

DETECÇÃO DE PROVÁVEIS DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NO VALE DO RIO DO PEIXE, REGIÃO OCIDENTAL PAULISTA, MEDIANTE APLICAÇÃO DE ÍNDICES RDE (RELAÇÃO DECLIVIDADE-EXTENSÃO) EM SEGMENTOS DE DRENAGEM

Mario Lincoln De Carlos ETCHEBEHERE ¹, Antonio Roberto SAAD ^{1; 2}, Gisele SANTONI ², Fabio da Costa CASADO ³, Vicente José FULFARO ²

(1) Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão (EPPE), Universidade Guarulhos (UnG). Praça Tereza Cristina, 1. Centro. CEP 70023-070. Guarulhos, SP. Endereço eletrônico: metchebehere@ung.br. (2) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515. Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. (3) Laboratório de Geociências (LabGeo), Universidade Guarulhos (UnG). Praça Tereza Cristina, 1. Centro. CEP 70023-070. Guarulhos, SP.

Introdução
Contextos Geológico, Geomorfológico e Tectônico
Índice RDE – Conceito e Aplicações
Princípios e Procedimentos
Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe
Cotejamento com o Substrato Rochoso
Discussão dos Resultados
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – Os cursos d'água representam um dos principais agentes de modelagem do relevo, propiciando, sob a ação da gravidade, a esculturação dos vales e a formação de depósitos aluviais. Eles se ajustam rapidamente a quaisquer deformações crustais, incluindo aquelas mais tênues. Essa característica os torna ferramentas importantes para os estudos de natureza neotectônica, em especial a análise dos parâmetros morfométricos, tais como o gradiente hidráulico e a extensão do curso (diretamente proporcional à descarga), que podem ser combinados gerando o chamado índice RDE (Relação Declividade vs. Extensão). O propósito do presente artigo é apresentar a aplicação do índice RDE na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, com o objetivo de delinear áreas sujeitas a deformações de ordem neotectônica. Esta bacia está instalada sob um substrato rochoso referente aos grupos Caiuá e Bauru, do Cretáceo, afloramentos localizados de basaltos da Formação Serra Geral (130 Ma) e sedimentos quaternários (aluviões recentes e depósitos pleistocênicos de terraço). Na porção final do artigo, faz-se uma correlação entre os resultados obtidos de RDE e o contexto tectônico admitido para esta parte do Estado de São Paulo, incluindo informações geológicas de campo e dados sismológicos e paleo-sismológicos. Como resultados alcançados, foram identificados dois conjuntos de anomalias: o primeiro, caracterizado por valores de 2ª ordem, demarca a borda do Planalto de Marília-Exaporã, e o segundo, de maior expressão por reunir valores de 1ª ordem na porção central da bacia, associa-se à zona sismogênica de Presidente Prudente.

Palavras-chave: Rio do Peixe, Neotectônica, morfometria fluvial, Relação Declividade-Extensão (RDE), Planalto Ocidental Paulista.

ABSTRACT – M.L. De C. Etchebehere, A.R. Saad, G. Santoni, F. da C. Casado, V.J. Fulfaro – *Detection of probable neotectonic deformations in the Rio do Peixe Valley, Western São Paulo State Plateau, Brazil, using the Stream-Gradient Index (SL index).* Running water is one of the most important of all the physical processes which fashion the landscape, allowing gravity to operate along the valley floors. Besides this, the streams show a fast adjustment to the crustal deformations, even to the most gentle ones. This geologic behavior turns them a potential tool for neotectonic studies, specially the analysis of morphometric parameters associated with hydraulic gradient and discharge, this second factor being directly proportional to the extension of the streams. Both elements, gradient and stream length, can be combined in the SL index. The purpose of this paper is to show the RDE index application in the neotectonics analysis of the Rio do Peixe hydrographic basin and to compare the obtained values with the geologic basement incised by the streams. This basement encompasses Cretaceous sedimentary rocks of post-Serra Geral Formation magmatism (Caiuá and Bauru groups) and Quaternary deposits that include chiefly recent alluvial plains and some Pleistocene terrace deposits. In the final part of this paper, an attempt is made in order to correlate the RDE results and the neotectonic framework admitted to this portion of the São Paulo State territory, as well as with field geologic, seismologic and paleoseismologic known elements. The results indicate the presence of two groups of anomalies: The first set corresponds to the Marília-Exaporã Plateau border, and the second one, located in the central portion of the hydrographic basin, is correlated to the Presidente Prudente seismogenic zone.

Keywords: Rio do Peixe hydrographic basin, Neotectonics, fluvial morphometry, Stream-Gradient Index, Western São Paulo State.

INTRODUÇÃO

A análise de padrões de drenagem tem sido empregada, de longa data, na identificação de estruturas geológicas ou de características físicas do substrato

rochoso, podendo ser mencionadas as contribuições pioneiras de Zernits (1932), Horton (1945), Strahler (1952 a, b), Howard (1967), Rivereau (1969) e

Christofoletti (1969). A despeito do inegável valor de tais análises, tanto para os estudos geomorfológicos quanto para a fotointerpretação e o mapeamento geológico, pouco foi explorado em termos de ferramenta de análise neotectônica.

Dentre os estudos de parâmetros morfométricos da rede de drenagem que tiveram como fito a detecção de deformações tectônicas crustais, especialmente em avaliações de caráter regional, em diversos contextos, podem ser citadas as contribuições de Volkov et al. (1967), Hack (1973), Burnett & Schumm (1983), Seeber & Gornitz (1983), McKeown et al. (1988), Rhea (1989), Mayer (1992), Marple & Talwani (1993), Merritts & Hesterberg (1994), Boyd & Schumm (1995), Schumm & Spitz (1996), e Spitz & Schumm (1997). Na literatura geológica do Brasil também pontilham contribuições similares, podendo ser citados, entre outros, os trabalhos de Björnberg (1969 a, b), pioneiros em termos neotectônicos; Rodriguez & Suguio (1992) e Rodriguez (1993), referentes à região amazônica; Takiya (1997), com aplicação na Bacia Sedimentar de São Paulo; e Etchebehere et al. (2004), com emprego

do índice RDE regional na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, oeste do Estado de São Paulo.

Concernente aos diversos parâmetros morfométricos destaca-se o aqui chamado **Índice RDE (Relação Declividade vs. Extensão)**, proposto inicialmente por Hack (1973), sob a designação de *Stream-Gradient Index* ou simplesmente índice SL [Relação *Slope* (declive da drenagem ou de um determinado trecho desta) vs. *Length* (extensão da drenagem ou de um trecho específico)]. O índice SL, também conhecido na literatura como “Índice de Hack”, em homenagem ao seu mentor original, foi aplicado a análises de cunho neotectônico em diversos contextos geológicos, com destaque para os exemplos seguintes: para a avaliação da história deformacional do Himalaia (Seeber & Gornitz, 1983); para analisar a implicação neotectônica de registros sísmicos reportados nos estados de Arkansas e Missouri (USA) (McKeown et al., 1988), para analisar o comportamento da Falha de San Andreas (Califórnia, USA), na junção tríplice das placas tectônicas Norte-Americana, do Pacífico e Gorda (Merritts & Vincent, 1989); e também para definir

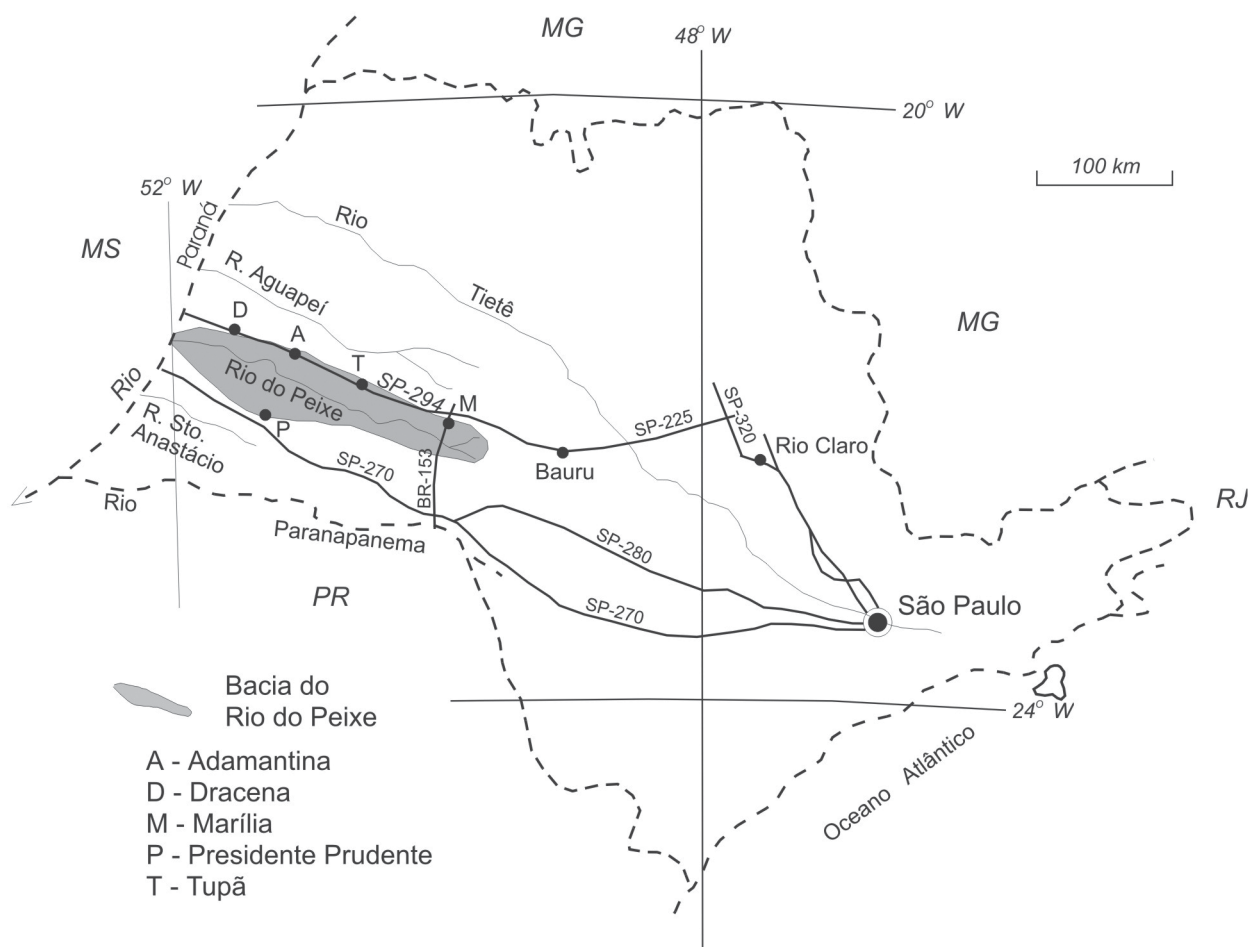


FIGURA 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

a Falha (cega) de Woodstock, na região de Charleston, Carolina do Sul (USA), onde houve a incidência de um terremoto expressivo em 1886 ($m_b = 6,6-6,9$), com ampla ocorrência de processos de liquefação (Rhea, 1989; Marple & Talwani, 1993).

