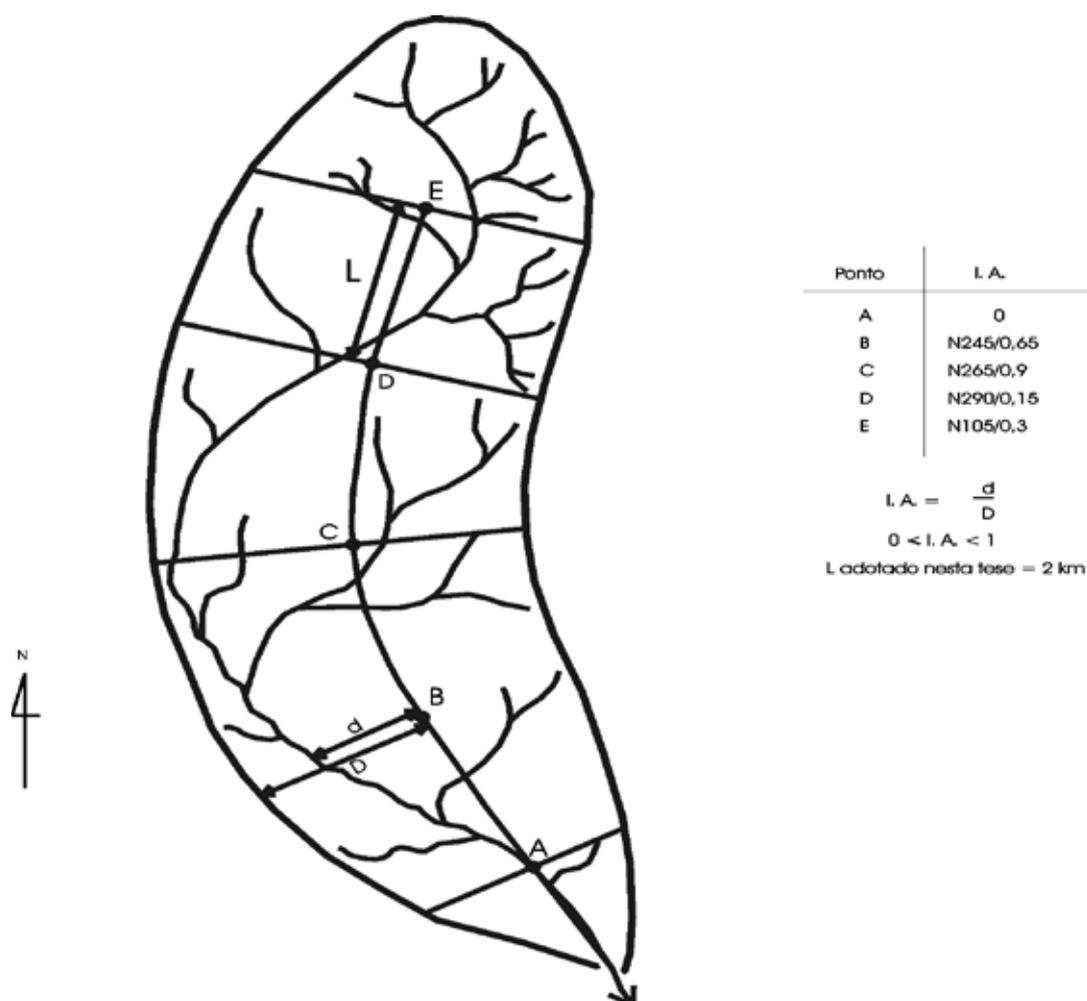


FIGURA 2: Esquema de uma bacia de drenagem hipotética mostrando a maneira de se calcular o Índice de Assimetria (I.A.) segundo a técnica de COX (1994).

FIGURE 2: Sketch of hypothetical drainage basin showing the symmetry index (after COX, 1994).

te simétricas mostrarão uma grande concentração de pólos junto ao centro do estereograma; quanto mais afastados estiverem do centro, menos simétrica será a bacia. Os estereogramas permitem também discernir pólos diferentes quando a bacia de drenagem apresentar um padrão de assimetria muito irregular, com variações bruscas do canal principal como ocorre em vales controlados por fraturas.

## RESULTADOS ALCANÇADOS

### Análise de lineamentos

Os lineamentos extraídos das imagens de satélite constituem segmentos retilíneos hectométricos a quilométricos, que devem refletir descontinuidades (falhas, fraturas) de alto ângulo de mergulho. O resultado da extração pode ser observado na Figura 3, que também inclui duas rosáceas de distribuição de lineamentos por intervalo angular de 10° (Figura 4).

Em um primeiro exame, o mapa de lineamentos revela grande heterogeneidade no que concerne à frequência de traços, com as maiores concentrações localizadas no alto vale e na faixa

onde a bacia do Rio do Peixe apresenta sua maior largura. Como a grande maioria dos traços refere-se a trechos retilíneos de cursos d'água, percebe-se uma nítida semelhança em termos de densidade de elementos com o mapa da rede de drenagem (Figura 5).

Duas regiões apresentam baixa densidade de lineamentos. A primeira delas compreende o baixo vale do Rio do Peixe, que se destaca por um formato em cunha, com afinamento para leste e limites relativamente bruscos com áreas adjacentes de alta densidade de traços. Esta área de menor densidade de lineamentos abarca a ampla planície aluvionar recente do Peixe, já apontada como uma área de provável comportamento subsidente. A segunda área compreende o trecho à montante da chamada "região dos saltos" e o terço jusante do alto vale, correspondendo à faixa de maior preservação da superfície planáltica inferior. Também neste caso, o limite com as regiões de maior densidade de lineamentos é relativamente brusco.

Percebe-se, pela observação das rosáceas de lineamentos, que a distribuição da frequência de traços por intervalo angular é bastante similar tanto no que se refere ao número de lineamentos quanto à somatória dos comprimentos dos traços, o que enseja a possibilidade de se trabalhar com qualquer um

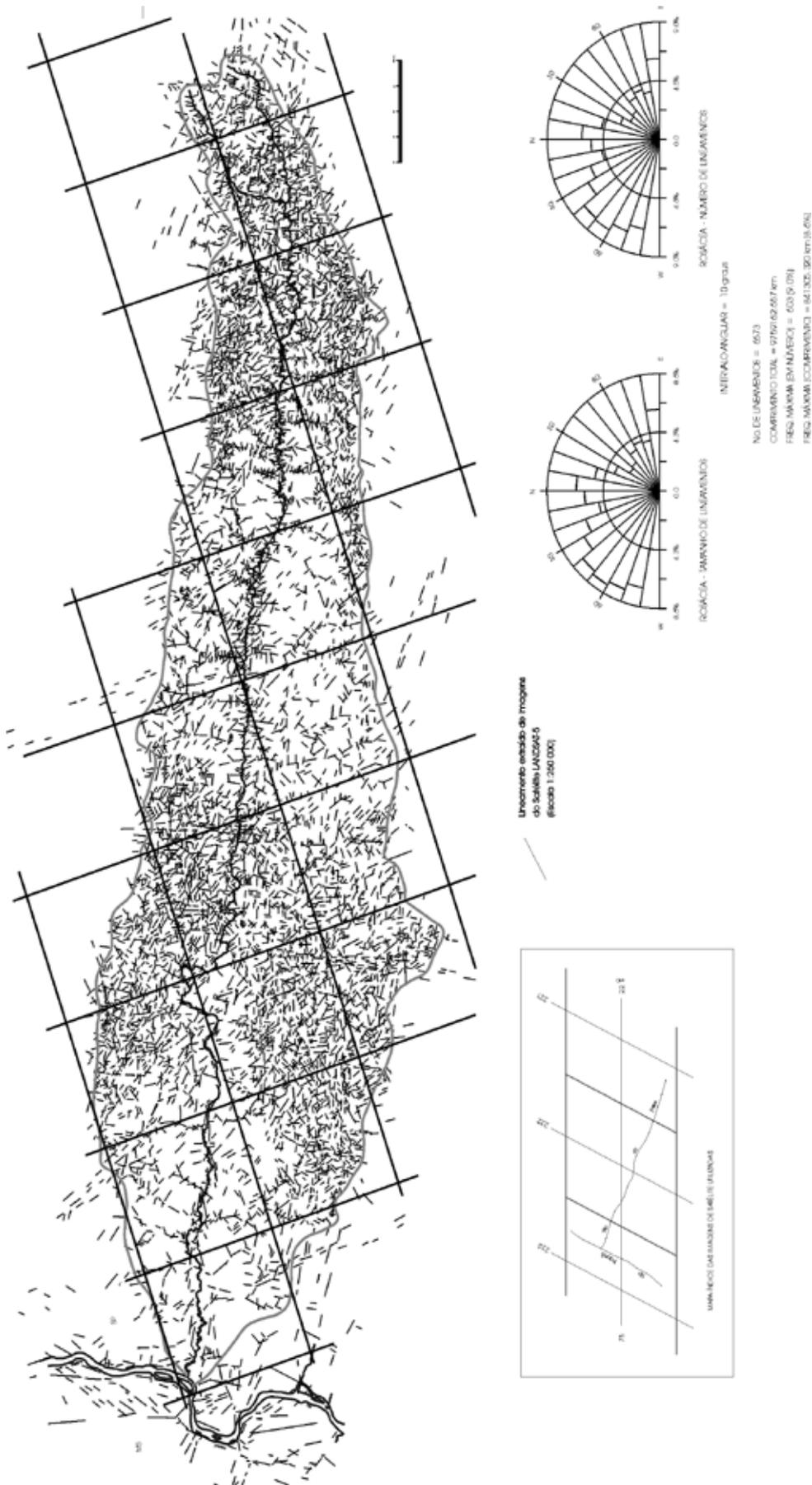


FIGURA 3: Mapa de lineamentos da bacia do Rio do Peixe, extraídos de imagens LANDSAT 5.  
 FIGURE 3: Lineament map of the Rio do Peixe hydrographic basin, based on LANDSAT 5 image photointerpretation.