O presente trabalho busca apresentar a análise neotectônica empreendida na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (Figura 1) com base no emprego do índice RDE local ($RDE_{\text{segmento}} - RDE_s$), i.e., aplicado em segmentos de drenagem, estabelecidos com base nas isoípsas contidas nas folhas topográficas 1:50.000 que

abrangem a área de estudo. Objetiva-se cotejar os resultados morfométricos com o substrato geológico entalhado pelas drenagens no vale do Rio do Peixe, buscando estabelecer relações entre os índices morfométricos calculados e as características físicas das diversas unidades estratigráficas sulcadas pelos cursos d'água, discernindo-se aquelas situações onde seja possível configurar deformações neotectônicas. Adicionalmente, são também empregadas as informações geológicas e paleo-sismológicas disponíveis para esta porção do território paulista.

CONTEXTOS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E TECTÔNICO

A bacia hidrográfica do Rio do Peixe insere-se no âmbito do Planalto Ocidental Paulista (cf. Almeida, 1964), onde se constata o predomínio de relevo colinoso, com formas amplas e de baixa amplitude, afora ocorrências localizadas de morrotes, escarpas e *inselbergs*. As cabeceiras do Rio do Peixe alojam-se no chamado Planalto de Marília-Exaporã, que é a entidade geomorfológica de maior expressão no Planalto Ocidental Paulista, constituindo a superfície cimeira da região. A bacia do Rio do Peixe propriamente dita ocupa um nível planáltico rebaixado, cujas altitudes variam de 550 a 250 m, com gradual diminuição das cotas rumo ao rio Paraná, a drenagem-tronco onde deságua o Peixe. A morfologia colinosa, marcada por interflúvios amplos, de topo plano e vertentes suavemente convexas, encontra-se elaborada sobre formações superficiais, em geral caracterizadas por latossolos de espessuras métricas, com coluvionamentos esparramados pelas vertentes. Relevos modelados por acumulação restringem-se a planícies aluvionares do baixo Rio do Peixe, a trechos inferiores de seus principais afluentes ou, ainda, a calhas aluviais a montante de esporádicas soleiras.

O substrato geológico compreende, essencialmente, rochas sedimentares cretáceas referentes aos grupos Caiuá e Bauru (*sensu* Fulfaro et al., 1999a), raras ocorrências de basaltos da Formação Serra Geral, sedimentos aluviais modernos (as já mencionadas planícies fluviais) e pleistocênicos (terraços de acumulação enfeixados na chamada Aloformação Rio do Peixe, conforme designados por Etchebehere, 2000), colúvios, elúvios e leques aluviais recentes, estes de inequívoco caráter tecnogênico. A distribuição em planta das unidades que compõem o substrato rochoso pode ser vista na Figura 2.

Os basaltos encontram-se aflorantes no chamado Salto de Quatiara, onde possibilitaram a construção de uma pequena hidrelétrica e chegaram a ser explorados para brita, e, em um segundo ponto, de menor expres-

são, condicionando apenas corredeiras. Em Quatiara pode-se observar o contato com as rochas do Grupo Caiuá, marcado por discordância erosiva e forte lateritização; as rochas sedimentares sobrepostas assentam-se em basalto maciço e incluem, na base, fragmentos do substrato ígneo.

O Grupo Caiuá mostra-se formado essencialmente por arenitos, maciços ou com estratificações cruzadas de grande porte. Abrangem, inclusive, o Geossolo Santo Anastácio, conforme concepção de Fulfaro et al. (1999b). Recobrindo o Caiuá, observam-se arenitos lamíticos e lamitos esverdeados, com freqüentes ocorrências de moldes de cristais salinos, da Formação Araçatuba; arenitos e lamitos ricos em estruturas sedimentares (estratificações cruzadas, marcas de carga, *ripples*, acamamento gradacional, *clay balls*, bioturbações, além de prováveis sismitos) da Formação Adamantina; e, por fim, arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e lamitos da Formação Marília, acometidos, em larga escala, por carbonatação epigenética do tipo calcrete.

Os terraços de acumulação que compõem a chamada Aloformação Rio do Peixe abrangem corpos arenosos e areno-conglomeráticos maciços ou com estratificações cruzadas acanaladas, bancos de cascalho, siltitos e argilitos, maciços ou laminados, ricos em restos vegetais carbonizados. Etchebehere & Saad (2003) identificaram, nesses depósitos, 14 fácies siliciclásticas, cujas associações, bem como os aportes de dados palinológicos e mineralógicos possibilitaram definir um ambiente deposicional caracterizado por um contexto fluvial entrelaçado, gradando para termos meandranes psamíticos, com ocorrências localizadas de lagos condicionados por fatores tectônicos, e também de estruturas de liquefação (intrusões e extrusões de areia), interpretadas como decorrentes de eventos sísmicos expressivos (Etchebehere & Saad, 2002). Os depósitos de terraço podem ter espessuras de até 40 m e 3 datações por ^{14}C indicam idades

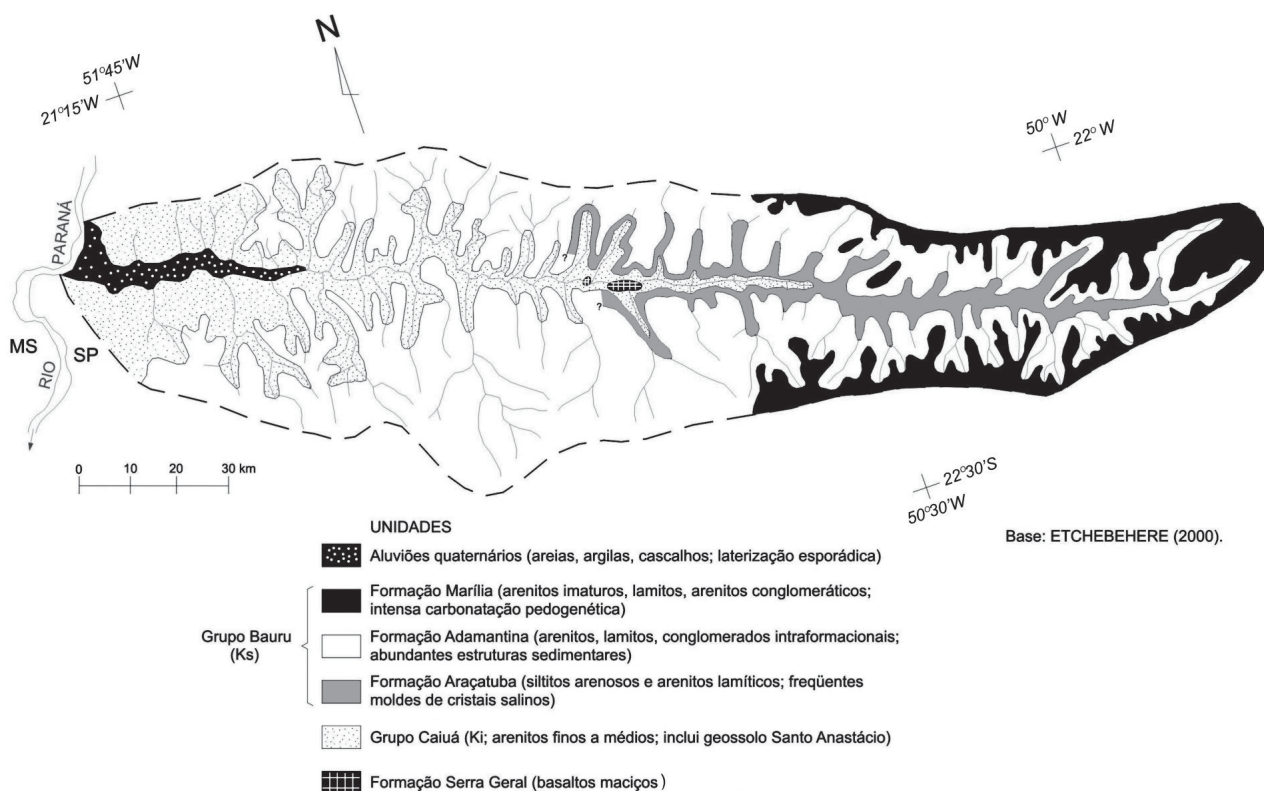


FIGURA 2. Mapa de unidades litoestratigráficas da bacia do Rio do Peixe.

variando entre 34 e 10 ka AP; objetos indígenas têm sido encontrados em colúvios que capeiam estes terraços ou mesmo no topo de lentes conglomeráticas expostas, o que impõe um limite superior para tais depósitos da ordem de pelo menos 7 ka, a prevalecer dados antropológicos disponíveis sobre a ocupação humana desta parte do território paulista (Etchebehere, 2000).

Os dados cinemáticos disponíveis na literatura geológica sobre o oeste paulista (e.g., Hasui, 1990; IPT, 1992; Magalhães et al., 1996; Riccomini, 1997; Hasui et al., 1999) apontam para a atuação de movimentações transcorrentes dextrais ao longo de estruturas de direção EW, o que refletiria um regime tectônico interior possivelmente ligado ao deslocamento da Placa Sul-Americana para oeste. Nas áreas interfeixes, como é o caso do vale 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 destruição dos depósitos aluvionares. Esta tectônica tem atuado há pelo menos 34 ka, embora não se possa precisar a idade de implantação do quadro vigente de tensões.

Com base no estudo de lineamentos e da rede de

drenagem obtidos em imagens de sensores remotos, Etchebehere (2000) caracterizou uma série de setores estruturais, com áreas da ordem de centenas de quilômetros quadrados e que podem corresponder a blocos com deformações tectônicas diferenciadas. Estas deformações podem ser deduzidas pelos reflexos nas assimetrias das bacias de drenagem na área de abrangência de cada bloco (indicando possíveis basculamentos), no grau de dissecação do terreno (que pode refletir áreas com movimentações verticais), na disposição dos alomembros mapeados (mais preservados em blocos rebaixados; terraços mais numerosos podem indicar áreas com pulsos ascensionais etc.), e das fácies predominantes (cascalheiras em topos de elevações podem indicar áreas mais erodidas) – Figura 3. Pelo menos três episódios sísmicos relevantes (magnitudes superiores a 5,7 graus na Escala Richter) foram constatados no registro sedimentar quaternário nessa parte do Planalto Ocidental Paulista (Etchebehere, 2000; Etchebehere & Saad, 2002), o que reforça a necessidade de se dispor de mais informações sobre a atuação de processos neotectônicos nesta parte da região Sudeste do Brasil, especialmente em decorrência do avanço da ocupação territorial e da presença de cidades e obras civis de grande porte, como hidrelétricas e dutovias.

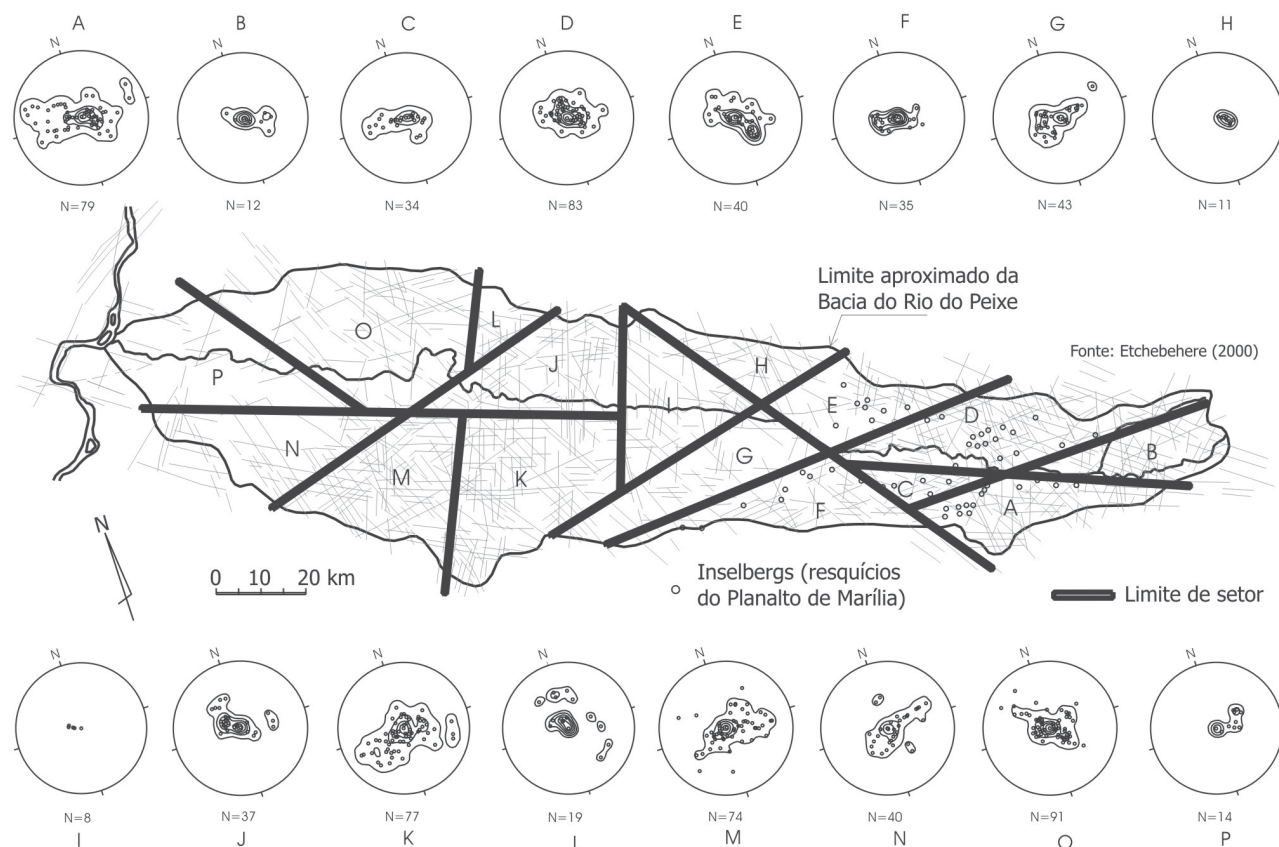


FIGURA 3. Mapa de lineamentos e delimitação dos principais setores estruturais (caracterizados por conjuntos específicos de famílias de lineamentos) na bacia do Rio do Peixe. Os estereogramas indicam as tendências de assimetrias de drenagem para cada setor, conforme a técnica de Cox (1994). Extraído de Etchebehere (2000).

ÍNDICE RDE – CONCEITO E APLICAÇÕES

PRINCÍPIOS E PROCEDIMENTOS

Como já mencionado, Hack (1973) estabeleceu originalmente um índice fluvio-morfométrico para analisar os perfis longitudinais dos cursos d'água, ou de determinados trechos destes, ao qual designou índice *SL* (*Stream-Gradient index*). Tal índice refere-se à declividade de um determinado trecho de um rio multiplicada pela distância do referido trecho à nascente, não devendo, assim ser confundido com gradiente hidráulico, que é simplesmente a razão entre a diferença altimétrica entre dois pontos distintos do curso e a distância horizontal entre ambos. No presente artigo, tal índice foi denominado “Relação Declividade-Extensão – RDE” (cf. Etchebehere et al., 2004).

É importante salientar que o índice RDE correlaciona-se com os níveis de energia da corrente (*stream power*), refletida na capacidade de esta erodir o substrato e/ou de transportar a carga sedimentar. Conforme destacado por Keller & Pinter (1996, p. 129), esta energia é proporcional à declividade da superfície por onde flui o curso d'água (o gradiente) e à descarga (volume) do caudal naquele trecho, este segundo fator

sendo considerado diretamente proporcional ao comprimento da drenagem.

Os índices RDE_s são indicadores sensíveis de mudanças na declividade de um canal fluvial, que, por sua vez pode estar associada a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou à atividade tectônica. O índice cresce onde o rio flui por sobre rochas mais resistentes e decresce onde percorre um substrato mais macio. Caso seja possível eliminar o fator litológico ou a eventual presença de tributários de porte como agentes causativos da elevação do índice RDE em um determinado trecho de rio, pode-se asseverar da atuação de processos neotectônicos. Dessa forma, as anomalias de RDE servem como um adequado indicador de áreas suspeitas de atividade deformacional recente e passam a constituir alvos para verificações de campo, aumentando a efetividade da análise tectônica em áreas de grande extensão como é o caso da bacia do Rio do Peixe.

O índice RDE pode ser calculado da seguinte forma:

$$RDE = (\Delta H / \Delta L) \cdot L \quad (1),$$

onde, ΔH é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água; ΔL é a projeção horizontal da extensão do referido segmento (i.e., $\Delta H / \Delta L$ corresponde ao gradiente da drenagem naquele trecho); e L corresponde à distância deste segmento para o qual o índice RDE está sendo calculado e a nascente da drenagem. A Figura 4 possibilita um entendimento mais claro de como pode ser calculado o índice RDE para um determinado trecho de drenagem (Etchebehere et al., 2004).

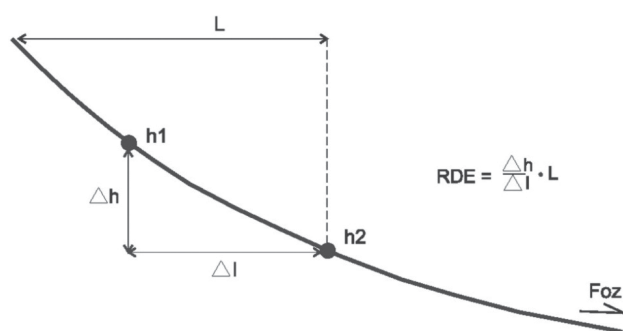


FIGURA 4. Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmentos de drenagem (intervalo entre duas isoípsas consecutivas). L = comprimento da drenagem entre a cabeceira e a isoípsa jusante; Δh = diferença de altitude entre duas isoípsas subseqüentes; ΔL = projeção horizontal do comprimento do segmento de drenagem entre duas isoípsas subseqüentes. Extraído de Etchebehere (2000).

O índice RDE pode ser calculado para toda a extensão de um rio ("whole" slope vs. length index), considerando-se a amplitude altimétrica total, ou seja, a diferença topográfica (em metros) entre a cota da cabeceira e a cota da foz, e o logaritmo natural de toda sua extensão (cf. McKeown et al., 1988). Os índices RDE_s aplicados a toda a extensão da drenagem (RDE_{total} ou RDE_t) possibilitam uma avaliação regional expedita de grandes áreas; aqueles referentes a segmentos de drenagem ($RDE_{segmento}$ ou RDE_s) têm conotação mais local, aplicando-se a análises tectônicas de detalhe, conforme abordado no presente trabalho. Pode-se utilizar, inclusive, relações entre índices locais (RDE_s) e índices de toda a extensão da drenagem (RDE_t), tal como procederam Seeber & Gornitz (1983) para análises tectônicas na cordilheira himalaiana e como foi também adotado no presente trabalho.