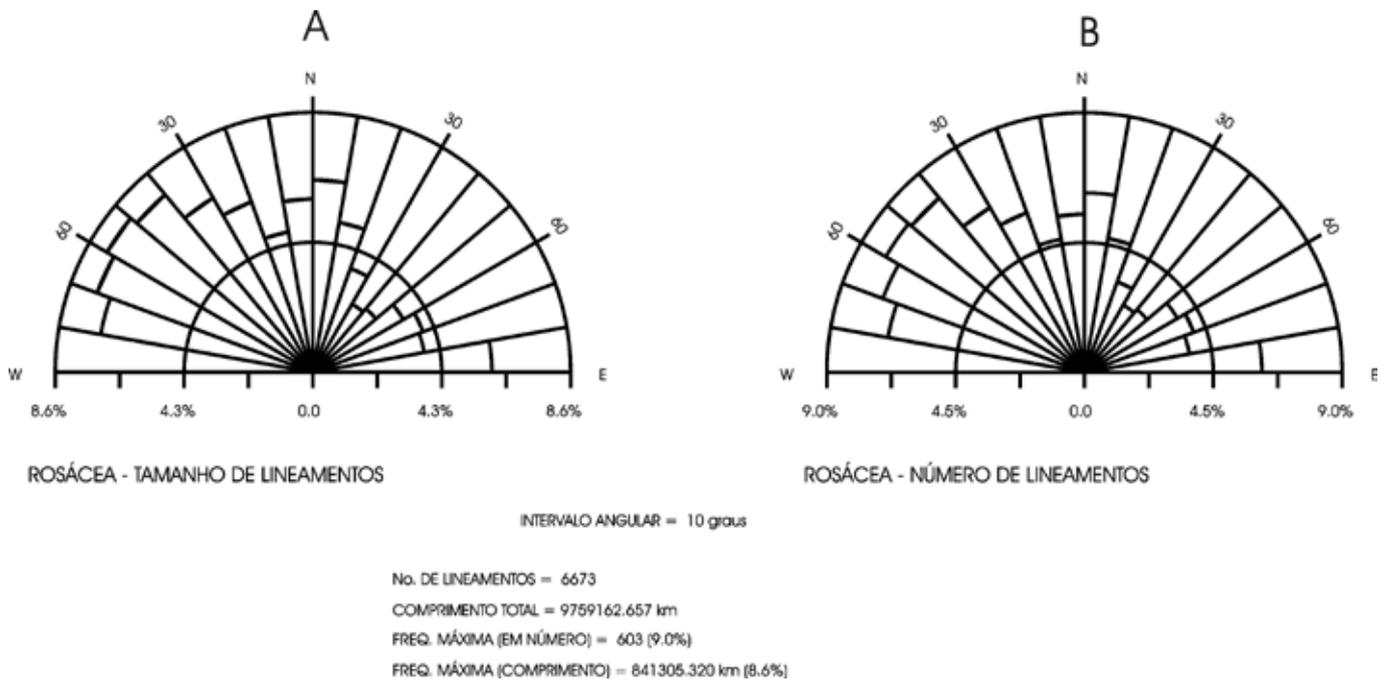


FIGURA 4: Rosáceas de lineamentos da Bacia do Rio do Peixe.  
 FIGURE 4: Lineament histograms of Rio do Peixe Basin.

destes índices. Em ambos os casos, observam-se 4 modas bem delineadas e um notável predomínio de lineamentos no quadrante NW. Os intervalos de maior freqüência seriam: EW, NW (290-320°), NS (350-10°), e ENE (50-70°); à exceção da primeira moda, todos os demais intervalos apresentam uma razoável dispersão (da ordem de 30°), ao menos em nível regional de análise. É possível que esta dispersão reflita, em escala regional, as variações azimutais dos feixes de lineamentos (ondulações), à semelhança do que acontece em terrenos metamórficos foliados, lembrando feições amendoadas, com núcleos relativamente pouco fraturados e bordas mais vincadas por traços de descontinuidades.

O maior predomínio de traços no quadrante NW, em especial da moda 290-320°, indica que esta direção propicia um encaixe mais fácil dos elementos de drenagem, refletindo, provavelmente, a direção distensional mais importante de toda a bacia do Rio do Peixe (tensor hidráulico). Esta direção é coincidente com o traçado do chamado Alinhamento Estrutural de Guapiara (Ferreira *et al.*, 1981), o qual, como já mencionado, constitui uma feição magneticamente anômala, do Mesozóico, que se estende por pelo menos 600 km na direção noroeste, a partir do litoral sul paulista. Levando-se em conta o regime de tensões neotectônico, esta coincidência de traços — inclusive controlando a própria disposição de trechos do Rio do Peixe e de outros tributários do rio Paraná no oeste paulista — pode indicar reativações neotectônicas das antigas direções mesozóicas. Outro ponto interessante com relação às direções predominantes de lineamentos é que a porção inferior da bacia do Peixe, interpretada como estando submetida a um processo de abatimento, forma uma cunha cujos limites são precisamente a direção N330°, no lado setentrional, e N300°, no lado meridional.

A profusão de traços mostrada na Figura 3 (mais de 6.600 lineamentos) impõe alguma dificuldade para se visualizar as direções estruturais de maior importância e significado. Buscando superar esta dificuldade, elaborou-se a Figura 6, onde foram traçados os principais feixes de lineamentos, desprezando-se os traços julgados aleatórios ou de menor persistência e interligando-se segmentos de reta alinhados, de maneira a se obter lineamentos mais contínuos e de direções mais consistentes. De uma certa maneira, este mapa simplificado de lineamentos, de cunho eminentemente interpretativo, é semelhante às chamadas **linhas de forma** (Badgley, 1959), utilizadas para salientar e ressaltar as tendências gerais de orientação de traços representativos de descontinuidades (*e.g.*, traços de foliação em terrenos deformados) ou da conformação geral de estruturas dobradas (*e.g.*, linhas de forma estrutural representando dorsos de anticlinais ou sinclinais).

Da mesma forma que para o mapa de lineamentos precursor, também para os traços simplificados foi elaborada uma roseta de freqüência com o intervalo angular de 10°. O resultado, como pode ser visto na Figura 6, projeta as 4 modas já anteriormente delineadas, apenas que mais destacadas, uma vez que se reduziu consideravelmente o “ruído”, *i.e.*, aqueles traços aleatórios, os quais não devem ter um significado estrutural maior para o entendimento do quadro regional da bacia do Rio do Peixe. Em continuidade ao processo dedutivo de análise estrutural de lineamentos aqui empreendido, o passo seguinte foi subdividir a área da bacia do Rio do Peixe em setores, com base nas direções predominantes de lineamentos (*cf.* Figura 7 e Quadro 1). O quadro apresenta 7 principais direções de traços, buscando especificar um pouco mais os intervalos angulares modais, diminuindo a já mencionada dispersão, que é da ordem de 30°.

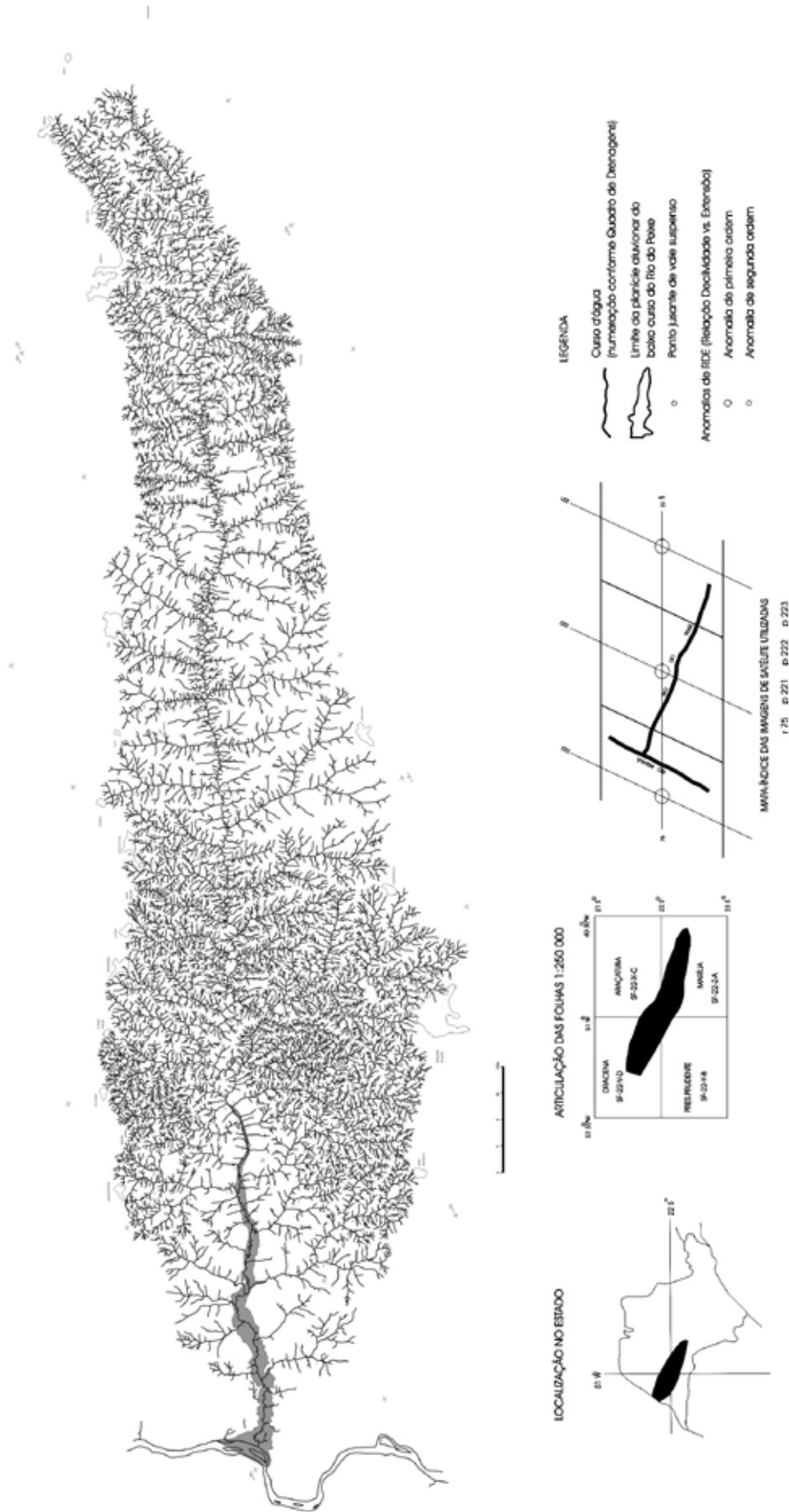


FIGURA 5: Rede de drenagem da Bacia do Rio do Peixe, mostrando quatro setores distintos de densidade de cursos d'água.  
FIGURE 5: Drainage web in the Rio do Peixe hydrographic basin. Note the four distinct density stream sectors.

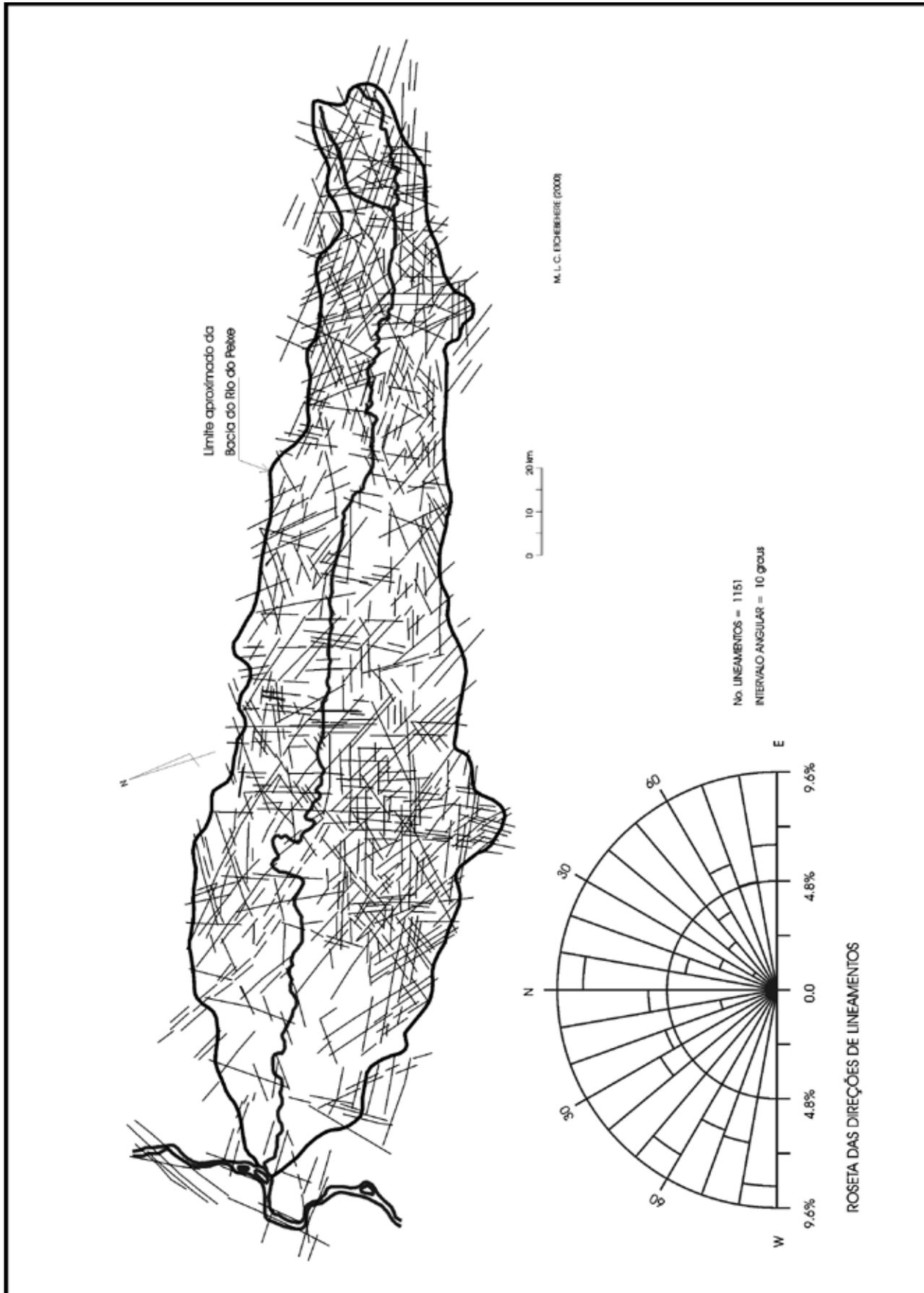


FIGURA 6: Mapa simplificado de lineamentos da Bacia do Rio do Peixe.  
FIGURE 6: Synthetic lineament map of the Rio do Peixe hydrographic basin.