Os procedimentos para se calcular o índice RDE na bacia do Rio do Peixe foram os seguintes:

- selecionaram-se os cursos d'água de porte mais

expressivo nas folhas topográficas em escala 1:50.000, adotando-se como critério aquelas drenagens com extensão superior a 15 km na maior parte dos casos (Figura 5; Tabela 1);

- mediu-se, com o auxílio de um curvímeter, o comprimento das linhas azuis das drenagens escolhidas nas cartas topográficas, tabulando-se as diferenças altimétricas (eqüidistância de 20 m no caso das bases adotadas) e a extensão horizontal de cada segmento de drenagem compreendido entre duas isoípsas subseqüentes. As cotas da nascente e da foz foram estimadas;
- os valores tabulados compuseram uma planilha eletrônica, na qual foram calculados os índices RDE_t , incluindo as unidades estratigráficas abrangidas para cotejamento com as implicações geológicas do substrato rochoso. Os valores de RDE_s para as drenagens da bacia hidrográfica do Rio do Peixe são mostrados na forma de duas tabelas (Tabelas 2 e 3), que estampam também as unidades estratigráficas predominantes em cada segmento de drenagem, servindo, *grossa modo*, como seções geológicas. Os valores considerados anômalos encontram-se grifados;
- as planilhas foram confeccionadas também de maneira a relacionar os índices RDE_s com o índice RDE_t de cada curso d'água, o que possibilitou o delineamento dos setores anômalos, conforme os critérios de Seeber & Gornitz (1983), i.e., considera-se $RDE_s / RDE_t = 2$ como o limiar da faixa de anomalias, sendo estas classificadas como de 1ª ordem ($RDE_s / RDE_t \geq 10$) ou 2ª ordem ($2 \leq RDE_s / RDE_t \leq 10$). De acordo com os citados autores, tais limiares já refletiriam *knick points* ao longo das drenagens, representando pontos anômalos a ser investigados inclusive do ponto de vista neotectônico, descartadas outras possibilidades causativas de anomalias (e.g., presença de rochas mais resistentes à erosão, junção de tributário caudaloso, erosão remontante por abaixamento de nível de base a jusante);
- os índices RDE_s podem ser mostrados também sob a forma de gráficos de coordenadas cartesianas, como pode ser visto na Figura 6, exemplificando o perfil do Ribeirão das Pitangueiras (48), onde a extensão do curso d'água é mostrada no eixo das abscissas e os valores de RDE no eixo das ordenadas, sendo que neste caso pode ser utilizado tanto o valor absoluto de RDE_s quanto o valor relativo frente ao índice total da drenagem (RDE_s / RDE_t). Como uma informação adicional, pode-se acrescentar um "rodapé estratigráfico", que delinea o substrato sulcado pela drenagem, possibilitando uma primeira análise dos valores de RDE obtidos.

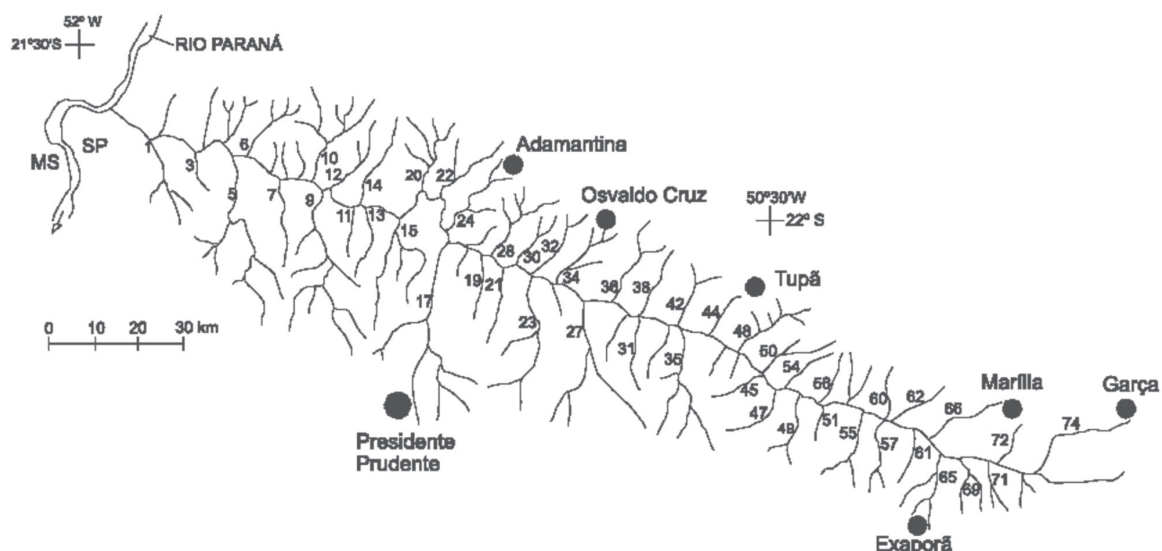


FIGURA 5. Principais elementos de drenagem na bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Os números designam afluentes (cf. numeração da Tabela 1).

TABELA 1. Relação declividade-extensão (RDE) para drenagens selecionadas da Bacia do Rio do Peixe.

Nº	Drenagem ⁽¹⁾	Extensão (km)	Cota cab. ⁽²⁾	Cota foz	Amplitude (m)	RDEt
1	Rib. das Pedreiras	26,15	390	250	140	42,9
3	Córrego do Vargim	16,20	390	250	140	50,3
5	Ribeirão Claro	45,40	435	258	177	46,4
6	Córrego do Prado	21,05	380	258	122	40,0
7	Ribeirão dos Índios	23,40	415	262	153	48,5
9	Ribeirão do Taquaruçu	50,30	460	279	181	46,2
10	Rib. dos Cainguangues	28,10	400	278	122	36,6
11	Córrego Bonfim	13,80	420	295	125	47,6
12	Córrego do Fogo	23,50	410	281	129	40,9
13	Ribeirão Santo Expedito	15,30	415	295	120	44,0
14	Ribeirão da Ilha	32,00	435	295	140	40,4
15	Ribeirão do Montalvão	34,05	475	296	179	50,7
17	Ribeirão do Mandaguari	66,50	475	299	176	41,9
19	Ribeirão São José	16,95	515	299	216	76,3
20	Ribeirão Santa Maria	23,60	410	297	113	35,7
21	Ribeirão Coroados	23,95	535	305	230	72,4
22	Ribeirão da Emboscada	22,15	445	297	148	47,8
23	Ribeirão dos Guachos	36,50	455	310	145	40,3
24	Ribeirão dos Ranchos	29,30	465	299	166	49,1
27	Ribeirão da Confusão	41,30	540	315	225	60,5
28	Ribeirão da Baliza	24,65	440	301	139	43,4
30	Ribeirão dos Macacos	21,40	450	307	143	46,7
31	Ribeirão Marra Mansa	18,60	495	322	173	59,2
32	Ribeirão do Canguçu	24,60	455	307	148	46,2
34	Ribeirão da Negrinha	22,00	455	313	142	45,9
35	Rib. Francisco Padilha	36,15	555	330	225	62,7
36	Ribeirão da Onça	24,60	480	319	161	50,3
38	Córrego da Fortuna	18,60	485	322	163	55,8
42	Ribeirão da Copaíba	20,40	480	329	151	50,1
44	Ribeirão Santa Terezinha	20,20	480	332	148	49,2
45	Cór. Taquara Branca	18,95	550	342	208	70,7
47	Ribeirão do Cristal	24,05	555	344	211	66,3
48	Rib. das Pitangueiras	25,00	500	337	163	50,6
49	Ribeirão do Hospital	18,70	515	348	167	57,0
50	Ribeirão Aldeia Grande	22,00	520	339	181	58,6
51	Ribeirão do Monjolinho	18,80	575	354	221	75,3
54	Córrego Santo Antônio	15,95	555	353	202	72,9
55	Ribeirão do Engano	20,05	580	370	210	70,0
56	Ribeirão Macaúbas	14,75	575	365	210	78,0
57	Ribeirão da Panela	21,50	595	378	217	70,7
60	Ribeirão Guaiuvira	15,35	600	377	223	81,7
61	Ribeirão Mumbuca	15,30	595	400	195	71,5
62	Ribeirão do Futuro	20,05	605	379	226	75,4
65	Rib. do Barreiro	21,30	655	390	265	86,6
66	Ribeirão da Barra Grande	29,60	620	388	232	68,5
69	Ribeirão Três Lagoas	16,10	580	395	185	66,6
71	Ribeirão do Arrependido	14,90	660	399	261	96,6
72	Córrego do Barbosa	14,65	635	401	234	87,2
74	Ribeirão da Garça	38,70	650	420	230	62,9

(1) Os números de identificação das drenagens são aqueles plotados na Fig. 5.

(2) cab. = cabeceira.

TABELA 2. Valores de RDE_s (segmento) referentes aos tributários da margem esquerda do Rio do Peixe. Os índices anômalos encontram-se grifados: os de segunda ordem ($10 > RDE_s \geq 2$), com grifo simples, e os de primeira ordem ($RDE \geq 10$), com grifo duplo.

			Cotas																						
Ref.	Drenagem	RDEt	>640	640	620	600	580	560	540	520	500	480	460	440	420	400	380	360	340	320	300	280	260	<260	
1	Rib. das Pederneiras	42,9															10,0	24,2	37,1	53,2	70,5	148,2	43,3	23,8	
3	Cór. do Vargim	50,3															10,0	27,5	40,0	93,3	132,0	34,7	65,9	32,4	
5	Rib. Claro	46,9													15,0	31,4	32,9	39,3	51,7	47,0	74,9	64,6	72,5	75,7	
7	Rib. dos Índios	48,5														15,0	33,3	34,3	35,0	30,8	54,0	51,8	156,0		
9	Rib. do Taquaruçu	46,2												20,0	28,0	32,7	38,0	51,7	49,5	37,9	54,9	66,4	62,9		
11	Cór. Bonfim	47,6														20,0	30,0	44,0	64,0	38,0	55,1	21,6			
13	Rib. Santo Expedito	44														15,0	25,0	34,3	44,0	44,4	60,0	23,2			
15	Rib. do Montalvão	50,7											15,0	24,8	47,4	51,0	41,8	50,5	64,8	51,5	133,5	100,9			
17	Rib. do Mandaguari	41,9											15,0	26,7	24,9	73,7	23,7	180,7	105,0	436,7	1657,5	332,5			
19	Rib. São José	76,3									15,0	27,3	29,7	47,1	64,4	116,7	65,9	79,1	129,8	726,7	1328,0	48,4			
21	Rib. Coroados	72,4									15,0	25,3	36,5	42,7	40,3	96,6	89,5	96,1	143,8	126,9	361,5	798,3			
23	Rib. dos Guachos	40,3												15,0	42,5	75,1	87,8	65,6	127,9	135,8	730,0				
27	Rib. da Confusão	60,5								20,0	25,2	54,1	51,7	54,1	51,7	84,7	117,7	45,1	87,9	151,9	688,3				
31	Rib. da Barra Mansa	59,2										15,0	36,9	40,9	46,9	49,3	53,3	80,5	178,9	163,3					
35	Rib. Francisco Padilha	62,7							15,0	40,0	65,7	30,7	70,8	88,1	70,6	42,3	65,3	137,9	126,2	78,6					
45	Cór. Taquara Branca	70,7							10,0	32,0	46,7	45,5	38,5	43,6	52,0	50,3	130,2	298,2	133,8						
47	Rib. do Cristal	66,3							15,0	31,4	36,9	52,0	55,5	101,3	210,0	37,7	47,5	76,7	122,2						
49	Rib. do Hospital	57								15,0	30,0	60,0	28,6	28,2	42,4	81,9	93,7	97,6							
51	Rib. do Monjolinho	75,3						15,0	32,0	37,8	60,0	80,0	133,3	96,2	53,7	91,6	74,2	108,1	75,2						
55	Rib. do Engano	70						20,0	30,0	80,0	53,7	190,0	400,0	62,9	48,9	65,2	56,4	59,0							
57	Rib. da Panela	70,7				15,0	36,0	38,0	146,7	130,0	85,0	52,4	72,4	45,3	46,7	63,3	10,5							Aluviões (Qa)	
61	Rib. Mumbuca	71,5				15,0	26,7	60,0	40,0	68,0	46,2	43,1	51,1	61,8	36,0									Fm. Marília (Ks)	
65	Rib. do Barreiro	86,6		15,0	33,3	53,3	60,0	100,0	95,0	96,0	180,0	45,7	45,9	59,5	87,4	71,1	21,8							Fm. Adamantina (Ks)	
69	Rib. Três Lagoas	66,6					20,0	50,0	53,3	33,3	48,6	62,5	49,4	44,7	90,7	12,7								Fm. Araçatuba (Ks)	
71	Rib. do Arrependido	96,6		20,0	28,0	48,0	100,0	170,0	190,0	400,0	153,3	66,0	50,0	52,4	39,3	100,4	4,1							Gr. Caiuá (Ki)	