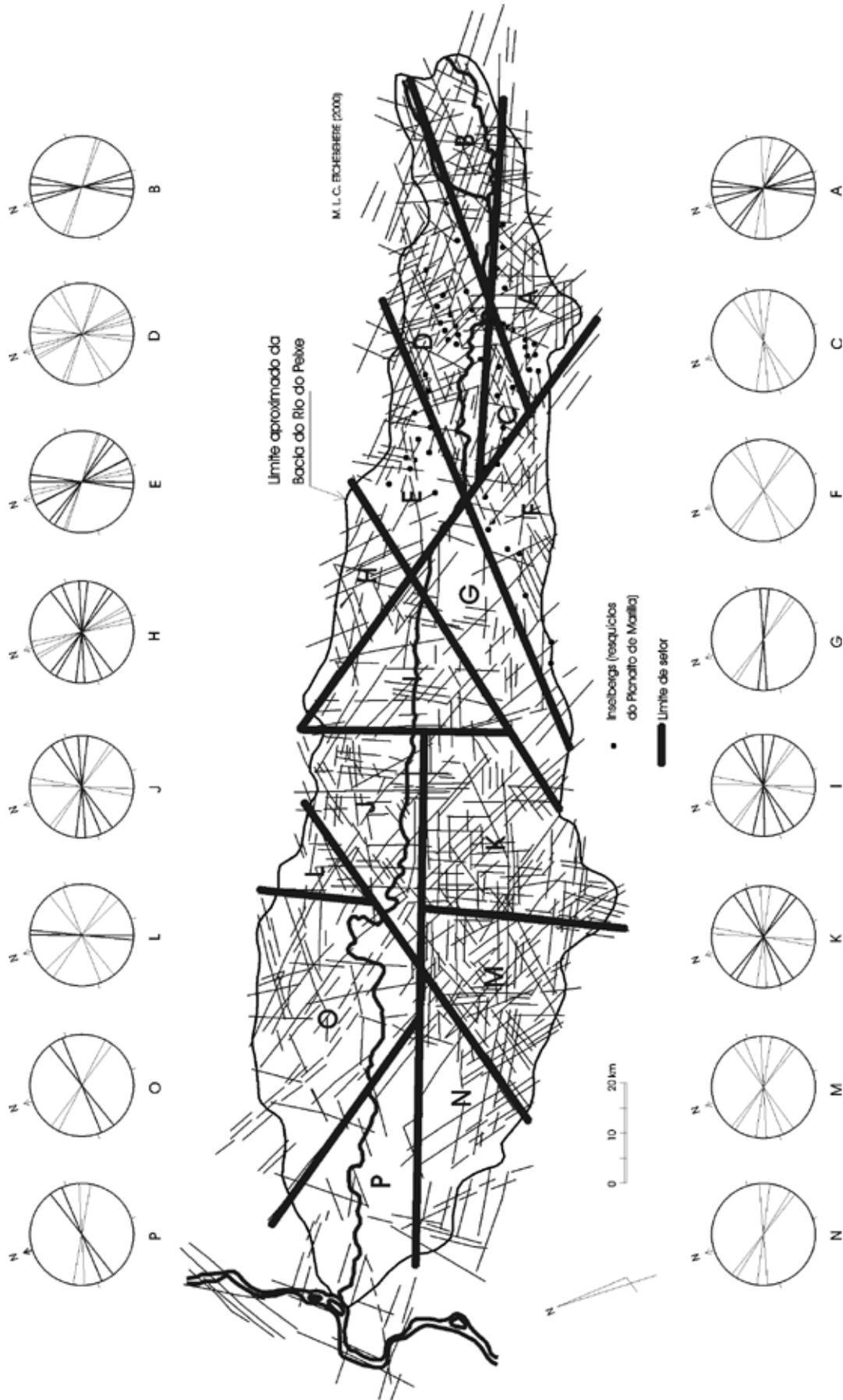


FIGURA 7: Subdivisão da Bacia do Rio do Peixe em setores, com base na frequência de lineamentos (cf. Rosáceas) e na presença de inselbergs.  
FIGURE 7: Structural blocks in the Rio do Peixe hydrographic basin based in the lineament frequency and inselberg occurrence.

Setores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Nº de setores anômalos*
285-295	Alta	Média	Discreta	Alta	Ausente	Alta	10										
305	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	3
320-325	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	12
350	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	3
0-5	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	5
20-25	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	8
285-296	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	11

Alta frequência  
 Média frequência  
 Discreta frequência  
 Ausente

(\*) Somatória do número de setores com alta ou média frequências de direções de lineamentos

QUADRO 1: Frequência relativa das principais direções de lineamentos nos setores estruturais da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

CHART 1: Relative frequency of the chief lineament directions in the structural sectors of the Rio do Peixe hydrographic basin.

Para cada setor foram adotados quatro níveis diferenciados de frequência (alta, média, baixa e ausente), estimados por exame visual. A Figura 7 inclui, também, rosáceas das direções de alta e média frequências, possibilitando uma visualização alternativa dos traços dominantes, e ressaltando a “individualidade” de cada setor estabelecido, o que reforça a validade da subdivisão aqui adotada. Como um recurso adicional, foram também utilizadas as ocorrências de *inselbergs*, buscando-se coadunar os elementos estruturais sistematizados com feições geomorfológicas que podem estar associadas às deformações tectônicas da área. A subdivisão em setores (designados com as letras da porção “A-P” do alfabeto) será mais explorada em itens subseqüentes, em continuidade ao processo de análise estrutural da bacia do Rio do Peixe.

### Resultados da análise de assimetrias de drenagem

Os resultados alcançados para os 16 setores morfoestruturais definidos na bacia do Rio do Peixe podem ser vistos na Figura 8, onde os estereogramas foram ligeiramente rotacionados no sentido anti-horário de modo a terem a marcação do rumo Norte coincidente com o norte geográfico do mapa de lineamentos. Em sua grande maioria, existem dados suficientes para se delinear as principais tendências de assimetria existentes em cada setor, ensejando o traçado de curvas de igual frequência de pólos, que facilitam ainda mais a visualização das tendências de assimetrias, o que vem a ser muito útil para a análise estrutural da bacia do Rio do Peixe.

Analisando-se os resultados da aplicação da técnica de Cox (1994) pode-se adiantar as seguintes considerações:

- Todos os setores morfoestruturais mostram uma moda predominante de pólos junto ao centro dos estereogramas, representando as porções simétricas das sub-bacias englobadas em cada setor;
- O setor “H” mostra-se predominantemente simétrico, embora, mesmo com a pequena quantidade de pólos (11), se delinear uma leve assimetria no rumo SE;
- O setor “D” mostra um halo mais amplo, embora mantenha-se centrado e simétrico, indicando não haver uma tendência perceptível de basculamentos;
- Em sua grande maioria, os setores exibem configuração polimodal, com “halos” se espalhando para os mais diversos quadrantes, o que possibilita suspeitar de uma

compartimentação interna de grande parte dos setores, possivelmente sob a forma de blocos com basculamentos multidirecionais;

- Os setores “A”, “B”, “C” e “F”, com destaque para o primeiro, exibem halos alongados na direção WNW-ESE, o que pode ser um indicativo de basculamentos para WNW e para ESE, controlados por falhas de direção NNE;
- Da mesma forma, os setores “E”, “J”, “L” e “O” mostram halos com dispersão semelhante, mas alongados na direção NW-SE. Neste caso, as falhas controladoras poderiam ter direção NE-SW;
- Halos alongados também foram constatados nos setores “G”, “K”, “M” e “N”, nesses casos, com tendência de alongamento na direção ENE-WSW, indicando que as falhas controladoras dos basculamentos deveriam ter direção NNW-SSE, contrastando com o conjunto anterior, geograficamente vizinho; e
- Pólos isolados ou formando pequenos ajuntamentos, como se verifica nos setores “L”, “M”, “N”, e “O”, podem representar estruturas locais, especialmente nos casos onde o valor de assimetria é mais elevado.

### Considerações sobre o quadro de tensões na porção continental da Placa Sul-Americana

Algumas considerações sobre o contexto de tensões vigentes no interior da placa tectônica sul-americana são necessárias para que se possa tentar analisar o quadro cinemático da região e se perscrutar as decorrentes implicações neotectônicas. Os dados estruturais de campo ainda são escassos, não possibilitando, ainda, avançar em termos de delineamento de campos locais de tensão ou de *trends* dos chamados caminhos das tensões.

As informações sobre quadros de tensão no interior continental da América do Sul ainda são relativamente escassas quando comparadas com outras áreas do globo, especialmente aquelas do hemisfério norte, junto a limites de placas litosféricas. O Mapa Mundial de Tensões - MMT, organizado sob os auspícios do Projeto Internacional da Litosfera Continental da International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) e concluído em 1992, abarca cerca de 7.300 determinações relativas a elipsóides de tensão (magnitude e orientação de tensões), e

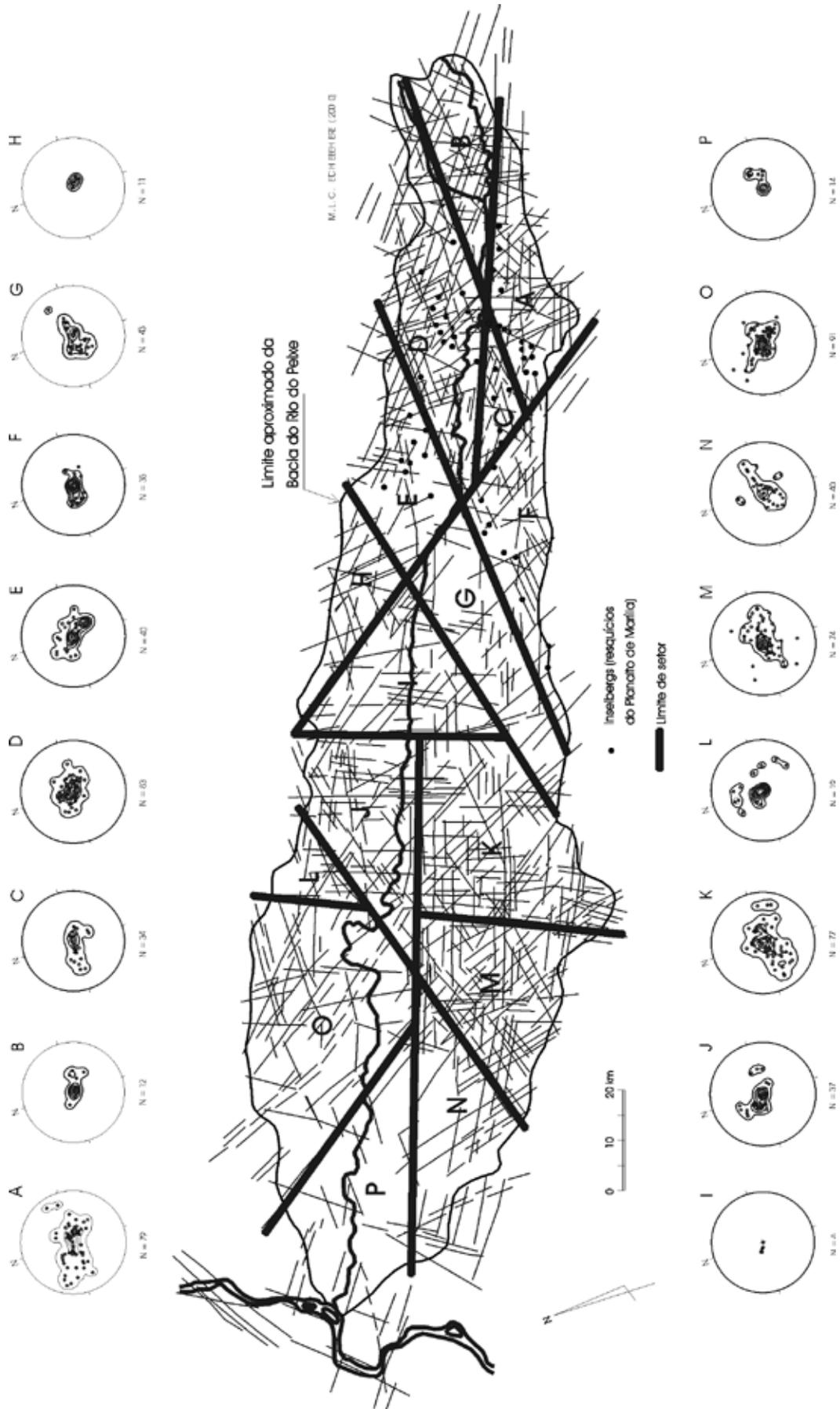


FIGURA 8: Assimetrias de drenagem (técnica de COX, 1994) nos diversos setores estruturais da Bacia do Rio do Peixe.  
FIGURE 8: Drainage asymmetries in the structural blocks in the Rio do Peixe hydrographic basin based in the COX (1994) technique.

dão uma idéia geral dos padrões de orientação de primeira ordem na litosfera (Zoback, 1992; Assumpção, 1992; Magalhães, 1999). Em grande parte, estes dados de orientação das tensões foram obtido por determinação de mecanismo focal de terremotos, *breakouts* (“eliptização”) de poços tubulares, determinação de tensões *in situ* (por técnicas de fraturamento hidráulico e sobrefuração) e, em menor número, por informações de natureza geológica, incluindo a análise da dinâmica de falhamentos.

Hasui (1990) considerou o quadro neotectônico do Brasil como inserido no contexto de uma placa litosférica em regime de rotação para oeste, que seria o principal responsável pela disposição atual das tensões. Nesta óptica, destacam-se zonas de transferências de direção EW e movimentação dextral, com predomínio de compressão horizontal NW-SE ou WNW-ESE nos terrenos intermediários, i.e., entre duas zonas de transferências paralelas, caracterizando um binário EW, com movimentação dextrógira. Ainda segundo este autor, a movimentação se daria eminentemente por falhas, com destaque para um caráter ressurgente, condicionados que seriam pela disposição de descontinuidades preexistentes.

Estudos posteriores de análise estrutural, realizados em regiões menores ou em grandes obras de engenharia tais como barragens e cavas de mineração, de maneira geral têm corroborado o cenário estabelecido por Hasui (*op.cit.*). Como exemplos destes estudos podem ser mencionados, para a região Sudeste, os trabalhos de Serra Jr. *et al.* (1986), Macedo *et al.* (1991); Magalhães *et al.* (1992), Saadi *et al.* (1991), Hasui *et al.* (1992), Etchebehere *et al.* (1992), Magalhães & Serra Jr. (1995), Riccomini (1997), e Magalhães (1999). Já em alguns destes trabalhos apareciam orientações locais dos campos de tensão, que modificariam as trajetórias dos esforços deformadores, confirmando a suspeita levantada por Assumpção (1990 *apud* Magalhães, 1999) o qual relatava o seguinte: “os dados disponíveis na literatura, embora insuficientes para uma definição clara do padrão de esforços no ambiente intraplaca brasileiro, já permitem prever que o campo de esforços não é uniforme, e muito possivelmente causas variáveis locais são bastante importantes comparadas com as fontes regionais”. Ou seja, as tensões apresentariam rearranjos locais em termos de orientação, que poderiam diferir consideravelmente da generalização acima exposta.

Em termos de interesse mais restrito à bacia do Rio do Peixe, pode-se partir dos trabalhos apresentados por Magalhães (1999) e Hasui *et al.* (1999). Tomando-se, primeiramente, a Figura 5, observam-se diversos feixes de lineamentos de direção EW cruzando tanto o território paulista quanto o paranaense; o detalhe mostrado pela figura também permite observar que estes feixes de lineamentos mostram zonas alternadas com densidades variáveis de traços. Estas variações revestem-se de grande importância para os propósitos de uma análise estrutural, pois configuram áreas de atuação de binários relacionados com atividades neotectônicas na região.

Os dados mais recentes relativos ao Projeto Neotectônica (Hasui, 2000) evidenciam que estes feixes de lineamentos EW também se fazem presentes em toda a porção ocidental do Estado de São Paulo, com destaque para duas faixas de grande realce: o vale do rio Paranapanema, na divisa de estado com o Paraná, e o vale do Rio Grande, a norte, junto à fronteira

com o Estado de Minas Gerais. Na área intermediária também existem feixes menores, um dos quais já delineado na Figura 5, na altura das cabeceiras do rio Aguapeí. Lineamentos de direção EW também foram detectados no estudo regional dos lineamentos, mais concentrados no âmbito do setores C, D, e F. Todavia, no geral, a bacia do Rio do Peixe aparenta estar situada em uma faixa com menor incidência dos traços EW, que caracterizam importantes zonas de transferência no interior da placa tectônica Sul-Americana. Nesse caso, ter-se-ia um predomínio de esforços  $\sigma_1$  subhorizontais, orientados na direção NW-SE, ou, mais precisamente em torno da direção N300, revelada pelo predomínio dos traços de lineamento fotointerpretados. Esta é, como já referido, a direção suspeita de representar o principal tensor hidráulico na área, coincidindo com a direção do chamado Alinhamento Guapiara (Ferreira *et al.*, 1981).

É preciso salientar que este é um modelo genérico, de orientação regional, e que devem existir campos locais de tensões, cujas orientações podem apresentar mudanças substanciais em relação ao padrão geral. Como exemplo destas variações pode ser citado o caso da falha de empurrão mapeada nas fundações da Barragem Canoas, de orientação WNW-ESE (bloco nordeste cavalgando o sudoeste). Esta falha foi interpretada como decorrente de uma transpressão local entre duas zonas transcorrentes EW, no interior das quais haveria uma tendência à rotação anti-horária, com o  $\sigma_1$  ficando posicionado na direção NNE-SSW (Magalhães, 1999 - p.183).

## COMPARTIMENTAÇÃO MORFOESTRUTURAL

O presente item foi organizado de modo a concatenar as principais informações estruturais, geomorfológicas, tectônicas e geológicas sobre o vale do Rio do Peixe com o quadro tectônico maior do oeste paulista e da região sudeste. As unidades básicas de análise são os quatro grandes setores estruturais definidos, aqui designados “compartimentos”, com base na densidade relativa de drenagens, nos traços de lineamentos obtidos em imagens de satélite, na configuração geomorfológica maior da bacia do Rio do Peixe, com ênfase nas assimetrias de bacias de drenagem de 4ª ordem, e em informações selecionadas de campo (Figura 9). Embora a divisão em termos geomorfológicos inclua um caráter transicional dos limites, os quadros de densidade de drenagens e de lineamentos mostram contatos mais abruptos. Os compartimentos receberam uma designação informal em números romanos, atribuídos das cabeceiras para o baixo vale. Como um apoio adicional, foi elaborado o Quadro 2, onde estão reunidas as principais informações que permitiram alicerçar as considerações de ordem tectônica para a bacia do Rio do Peixe.

Uma análise tectônica mais detalhada poderia ser feita nos diversos setores estabelecidos com base nos traços regionais de lineamentos (*cf.* Figuras 7 e 8), mas, com o escasso suporte de dados de campo, seria temerário avançar até esse grau de detalhamento. Todavia, acredita-se que, ao menos em termos regionais, já estejam configurados os principais setores da bacia e delineadas as áreas onde os trabalhos de campo devem ser concentrados para o refinamento da análise cinemática e de suas decorrências práticas.

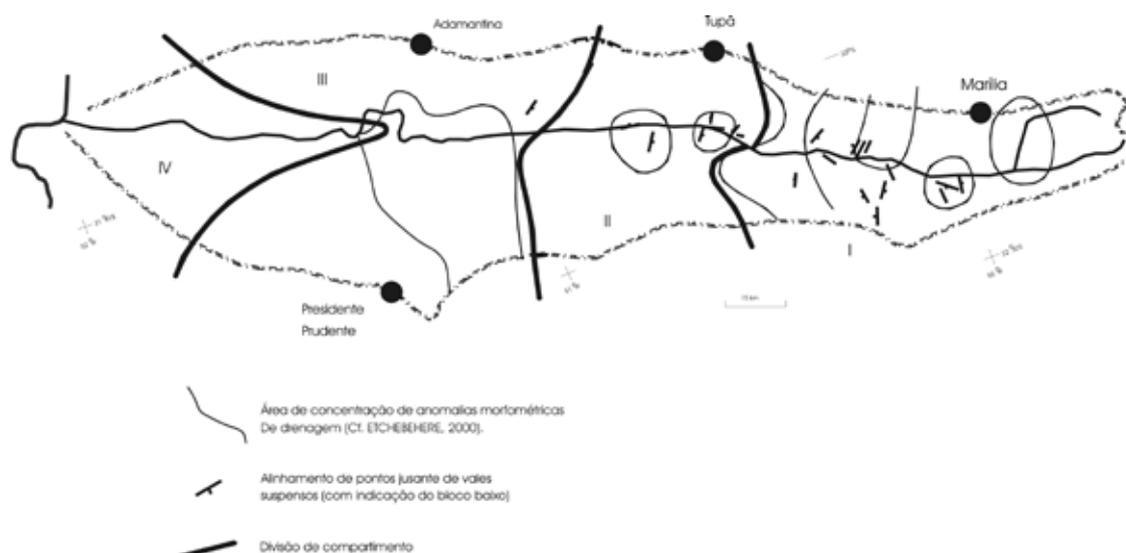


FIGURA 9: Principais compartimentos morfoestruturais da Bacia do Rio do Peixe.