Obs.: Números grifados correspondem a anomalias (1 grifo = anomalia de 2ª ordem; 2 grifos = anomalias de 1ª ordem).

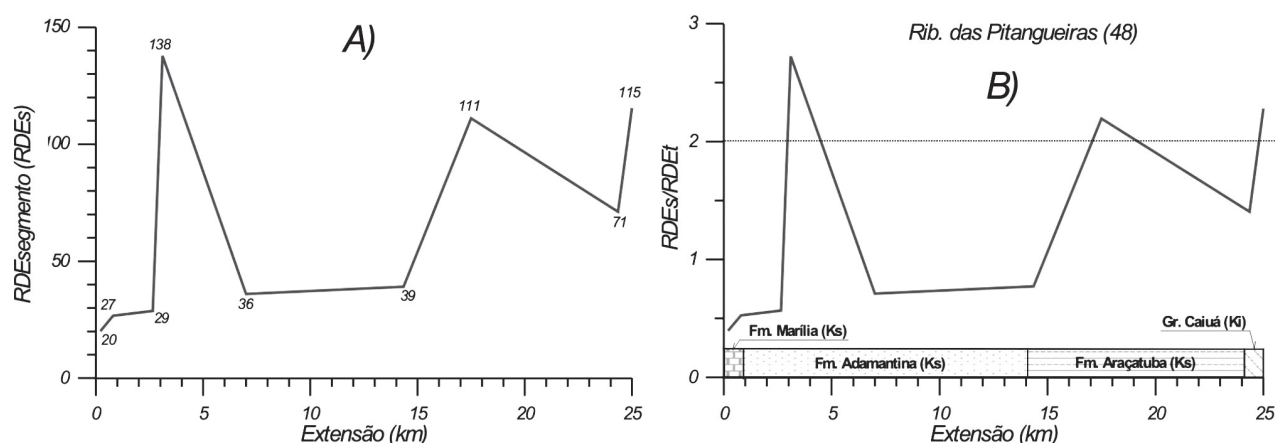


FIGURA 6. Gráficos de valores de RDE_s (A) e da relação $RDE_s/RDEt$ (B) referentes ao Ribeirão das Pitangueiras (drenagem 48); no rodapé do gráfico, B é mostrada a distribuição das principais unidades litoestratigráficas sulcadas pelo curso d'água; linhas horizontais auxiliares demarcam os limiares 2 e 10, referentes, respectivamente, às anomalias de 2ª e 1ª ordens.

TABELA 3. Valores de RDE_s (segmento) referentes aos tributários da margem direita do Rio do Peixe. Os índices anômalos encontram-se grifados: os de segunda ordem ($10 > RDE_s \geq 2$), com grifo simples, e os de primeira ordem ($RDE \geq 10$), com grifo duplo.

Ref.	Drenagem	RDEt	Cotas																				
			>640	640	620	600	580	560	540	520	500	480	460	440	420	400	380	360	340	320	300	280	260
6	Cór. do Prado	40															22,0	40,0	26,7	35,9	49,3	223,0	15,9
10	Rib. dos Cainguangues	36,6															20,0	32,9	37,4	44,4	37,3	71,1	51,1
12	Cór. do Fogo	40,9																					
14	Rib. da Ilha	40,4												15,0	36,7	29,6	34,2	41,0	50,8	46,3	18,3		
20	Rib. Santa Maria	35,7													10,0	25,0	33,6	31,4	75,1	41,7	6,9		
22	Rib. da Emboscada	47,8											5,0	24,0	32,0	30,7	42,4	72,7	39,8	73,6	11,9		
24	Rib. dos Ranchos	49,1										5,0	30,0	30,4	78,3	46,9	53,5	73,5	34,8	74,7	83,7		
28	Rib. da Baliza	43,4												20,0	44,4	86,7	30,0	39,5	29,6	1338,1			
30	Rib. dos Macacos	46,7												10,0	25,7	41,2	33,2	40,5	49,2	74,8	198,7		
32	Rib. do Canguçu	46,2												15,0	30,0	37,1	35,8	60,0	37,6	102,2	290,7		
34	Rib. da Negrinha	45,9													15,0	26,0	57,1	46,7	40,3	33,2	120,0	154,0	
36	Rib. da Onça	50,3											20,0	48,0	41,8	35,9	57,1	50,2	52,0	180,0	82,0		
38	Cór. da Fortuna	55,8									5,0	24,7	38,3	47,5	37,9	74,6	89,8	126,8	186,0				
42	Rib. da Copaíba	50,1											20,0	47,4	50,0	42,7	56,6	88,1	75,3	187,0			
44	Rib. Santa Terezinha	49,2											20,0	50,0	37,2	40,8	41,9	73,4	85,6	80,8			
48	Rib. das Pitangueiras	50,6										20,0	26,7	28,6	137,8	35,9	39,0	111,1	71,1	115,4			
50	Rib. Aldeia Grande	58,6									20,0	30,0	28,0	42,1	42,2	34,6	50,5	77,9	242,8	146,7			
54	Cór. Santo Antônio	72,9						15,0	28,0	55,0	64,0	60,0	37,8	54,0	35,7	62,8	158,5	223,3					
56	Rib. Macaúbas	78					15,0	30,0	200,0	420,0	90,0	65,0	61,1	47,6	53,3	74,2	58,2						
60	Rib. Guaiuvira	81,7				20,0	73,3	75,0	170,0	88,0	75,0	120,0	51,3	33,4	73,5	68,1	43,9						
62	Rib. do Futuro	75,4		5,0	40,0	46,7	180,0	60,0	100,0	170,0	190,0	43,8	38,9	41,5	30,7	133,7							
66	Rib. da Barra Grande	68,5		20,0	25,5	113,3	246,7	390,0	410,0	225,0	80,0	50,0	33,9	42,8	53,0								
72	Cór. do Barbosa	87,2		15,0	55,0	51,4	200,0	420,0	440,0	240,0	60,0	42,5	55,8	57,9	42,5								

	Aluviões (Qa)
	Fm. Marília (Ks)
	Fm. Adamantina (Ks)
	Fm. Araçatuba (Ks)
	Gr. Caiuá (Ki)

Obs.: Números grifados correspondem a anomalias (1 grifo = anomalia de 2ª ordem; 2 grifos = anomalias de 1ª ordem).

APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE

A técnica de obtenção dos índices RDE_s referentes a segmentos de drenagem (delimitados pelos pontos de interseção do curso d'água com as curvas de nível) foi aplicada em 49 cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio do Peixe com extensões iguais ou superiores a 15 km, incluindo a drenagem principal. Constituem exceção apenas os córregos Bonfim, do Destino, Macaúbas, do Arrependido, e do Barbosa, os quais possuem comprimentos inferiores a 15 km (mas superiores a 13 km) e somente foram utilizados por representarem subacias de relativa expressão, conquanto pouco extensas, mas julgadas importantes para cobrir determinadas áreas da bacia do Peixe.

Os dados pertinentes aos 49 cursos d'água são mostrados nas Tabelas 1, 2 e 3; alguns exemplos, julgados significativos em termos de interpretação de atividade neotectônica na bacia do Rio do Peixe, são também mostrados sob a forma de gráficos, que ilustram as variações dos índices e possibilitam a definição dos trechos anômalos, classificando-se as anomalias em 1ª e 2ª ordens. Uma cautela adicional foi tomada em relação à utilização dos índices RDE nas proximidades das cabeceiras de drenagem, que, em geral, representam setores com maior probabilidade de se encontrarem fora de equilíbrio, não refletindo adequadamente a energia cinética da drenagem. Hack (1973, p. 427), referindo-se a este aspecto, mencionou que “*Measurement localities cannot be close to the*

source of a stream than about 0,5 mi [0,8 km], because close to the divide the channel is not sculptured primarily by the kinetic energy of flowing water". Seguindo essas considerações, neste artigo foram desprezados, para análise neotectônica, os primeiros 800 m de cada curso d'água.

A Figura 7 exibe o perfil longitudinal do Rio do Peixe, a curva de valores RDE_s/RDE_t , e as unidades estratigráficas onde se assenta o talvegue desse curso d'água. No caso do perfil longitudinal, percebe-se a típica disposição logarítmica do talvegue e alguns significativos afastamentos da curva de melhor ajuste.