FIGURE 9: Map showing the four main morphostructural sectors in the Rio do Peixe hydrographic basin.

Compartimento	Lineamentos em imagens do LANDSAT-5	Densidade relativa de drenagem	Vales suspensos (1)	Assimetrias de drenagem	Anomalias morfométricas (1)	Informações de campo (2)
I	Alta dispersão de direções	Alta	Freqüentes, direções predominantes: NE-SW, NS, e WNW	Basculamentos para os rumos WNW e ESE	Numerosas anomalias de RDE (totais e em segmentos de drenagem)	Presença de numerosos terraços e <i>inselbergs</i> , abundantes estruturas de liquefação, falhas NE-SW (normais ou inversas) e NW-SE (normais)
II	Direções predominantes: WNW-ESE, NW-SE, NNE-SSW, ENE-WSW	Baixa	Ocorrências localizadas, com direções EW e NNE	Tendências pouco nítidas, rumos dos principais basculamentos: NW, WSW, SW, ENE, e SE	Anomalias localizadas de RDE	Pronunciada assimetria do vale do Rio do Peixe, com a banda esquerda mais extensa.
III	Direções predominantes: WNW-ESE, NW-SE, NNE-SSW, ENE-WSW	Alta	Raras ocorrências	Tendência de basculamentos com rumos centrífugos a partir de alto na posição central do compartimento	Anomalias expressivas de RDE (totais e em segmentos de drenagem)	O compartimento abrange a Zona Sismogênica de Presidente Prudente (MIOTO 1993) e apresenta freqüentes e conspícuas estruturas de liquefação, incluindo vulcões de areia ( <i>sand blows</i> )
IV	Direções predominantes: WNW-ESE, NW-SE	Baixa	-	Basculamentos para rumos NE, SW, N, SE e E	Raras anomalias de RDE	Compartimento caracterizado por extensa planície de inundação do Rio do Peixe e pela presença de terraços e anomalias na geomorfologia fluvial no âmbito da desembocadura

(1) Segundo ETCHEBEHERE *et al.* (2004)

(2) Segundo ETCHEBEHERE (2000)

QUADRO 2: Síntese das principais características dos compartimentos morfoestruturais da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

CHART 2: Synthesis of the main characteristics of the morphostructural domains in the Rio do Peixe hydrographic basin.

### Compartimento I:

Abrange a região das cabeceiras do Rio do Peixe, caracterizando-se por elevada densidade de drenagem e de traços de lineamentos, bem como por anomalias localizadas de parâmetros morfométricos (RDE local e regional, *cf.* Etchebehere *et al.*, 2004; no prelo) e por um relevo peculiar, onde se destacam as escarpas do Planalto de Marília, separando dois compartimentos planálticos distintos, sendo que a superfície inferior é marcada pela presença de diversos *inselbergs*, concentrados em algumas das zonas limítrofes dos setores diferenciados na figura 7.

Praticamente todas as principais direções regionais de lineamentos estão presentes neste setor, e, paradoxalmente, é pequena a dispersão de assimetrias de drenagem, as quais apontam, regra geral, para os rumos WNW e ESE (Figura 8).

Os vales suspensos estão concentrados na porção sudoeste do setor e seus alinhamentos apontam para direções NE-SW, NS, e WNW. Nesta última direção há um predomínio de o bloco elevado se situar no lado meridional, o que poderia corroborar a presença de falhamentos normais na mesma direção; já nas outras duas direções, não se observa uma tendência clara.

Este setor inclui, também, um alto razoavelmente definido em seu limite ocidental, com reflexos na disposição dos alomembros mapeados por Etchebehere (2000). Esta área coincide com o trecho onde se concentram os vales suspensos (aliás, a maior concentração destas feições em todo o vale do Peixe) e é marcada por uma notável anomalia no perfil longitudinal do vale, que permite interpretar tal trecho como em processo de soerguimento.

São também deste setor os principais dados de campo, que abrangem tanto as estruturas de liquificação quanto medidas de falhas em afloramentos (Etchebehere, 2000). No caso das estruturas associadas aos processos de liquificação deve ser destacado que é justamente nesta anomalia estrutural que foram encontradas as mais expressivas feições de caráter intrusivo, incluindo diques com espessuras superiores a 1 m. Associadas aos sismitos foram também medidas diversas falhas, com rejeitos verticais que podem variar de centímetros a até mais de 1,5 m, sendo que neste segundo caso, ainda não foi possível definir o rejeito total. A tipologia das falhas é variada, incluindo aquelas de rejeito normal, as transcorrentes e até alguns empurrões. Há um predomínio de planos de falha, tanto normais quanto inversas, com direção NE-SW, e mergulhos tanto para NW quanto para SE. Este fato poderia ser um indicador da atuação de mais de um evento tectônico, muito embora ainda seja prematuro efetuar interpretações dessa ordem com base nos poucos dados estruturais obtidos em campo.

A região de Marília foi estudada em termos tectônicos por Magalhães (1999), baseando-se em falhas coletadas em afloramentos da Formação Marília. Tais falhas apresentam planos subverticais, com estrias sub-horizontais e rejeitos de pequena monta, incluindo tanto transcorrências dextrais quanto sinistrais, e secundariamente falhas normais e inversas. Mediante aplicação das técnicas de Arthaud (1969) e dos diedros retos (Angelier & Mechler, 1977), Magalhães (*op. cit.*) concluiu que as falhas transcorrentes desenvolveram-se por ação de  $\sigma_1$  em torno de NS/sub-horizantal e  $\sigma_3$  em torno de EW/sub-horizantal; as falhas dextrais e sinistrais têm as mesmas orientações, compondo três principais feixes, o que indicaria deformação heterogênea, com deslocamento desigual das lascas. As falhas normais, segundo o referido autor, poderiam ser resultado de transtensão localizada, induzida pela movimentação transcorrente. As falhas inversas têm estrias próximas aos rumos dos mergulhos dos planos, indicando que são do tipo frontal, sendo necessário pelo menos duas orientações de  $\sigma_1$  para explicar as falhas de direções NE-SW e as de direções NS e NW-SE. Devido ao fato de corresponderem a falhas observadas em rochas cretácicas, tem-se que levar em conta todo o quadro regional de maneira a poder conectar as deformações deduzidas com um quadro neotectônico — e não cretácico — de tensões.

Por fim, deve ser lembrado que nesta mesma área são encontradas ainda algumas ondulações em linhas de seixos que chegaram a ser interpretadas como referentes a dobras com eixos orientados na direção NE-SW (Prof. Dr. Norberto Morales, comunicação pessoal), estruturas estas ainda carentes de melhor definição em campo.

Em termos gerais, pode-se atribuir ao compartimento I, uma tendência geral de dissecação, que poderia refletir um

comportamento tectônico ascensional, mais conspícuo em algumas áreas localizadas, marcadas pela presença de feições geológicas diversas (vales suspensos, disposição dos alomembros, falhas, *inselbergs*, etc.). As estruturas de liquificação indicam que esta deformação é recente, muito embora não se possa precisar o início da ação do quadro de tensões indutor.

### Compartimento II:

Corresponde a uma área com baixa densidade de drenagem e de traços de lineamentos, dominada por um relevo relativamente suave, onde ainda podem ser encontrados remanescentes da superfície planáltica inferior. Em termos geomorfológicos, destaca-se apenas um entalhe pronunciado do Rio do Peixe, onde, inclusive aumenta a densidade de traços de drenagem e de lineamentos, e se fazem presentes anomalias morfométricas de drenagem, cascalheiras eluvionares, e alguns vales suspensos localizados, que poderiam indicar altos estruturais localizados.

As direções predominantes de lineamentos regionais são: WNW-ESE, NW-SE, NNE-SSW, e ENE-WSW. Os lineamentos extraídos de fotografias aéreas mostram uma dispersão maior de direções, incluindo, além das citadas direções, também NS e NE-SW. As bacias de drenagem mostram pequenos valores de assimetria, com os pólos se concentrando na porção central dos estereogramas (Figura 8). As tendências de assimetria são pouco proeminentes e apontam basculamentos para NW, WSW, SW, ENE, e SE, sem que se evidencie algum padrão deformacional nítido.