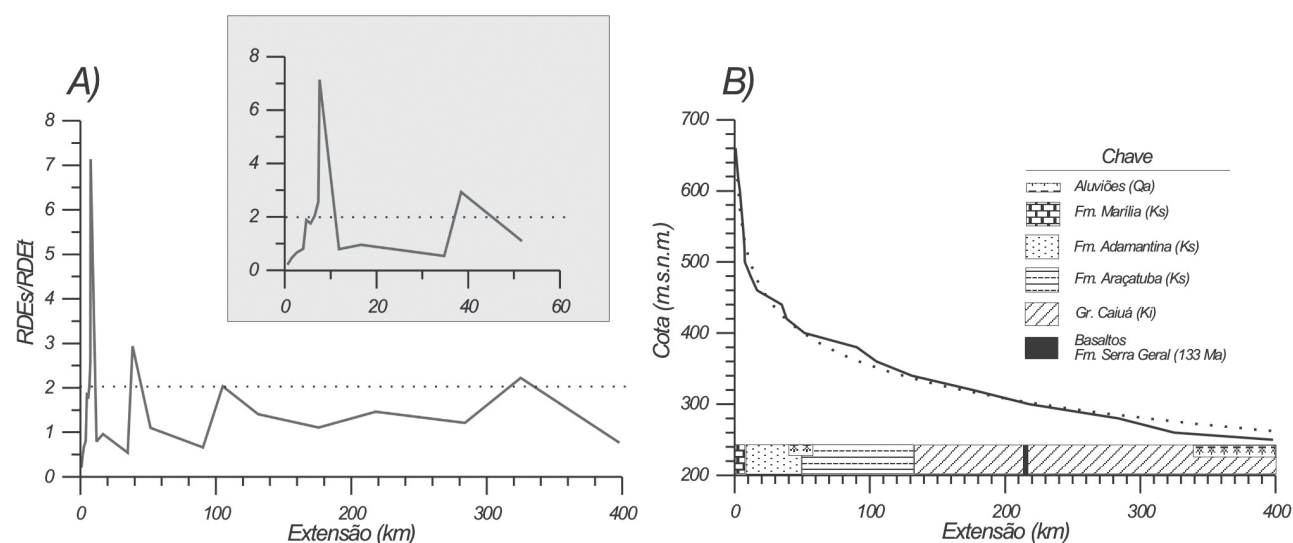


FIGURA 7. Gráficos ilustrando a distribuição de valores RDE_s/RDE_t ao longo do Rio do Peixe (A) e o perfil longitudinal desse curso d'água em escala aritmética, com rodapé litoestratigráfico (B). Notar a congruência entre os valores mais acentuados de RDE com os trechos de maior declividade no perfil longitudinal. O box destacado em A ilustra a relação RDE_s/RDE_t em escala mais conveniente para a observação dos valores no alto curso.

Verificada a boa congruência entre os índices RDE e os perfis longitudinais, e com base nos resultados alcançados no vale do Rio do Peixe por Etchebehere et al. (2004), que analisaram dados morfométricos regionais e informações geomorfológicas, estruturais, líticas e paleossísmicas, pôde-se avançar na análise dos índices RDE_s , objeto principal do presente trabalho. A análise prévia da rede de drenagem no vale do Rio do Peixe possibilita descartar de antemão a possibilidade de influência de fatores hidrológicos no condicionamento das anomalias morfométricas. Quanto às demais hipóteses, pretende-se explorar suas implicações nos itens subsequentes, primeiramente comparando os valores de RDE_s com o substrato rochoso e, posteriormente, analisando as anomalias estabelecidas frente ao contexto estrutural e geomorfológico da região estudada.

Aparentemente, conforme já apresentado na contribuição de Etchebehere et al. (2004), estas anomalias não estão associadas ao tipo de rocha predominante em cada unidade estratigráfica e podem estar vinculadas a deformações neotectônicas. Destacam-se quatro trechos com gradiente mais acentuado, todos bem marcados no gráfico RDE_s/RDE_t vs. Extensão, sendo que dois deles apresentam significativas acumulações aluvionares no trecho jusante; e aquele situado próximo à cabeceira coincide com a escarpa do Planalto de Marília-Exaporã; as 4 anomalias de RDE ao longo do Rio do Peixe são todas de 2ª ordem.

COTEJAMENTO COM O SUBSTRATO ROCHOSO

Como já mencionado, os índices RDE podem ser correlacionados com fatores hidrológicos, geomorfológicos, litológicos e/ou tectônicos. O desejável, ao se analisar setores morfométricamente anômalos – e nesse aspecto, o índice RDE mostra grande efetividade –, é que se efetue uma verificação de campo, buscando levantar dados estruturais (descontinuidades, atitudes etc.) e também líticos (tipo de rocha, textura, coesão, tenacidade etc.) que permitam discernir os fatores que possam estar induzindo aquelas anomalias. Para os propósitos do presente trabalho, a análise da influência do fator litológico fica limitada ao conhecimento estratigráfico que se dispõe sobre as unidades geológicas que compõem o substrato lítico da bacia do Rio do Peixe, assumindo-se uma relativa homogeneidade

na constituição rochosa de cada unidade escolhida. Assim sendo, os sedimentos cenozóicos (Q), abrangendo os aluviões recentes, os depósitos de terraço e os leques aluviais, representariam materiais incoesos ou pouco coesos, bastante suscetíveis a processos erosivos. No que se refere ao substrato rochoso cretácico, o quadro é de maior variabilidade em termos de resistência mecânica, abrangendo desde arenitos bastante litificados, com cimentação carbonática, da Formação Marília, passando por arenitos e lamitos intercalados da Formação Adamantina, por lamitos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos da Formação Araçatuba, e chegando a arenitos maciços e geossolos do Grupo Caiuá. Os basaltos, que são as rochas mais resistentes de toda a região, afloram em uma porção bastante reduzida do vale do Rio do Peixe.

Uma avaliação comparativa dos índices RDE das diversas unidades estratigráficas pode ser feita observando-se a Figura 8, onde estão dispostos os cinco histogramas de frequência de valores de RDE para os conjuntos escolhidos, a saber: Sedimentos Quaternários, Formação Marília, Formação Adamantina, Formação Araçatuba, e Grupo Caiuá (que inclui o Geossolo Santo Anastácio). A referida figura apresenta, também, ao lado dos histogramas, o número de observações utilizadas (índices), as médias dos valores de RDE e os respectivos desvios-padrões referentes às cinco unidades estratigráficas. Essa mesma abordagem já havia sido utilizada por McKeown et al. (1988), deixando-se de empregar testes paramétricos para a comparação dos valores estatísticos obtidos pelas diversas populações de índices.

Uma primeira observação dos histogramas permite constatar que todas as distribuições são polimodais e que os diversos gráficos apresentam “geometrias” diferenciadas para cada unidade estratigráfica. Uma das modas que mais se destacam é aquela referente aos valores mais elevados ($RDE > 175$), presente em todas as unidades, caracterizando uma população diferenciada em relação aos demais índices de RDE de cada unidade. Tal aspecto pode ser interpretado como evidência de atuação localizada de processos tectônicos, uma vez que a condicionante litológica não parece, em nível do atual conhecimento geológico, mostrar variações de fácies significativas o bastante para explicar diferenças tão acentuadas. Tome-se, como exemplo, o caso do Grupo Caiuá, onde se concentram os valores mais elevados de RDE de toda a bacia do Peixe (chegam a atingir 1.600), índices estes que se destacam mesmo quando cotejados com parâmetros morfométricos obtidos em outras áreas onde se executou levantamentos similares, já referenciados em itens pregressos, em contextos geológicos e tectônicos “mais agressivos” (zonas de

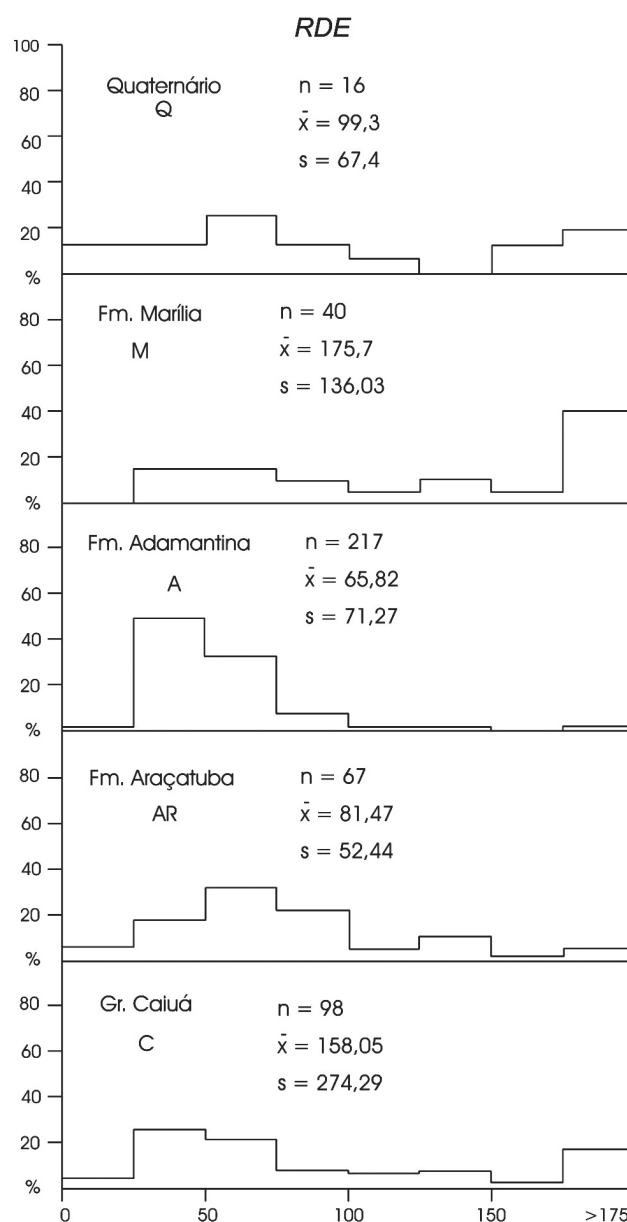


FIGURA 8. Histogramas de distribuição dos índices RDE_s para as principais unidades estratigráficas da bacia do Rio do Peixe, segundo Etchebehere (2000).

colisão continental, terrenos cristalinos de alto grau metamórfico etc.). No caso do Grupo Caiuá, inclusive, observa-se um elevado desvio padrão, o que contribui para reforçar a hipótese de que índices RDE_s de maior expressão numérica sejam devidos a tectonismo, uma vez que as fácies presentes nesta unidade não demonstram uma variabilidade tão acentuada em termos de resistência mecânica ou química à erosão.

Como era esperável, os arenitos carbonáticos da Formação Marília exibem altos valores de RDE, especialmente na área das escarpas do planalto homônimo, onde os dois fatores primordiais, i.e., a maior tenacidade dessas rochas e o elevado gradiente, respondem pelos índices obtidos. No caso desta

unidade, torna-se, por conseguinte, mais difícil averiguar a eventual influência de fatores tectônicos mediante o emprego do índice RDE por segmentos de drenagem, ao menos na região de domínio da escarpa planáltina. Todavia, não custa lembrar as considerações já levantadas no terceiro parágrafo deste item, que apontam variações notáveis de valores RDE nas mesmas condições topográficas e líticas da escarpa do Planalto de Marília, em cursos d'água de porte semelhante, paralelos e vizinhos. De qualquer forma, as anomalias já se configuram alvos para trabalhos de campo, possibilitando um direcionamento de esforços para os locais com maior probabilidade de conterem evidências concretas de deformações recentes ou em curso.

A distribuição dos índices relativos às formações Adamantina e Araçatuba apresenta alguma similaridade nos respectivos histogramas, predominando baixos valores de RDE, sendo os desta segunda unidade um pouco mais elevados e heterogêneos. Talvez esta heterogeneidade seja devido a variações de fácies, com presença de arenitos mais litificados (com cimentação carbonática relativamente acentuada) entremeados com lamitos arenosos e arenitos lamíticos usuais. Ainda assim, um motivo de ordem tectônica não pode ser desconsiderado no nível de análise aqui efetuado, ante o pequeno conhecimento sobre a distribuição das diversas fácies da Formação

Araçatuba. Nessa situação, as verificações de campo se tornam imprescindíveis.

Os sedimentos cenozóicos mostram, como seria de se esperar, um predomínio de baixos valores de RDE. Contudo, há que se destacar uma conspícua frequência de valores superiores a 175, que não se explica pelas características físicas ou químicas desta unidade, o que vem a reforçar a possibilidade de deformações tectônicas estarem nela incidindo. Vale ressaltar, inclusive, a ocorrência de alguns índices expressivos de RDE no baixo vale do Rio do Peixe, tanto nesta drenagem como em tributários, mesmo sendo esta porção da bacia caracterizada pela presença de uma extensa planície aluvial recente e de um relevo bastante suave nas encostas.

Por fim, resta mencionar as ocorrências de basalto, que são as rochas mais resistentes, em termos mecânicos, aos processos de entalhe das drenagens, configurando o substrato de alguns saltos e corredeiras ao longo do Rio do Peixe, tendo em Quatiara a situação mais expressiva. Todavia, na escala de trabalho adotada na presente análise morfométrica, não se constatou trechos anômalos na área de abrangência dos afloramentos de basalto, o que, de certa maneira, reforça a possibilidade de os altos índices RDE_s detectados alhures refletirem, efetivamente, a atuação de processos tectônicos hodiernos e não somente fácies mais resistentes à erosão.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todas as anomalias de RDE detectadas encontram-se dispostas na Figura 9. A distribuição em planta dessas anomalias delineia alguns agrupamentos nítidos e um ou outro valor disperso. Tendo como base as considerações dos itens pregressos, onde se pôde

afastar, como pouco prováveis para a maioria das anomalias determinadas, os condicionantes hidrológicos e/ou líticos, pretende-se, neste item, avançar em termos de interpretação neotectônica das anomalias morfométricas.

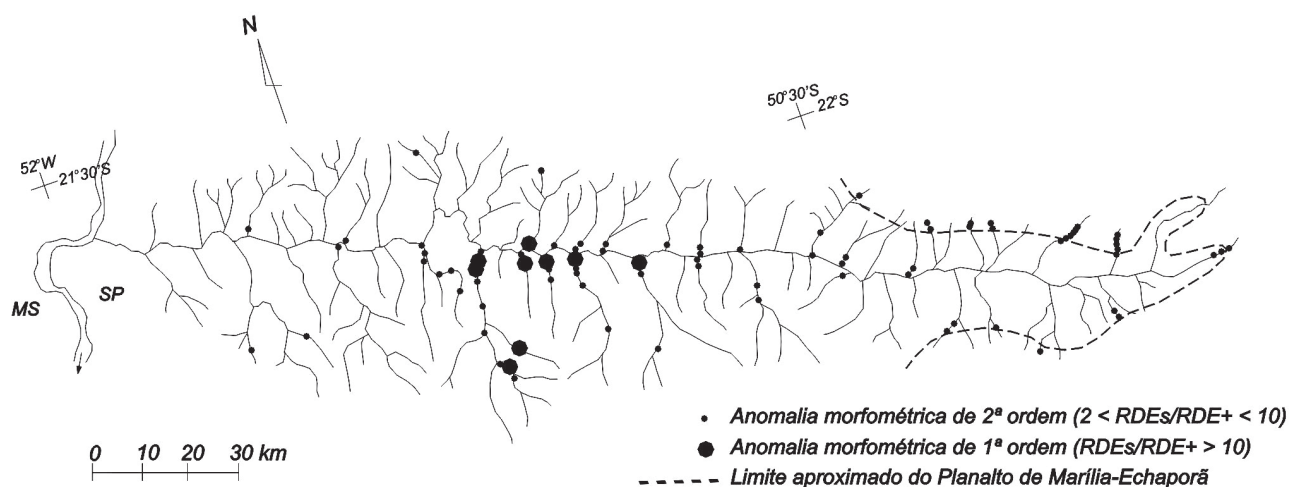


FIGURA 9. Anomalias de RDE_s na bacia do Rio do Peixe.

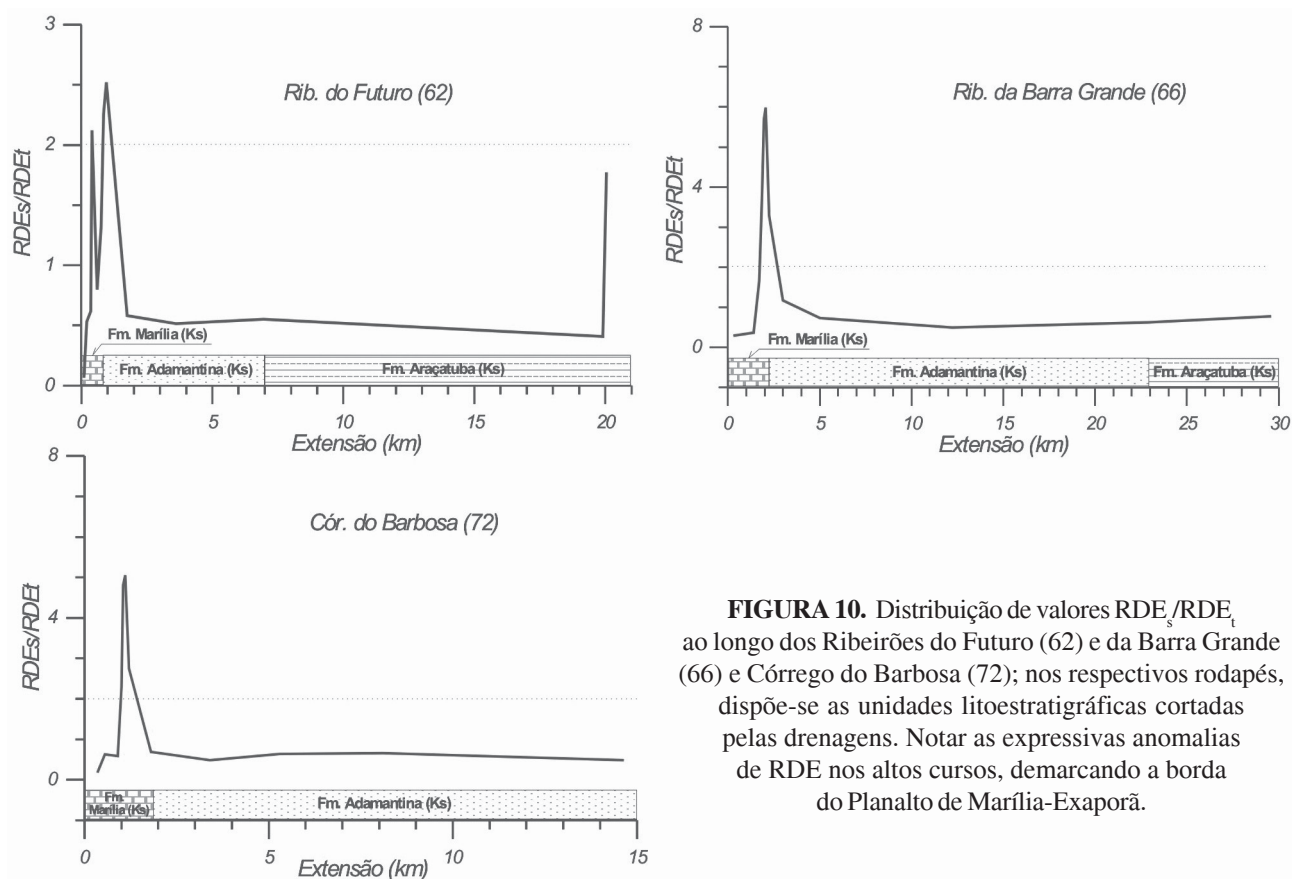


FIGURA 10. Distribuição de valores RDE_s/RDE_t ao longo dos Ribeirões do Futuro (62) e da Barra Grande (66) e Córrego do Barbosa (72); nos respectivos rodapés, dispõe-se as unidades litoestratigráficas cortadas pelas drenagens. Notar as expressivas anomalias de RDE nos altos cursos, demarcando a borda do Planalto de Marília-Exaporã.

No alto vale do Rio do Peixe, as anomalias tendem a se concentrar nas cabeceiras de drenagens, mais precisamente nas proximidades da escarpa do Planalto de Marília-Exaporã, conforme pode ser observado na Figura 9. A título de ilustração, a Figura 10 mostra as variações dos índices RDE_s/RDE_t em três drenagens nessa situação, onde as anomalias dos trechos iniciais correspondem à escarpa do Planalto de Marília. Todavia, como nem todas as drenagens que seccionam esta escarpa apresentam anomalias nestes trechos, mesmo em casos onde os cursos são paralelos, vizinhos e de portes similares, não se pode descartar um componente tectônico ativo, ao menos para alguns dos pontos anômalos ali registrados.