A deformação mais notável neste compartimento refere-se a um soerguimento localizado em sua porção central, e que foi seccionado pelo Rio do Peixe, configurando uma culminação de diversos tipos de anomalias morfométricas e geomorfológicas (vales suspensos, com predomínio de elevação no bloco setentrional), como pode ser visto na Figura 9. Outro aspecto interessante refere-se ao elevado grau de assimetria do próprio vale do Peixe, com a banda meridional sendo mais extensa do que a outra vertente, o que acaba tendo reflexos na divisão geomorfológica da área, incluindo uma maior dissecação na margem direita. De acordo com Etchebehere & Saad, (2002a,b), esta estrutura tem reflexos também na disposição das alonidades, separando praticamente as unidades do médio Peixe e as do alto curso, e incluindo alternância de blocos com predomínio de fácies de cascalheiras em topos de morrotes com blocos onde os terraços estão melhor preservados. Aqui nesta área também foram encontrados diversos indícios de sismicidade, registrados pela presença de estruturas de liquificação sob a forma de diques e *sills*.

### Compartimento III:

O presente compartimento se caracteriza como uma área de elevada densidade de drenagem e de traços de lineamentos, sendo bem marcado como um compartimento específico de média dissecação no mapa geomorfológico e coincidindo, ao menos na vertente esquerda da bacia, com uma elevação dos talvegues

das drenagens (Etchebehere 2000). Este setor coincide, também, com destacadas anomalias de RDE, tanto regionais como locais, que se refletem na distribuição das ocorrências dos alomembros A, B e C (Etchebehere & Saad 2002a,b). Além disso, trata-se de um terreno que pode ser incluído na zona sísmogênica de Presidente Prudente (MIOTO 1993), abarcando algumas das mais notáveis estruturas de liquefação de caráter extrusivo de todo o vale do Rio do Peixe.

As direções predominantes dos lineamentos regionais são: WNW-ESE, NW-SE, NNE-SSW, e ENE-WSW, confirmadas no caso dos lineamentos extraídos de fotografias aéreas na área mapeada em detalhe, sendo que em ambas as situações predominam aquelas direções referentes ao quadrante NW. No modelo regional de esforços aqui adotado, estas direções NW abarcariam os traços de falhas normais; os lineamentos ENE-WSW, por seu turno, poderiam representar direções de planos sujeitos a movimentos inversos, responsáveis pelo soerguimento relativo do setor, expresso na elevação dos talvegues, bem como pela própria intensidade de dissecação do relevo. Os basculamentos de blocos, inferidos pelas assimetrias das bacias de drenagem, indicariam um comportamento centrífugo, a partir de um possível alto na porção central deste setor.

Uma possibilidade a ser considerada refere-se ao fato de que este compartimento pode fazer parte da sutura Presidente Prudente. Sismicidade e anomalias expressivas de RDE (cf. Etchebehere et al. 2004, no prelo), além da elevada dissecação dos terrenos pela rede de drenagem, indicariam que esta é uma área que apresenta movimentação neotectônica. Nesse caso, considerando que a referida sutura tem reflexos em praticamente toda a pilha sedimentar da Bacia do Paraná, estar-se-ia diante de um exemplo clássico de tectônica ressurgente, no sentido de Hasui (1990).

#### Compartimento IV:

Este compartimento compreende a maior parte do baixo vale do Rio do Peixe, caracterizando-se por uma baixa densidade de elementos de drenagem e de traços de lineamentos, bem como por um relevo suave, onde se destaca sua ampla planície de inundação. Os dados dados morfométricos da rede de drenagem apontam para uma área em processo de subsidência, com algumas anomalias de RDE local junto ao talvegue do Rio do Peixe (Etchebehere 2000; Etchebehere *et al.* 2004). As principais direções de lineamentos são WNW-ESE, NW-SE, e, subordinadamente, ENE-WSW, sendo que estas de quadrante noroeste podem representar direções extensionais, a se levar em conta a presença de estruturas de reativação neotectônica coincidentes com os antigos traços do Alinhamento Guapiara. As assimetrias de bacias de drenagem indicam blocos basculados para nordeste, sudoeste, norte, sudeste e este; o que seria coerente com uma direção principal NW de falhas normais; os dois últimos rumos poderiam representar movimentos pivotais de blocos.

Uma interpretação alternativa deste compartimento pode ser feita utilizando-se as informações geomorfológicas das margens do rio Paraná, incluindo alguns dados de literatura (e.g., Stevax, 1993; Nakadu. 1998). Nesta concepção, as barrancas

do rio Paraná, de direções predominantes NNE, mostram-se bastante assimétricas, com a margem paulista elevada, mostrando afloramentos do Grupo Caiuá, e a sul-matogrossense rebaixada, comportando uma ampla planície de inundação. Tal fato poderia ser explicado por basculamentos para leste, como já suspeitado por Stevax (*op.cit.*). No caso específico da foz do Rio do Peixe, existe uma notável anomalia geomorfológica, com o rio Paraná formando uma grande alça e as situações topográficas das barrancas se invertendo, ou seja, a margem direita passa a ser íngreme, mostrando afloramentos do substrato cretácico e a margem paulista mostra um relevo suave. Este quadro indica que um basculamento para noroeste da margem paulista, nesta área anômala, confirmando a possibilidade de ocorrer, neste bloco, um jogo de falhas normais nas direções WNW e NNE, caracterizando uma zona de comportamento distensional, o que viria a reforçar a hipótese de este setor se tratar de uma área em processo atual de subsidência.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dos terraços no vale do Rio do Peixe foi condicionado por uma tectônica controladora dos níveis de base, o que permite explicar espessuras de até 40 m desses depósitos em alguns trechos, que não poderiam ser acumuladas apenas por processos puramente autocíclicos. Os dados cinemáticos obtidos na literatura sobre a região ocidental paulista apontam para a atuação de movimentações transcorrentes dextrais em extensos feixes de lineamentos EW, o que reflete um regime tectônico interior possivelmente ligado ao deslocamento da placa sul-americana para oeste. Nas áreas interfeixes, como é o caso da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, o elipsóide de tensão tem seu eixo máximo orientado na direção NW-SE, condicionando o aparecimento de estruturas transpressivas e transtensivas, que terminam por controlar a própria dinâmica fluvial na área, bem como a formação e a preservação ou a destruição dos depósitos aluvionares. Esta tectônica tem atuado há pelo menos 34 ka, embora não se possa precisar a idade da implantação do quadro vigente de tensões.

O quadro estrutural regional, analisado em imagens de sensores remotos e em mapas topográficos plani-altimétricos disponíveis, revela maior frequência de lineamentos nas direções EW, NW-SE (290-320°), NS (350-10°), e ENE-WSW (50-70°). Os lineamentos de direção NW são predominantes, tanto em nível de imagens de satélite, quanto em fotografias aéreas e mesmo em medidas de afloramentos. Esta direção foi interpretada como sendo o tensor hidráulico regional, ou seja, a orientação das descontinuidades com maior tendência à abertura (direção distensional), que propiciam um encaixe mais fácil dos elementos de drenagem e facilitam a percolação das águas subterrâneas.

Examinando-se um pouco mais detalhadamente o quadro de lineamentos e os contextos geomorfológico e geológico, pôde-se subdividir a área da bacia do Rio do Peixe em setores caracterizáveis por diferentes frequências das direções estruturais mais proeminentes da área, bem como por eventuais incidências localizadas de outras famílias de descontinuidades. Estes setores apresentam dimensões da ordem de centenas de

quilômetros quadrados e podem corresponder a blocos estruturais com deformações tectônicas diferenciadas. Tais deformações podem ser deduzidas por reflexos nas assimetrias das bacias de drenagem na área de abrangência de cada bloco (indicando possíveis basculamentos), no grau de dissecação dos terrenos (que podem refletir áreas com movimentação vertical, onde pontilham *inselbergs* e maior número de depósitos de terraço), na disposição dos alomembros mapeados (mais preservados em blocos rebaixados; terraços mais numerosos podendo indicar áreas com pulsos ascensionais) e das fácies predominantes (cascalheiras de topos de elevações podem indicar áreas mais erodidas). Adicionalmente, as anomalias morfométricas da rede de drenagem devem representar os setores de movimentação tectônica mais recente, com possibilidades de ainda estarem ativas, traduzindo-se em convexidades no perfil longitudinal dos vales, na presença de vales suspensos e de trechos de avulsão, e em índices RDEs típicos de áreas tectonicamente ativas (q.v., Etchebehere *et al.* 2004, no prelo). Com os dados ora disponíveis ainda não é possível o detalhamento interno das estruturas presentes em cada bloco, bem como do discernimento daquelas feições ativas, mas a própria variabilidade de assimetrias de bacias de drenagem e a presença localizadas de anomalias morfométricas são indicadores de geometrias e comportamentos tectônicos diferenciados nas porções internas destes setores.

Em termos gerais, a bacia do Rio do Peixe pode ser subdividida em quatro grandes compartimentos no que se refere à presença de anomalias morfométricas, de densidade de drenagem e de lineamentos, na compleição geomorfológica, e na disposição das unidades cenozóicas, em especial dos alomembros. Dois compartimentos se mostram mais intensamente dissecados e submetido a deformações recentes, um nas cabeceiras do Rio do Peixe e outro nas proximidades do limite médio-baixo vale, coincidindo com a área da sutura crustal Presidente Prudente. Interpondo-se entre ambas pode ser estabelecido um terceiro compartimento, com expressiva assimetria do vale (margem esquerda mais ampla), mas com poucas estruturas evidentes. Neste compartimento, inclusive, podem ser encontrados remanescentes da superfície planáltica rebaixada. O último compartimento corresponde ao baixo vale do Rio do Peixe, compondo-se como uma região de relevo suave, baixa densidade de drenagem, ampla planície aluvionar recente e que foi interpretada em termos morfométricos e tectônicos como apresentando uma tendência generalizada à subsidência. Detalhamentos adicionais desses compartimentos demandam estudos mais detalhados de campo, incluindo coleta sistemática de dados estruturais, com a provável demanda por abertura de escavações uma vez que os afloramentos são escassos e pouco elucidativos.

A atuação de processos neotectônicos na bacia do Rio do Peixe é corroborada pela sismicidade histórica (região sismogênica de Presidente Prudente) e também pelo registro das estruturas de liquificação, indicativas de eventos sísmicos de magnitude expressiva, coetânea ao desenvolvimento das planícies aluvionares neopleistocênicas. As feições interpretadas como de origem sísmica apresentam um elevado potencial para se detalhar a sismicidade da área e até mesmo auxiliar na elaboração de mapas de riscos sísmicos do oeste paulista, sempre lembrando que elas registram eventos de expressiva magnitude, potencialmente danosos se incidentes no quadro atual de ocupação humana desta região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1964. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. IGG*, v. 41, p. 169-263.
- ANGELIER, J.; MECHLER, P. 1977. Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable in tectonique et en sismologie; le méthode des diédres droits. *Bull. Soc. Géol. Gr.*, v. 7, n. 6, p. 1.309-1.318.
- ARTHAUD, F. 1969. Méthode de détermination graphique das directions de raccourciment, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, v. 11, p. 720-737.
- ASSUMPTÃO, M. 1992. The regional intraplate stress field in South America. *J. Geoph. Res.*, v. 97, n. B8, p. 11.889-11.903.
- BADGLEY, P.C. 1959. *Structural methods for the exploration geologist*. New York. Harper and Brothers. 280 p.
- CGG - COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLOGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1913. *Exploração do Rio do Peixe*. São Paulo. 2ª Edição. Typ. Brazil de Rothschild & Cia. 39 p.
- COX, R.T. 1994. Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 106, p. 571-581.
- ETCHEBEHERE, M.L.C. 2000. *Terraços neokuaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas*. Rio Claro. 2 v. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – UNESP).
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R. 2002a. Feições de liquificação no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista – Implicações paleossísmicas. *Geociências*, v. 21, n. 1/2, p. 43-56.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R. 2002b. Depósitos neocenozóicos de terraço no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista, Brasil: implicações neotectônicas a partir da abordagem alostratigráfica. In: JORNADAS URUGUAYAS DEL CENOZOICO, 2, Montevideo, 2002. *Anais...* Montevideo, Universidad de La Republica, 2002, p. 13-19.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R. 2003. Fácies e associações de fácies em depósitos neokuaternários de terraço na bacia do Rio do Peixe, região ocidental paulista. *Geociências*, v. 22, n. 1, p. 5-16.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; HASUI, Y.; MAGALHÃES, F.S.; FRANGIPANI, A. 1992. Análise estrutural aplicada à prospecção de fontes termais no Planalto de Poços de Caldas (SP/MG). In: HASUI, Y. & MIOTO, J.A. (coords.) *Geologia Estrutural Aplicada*. São Paulo. ABGE. p. 439-459.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; GARCIA, M.J.; BRANDT NETO, M.; ZANARDO, A. 2003. Fácies pelíticas em depósitos de terraços no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista, Brasil: considerações paleoambientais e econômicas. *Geociências*, v. 22, n. 1, p. 17-31.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO. 2004. Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão – RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, v. 4, n. 2, p. 43-56.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; SANTONI, G.; CASADO, F.C.; FULFARO, V.J. (submetido) Detecção de deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista,

- mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. Artigo submetido à Revista *Geociências*. UNESP.
- FERREIRA, F.J.F.; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P.; VIANNA, R.B. 1981. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. *Atas...* Curitiba, SBG-SP, p. 226-240.
- FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. 1999. Bacia Caiuá: uma nova bacia cretácica na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DO CRETÁCEO, 5, Serra Negra (SP), 1999. *Boletim...* Serra Negra, UNESP, p. 439-442.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1, Belo Horizonte, 1990. *Boletim SBG*, n. 11, p.1-31.
- HASUI, Y.; SENA COSTA, J.B. 1996. Neotectônica - Fundamentos, métodos e técnicas de análise. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, Belém, 1996. *Notas de curso...* Belém, SGB-Núcleo Norte, 20 p.
- HASUI, Y.; SENA COSTA, J.B.; BORGES, M.S.; JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MORALES, N. 1999. Compartimentação neotectônica do lineamento Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS -SNET, 7, Lençóis, BA, 1999. *Atas...* Lençóis, SBG-BA, Sessão 4, p. 37-39.
- HASUI, Y.; MAGALHÃES, F.S.; COPPEDÊ Jr., A.; MARGUTTI, R.L. 1992. Mina de carbonatito de Jacupiranga (SP): permeabilidade do maciço avaliada pelo método geoestrutural. In: HASUI, Y. & MIOTO, J.A. (coords.) *Geologia Estrutural Aplicada*. São Paulo. ABGE, p. 383-393.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1989. *Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo. 2 v. (IPT. Relatório 27.394).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1992. *Sismotectônica e dinâmica superficial na área do Complexo Hidrelétrico Canoas, SP e PR*. São Paulo. 4 v. (IPT. Relatório 30.924).
- JUSTUS, J.O. 1985. *Subsídios para interpretação morfogenética através da utilização de imagens de radar*. Salvador. 204 p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia).
- LIU, C.C. 1984. *Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro*. São Paulo. 157 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP).
- MACEDO, J.M.; BACCOLLI, G.; GAMBOA, L.A.P. 1991. O tectonismo meso-cenozóico da região sudeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo, SBG-SP, p. 429-437.
- MAGALHÃES, F.S. 1997. Tensões em maciços: aplicação em projetos de engenharia em rocha. *Revista UnG – Série Geociências*, v. 2, n. 6, p. 7-18.
- MAGALHÃES, F.S. 1999. *Tensões regionais e locais: casos no território brasileiro e padrão geral*. São Carlos. 225 p. (Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – USP).
- MAGALHÃES, F.S.; SERRA Jr., E. 1995. Falhamento inverso em basaltos nas fundações da Usina Hidrelétrica Canoas I, rio Paranapanema (SP/PR). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, 1995. Águas de São Pedro. *Boletim de Resumos...* Rio Claro, SBG-SP/RJ/ES, p. 123.
- MAGALHÃES, F.S.; MARQUES, J.D.; SERRA Jr., E. 1992. Análise estrutural do maciço rochoso de fundação da barragem de Porto Primavera, Rio Paraná (SP/MS). In: HASUI, Y. & MIOTO, J.A. (coords.) *Geologia Estrutural Aplicada*. São Paulo, ABGE-VOTORANTIM, p. 297-311.
- MELLO, C.L. 1997. *Sedimentação e tectônica cenozóica no médio vale do Rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas implicações na evolução de um sistema de lagos*. São Paulo. 288 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade São Paulo – USP).
- MIOTO, J.A. 1993. *Sismicidade e zonas sísmogênicas do Brasil*. Rio Claro. 2 v. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - UNESP).
- NAKASU, L. 1998. *Recursos minerais do rio Paraná a montante de Guaira*. Rio Claro. 211 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - UNESP).
- NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE. 2ª ed. 422 p.
- RICCOMINI, C. 1997. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 27, n. 2, p. 153-162.
- SAAD, A.R. 1997. *Análise da produção técnico-científica*. Rio Claro. 150 p. (Texto apresentado ao Concurso para obtenção do título de Livre-Docente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - UNESP).
- SAADI, A.; HASUI, Y.; MAGALHÃES, F.S. 1991. Informações sobre a neotectônica e morfogênese de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS – SNET, 3, 1991. Rio Claro. *Boletim...* Rio Claro, UNESP-SBG, p. 105-109.
- SABINS Jr., F.F. 1978. *Remote sensing principles and interpretation*. San Francisco. W.H. Freeman. 426 p.
- SALVADOR, E.D.; RICCOMINI, C. 1995. Neotectônica do alto estrutural da região de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, v. 25, n. 3, p. 151-164.
- SERRA Jr., E.; MAGALHÃES, F.S.; AZEVEDO, A.A. 1986. Análise das feições estruturais para o estado de tensões atuais no maciço basáltico de Taquaruçu. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE MECÂNICA DE ROCHAS, 2, Porto Alegre, 1986. *Anais...* Porto Alegre, ABMS/CBMR, p. 252-262.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Rev. Bras. Geoc.*, v.10, n.3, p. 177-185.
- SOUZA, I.A. 2000. *Mudança no canal do rio Paraná durante o Holoceno*. Rio Claro. 139 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – UNESP).
- STEVANUX, J.C. 1993. *O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)*. São Paulo. 243 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP).
- TAYLOR, G.R. 1988. Image analysis techniques for the interpretation of airphoto lineaments, petroleum exploration, Eromanga Basin, Australia. *Geocarto Int.*, v. 3, p. 53-60.
- ZOBACK, M.L. 1992. First- and Second-Order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *J. Geoph. Res.*, v. 97, n. B8, p. 11.703-11-728.