Outra concentração de anomalias, inclusive com destaque para aquelas de 1ª ordem, fica situada próximo ao limite entre o baixo e o médio vale do Rio do Peixe, demarcando uma área que permite ser interpretada como tectonicamente ativa. Deve ser destacado que esta mesma área mostra-se anômala quando se leva em conta outras linhas de observação, tais como as densidades de traços de drenagem e de lineamentos, a presença de níveis diferenciados de terraços, além do fato de ter sido chamada “região dos saltos” (cf. CGC, 1913), onde os afluentes do Peixe nele deságuam em pequenas cascatas (Etchebehere, 2000).

Como já mencionado, existem anomalias de 1ª e de 2ª ordens distribuídas ao longo da rede de drenagem, destacando-se alguns agrupamentos, quais sejam:

- Na região das cabeceiras, onde afloram rochas carbonáticas da Formação Marília (Ks), que compreende anomalias de 2ª ordem, muitas delas agrupadas sequencialmente ao longo dos cursos d’água, demarcando a borda do Planalto de Marília-Exaporã, conforme cartografia geomorfológica de IPT (1981). Nesse caso, parece haver uma clara correlação entre as anomalias de RDE e as rochas carbonáticas mais resistentes que sustentam a escarpa daquele planalto. Todavia, uma influência tectônica não pode ser descartada, conforme já sugerido por Etchebehere et al. (2004), tendo em conta a presença de alinhamentos de vales suspensos e de lineamentos expressivos de direção N80. Além disso, vale ressaltar que Magalhães et al. (1996) já haviam detectado, em estudos de afloramentos no alto vale do Rio do Peixe, a presença de falhas transcorrentes afetando o Grupo Bauru, afora famílias de fraturas delimitando blocos, inclusive a conformação da própria escarpa.
- No médio vale, observa-se uma concentração expressiva de anomalias de 1ª e 2ª ordens, incidindo preferencialmente nas proximidades das desembocaduras.

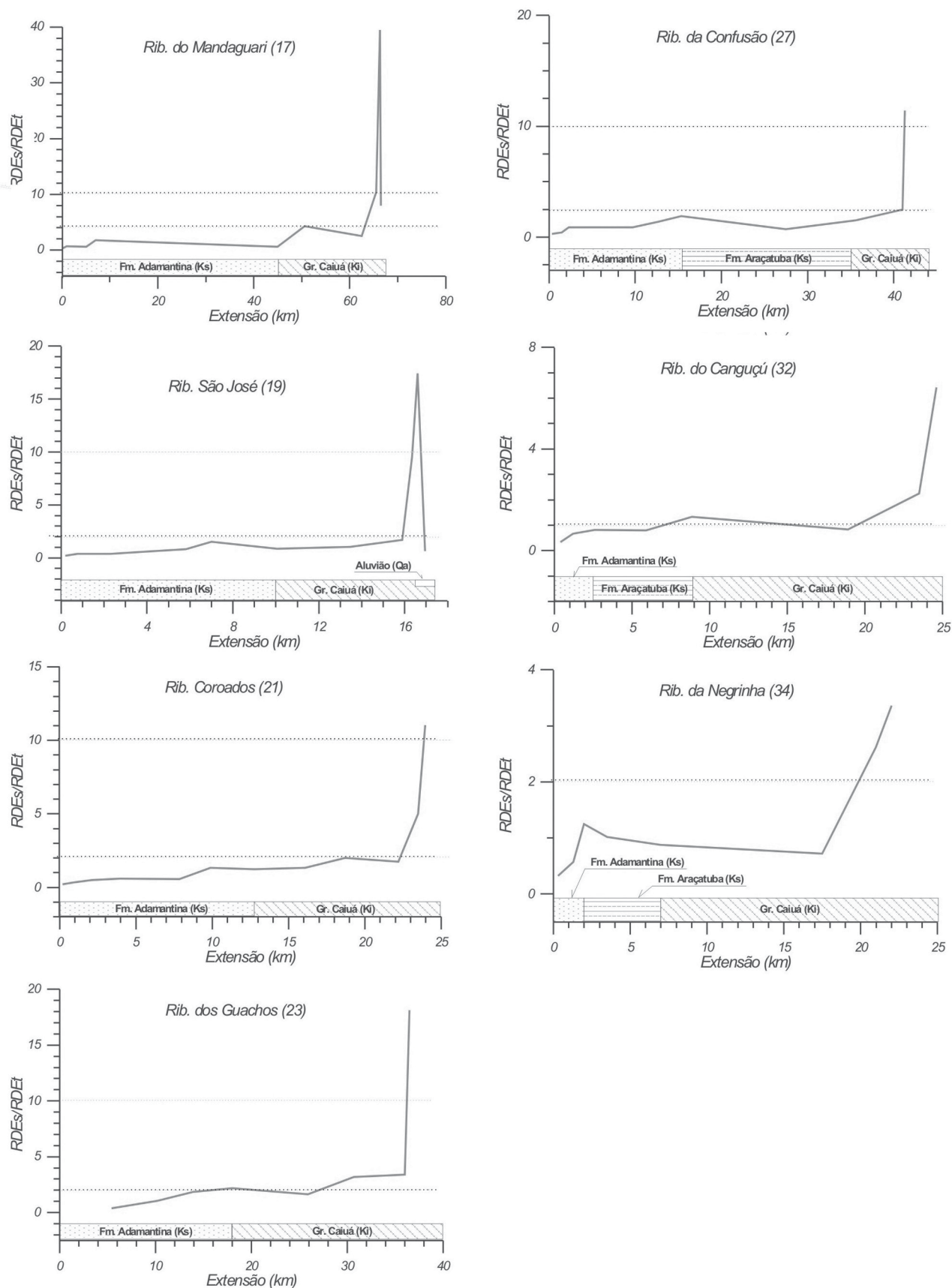


FIGURA 11. Gráficos RDE_s/RDE_t mostrando anomalias de 1ª e 2ª ordens próximas às desembocaduras, junto ao Rio do Peixe, de drenagens selecionadas.

caduras dos tributários junto ao talvegue do Rio do Peixe. Gráficos ilustrativos de tais anomalias morfométricas são mostrados na Figura 11, destacando-se a maior frequência nos baixos cursos, por vezes na própria região da desembocadura, no âmbito de rochas pertencentes ao Grupo Caiuá. Outro ponto de destaque refere-se ao porte de tais anomalias, sempre de 1ª ordem, destacando-as, sobremaneira, dos valores de *background* e mesmo das demais anomalias. Cotejando-se a distribuição desses pontos anômalos com o mapa de lineamentos da bacia (Figura 3), extraídos de imagens de satélite em escala 1:250.000 por Etchebehere (2000), constata-se um nítido controle por parte de lineamentos de modas N350-N15 vs. N280, secundariamente N315. Nessa porção, verifica-se uma zona de concentração de cascalheiras eluviais em topos de morrotes (Etchebehere et al., 2004), bem como a ocorrência de afloramentos de basaltos basculados e intensamente fraturados, conquanto não incluam anomalias de RDE nesse tipo de rocha. Medidas de fraturas e falhas em afloramentos da Formação Serra Geral e de rochas sedimentares cretáceas superpostas mostram famílias subverticais de orientação EW, NW-SE e ENE-WSW; falhas seriam dos tipos normal e inversa (Etchebehere, 2000); O trecho

inferior da bacia é caracterizado pela predominância de rochas do Grupo Caiuá, recobertas por depósitos quaternários expressivos (aluviões recentes e terraços), com poucos lineamentos e anomalias de RDE. Conforme se observa na Figura 3, este trecho deve corresponder a um bloco estrutural subsidente, delimitado por lineamentos de modas N350, N315 e N280.

- c) Principal conjunto de anomalias de RDE verificado ao longo da Bacia do Rio do Peixe corresponde à chamada Sutura Presidente Prudente (IPT, 1989; Saad, 1997; Etchebehere et al., 2004). O quadro resultante permite delinear um mosaico de blocos estruturais, demarcados por feixes de lineamentos e anomalias de RDE, sendo que estas denotariam trechos de drenagens com maior declividade, indicando possíveis falhas modernas. A sismicidade configurada na chamada Zona Sismogênica de Presidente Prudente (Mioto, 1993, 1996) vem reforçar esta interpretação, indicando ação neotectônica na área. A presença de estruturas de liquefação reportadas em depósitos pleistocênicos de terraço (*ca.* 34-13 ka AP) por Etchebehere & Saad (2002) seria um indicativo de que as deformações neotectônicas remontam, pelo menos ao Neopleistoceno, mostrando um caráter recorrente nesse intervalo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de análise morfométrica aqui delineada complementa a abordagem regional já adiantada por Etchebehere et al. (2004). A análise dos índices RDE_s, obtidos em intervalos de isoípsas selecionadas, e desses com os valores de RDE_r, registrados para cada drenagem como um todo, possibilita uma ferramenta simples, barata, de rápida aplicação, e eficaz no contexto geológico e geomorfológico do Planalto Ocidental Paulista. Os recursos necessários compreendem apenas uma base topográfica de boa qualidade, um curvímeter e uma calculadora. As anomalias detectadas representam áreas-alvo para investigações sísmicas e neotectônicas de maior detalhe, a serem realizadas *in loco*, possibilitando direcionar, com mais efetividade, os trabalhos de campo, normalmente mais dispendiosos.

Desde os trabalhos iniciais de aplicação de técnicas morfométricas para análises de cunho neotectônico no vale do Rio do Peixe (*e.g.*, Etchebehere et al., 1998; Etchebehere & Saad, 1999; Etchebehere, 2000), o acúmulo de dados e novas interpretações tem permitido delinear um quadro mais realista de deformação nessa área. Na presente contribuição, pode-se afirmar que o segmento equivalente ao médio vale do Rio do Peixe

corresponde à zona mais anômala em termos morfométricos, com confirmação propiciada por diferentes dados geológicos. Dentre estes, citam-se: ocorrências localizadas de basaltos fraturados e perturbados tectonicamente; presença de diversas gerações de depósitos de terraço, indicando alterações localizadas de níveis de base; cascalheiras eluviais em topos de morrotes, concentradas em determinados setores, denunciando blocos em processo de soerguimento e conseqüente desmantelamento de depósitos neoceno-zóicos; registro de sismicidade atual (Zona Sismogênica de Presidente Prudente); e incidência de processos recentes de liquefação, provavelmente induzidos por terremotos. As informações acumuladas na região dessa zona sismogênica e, em especial, no âmbito da chamada Sutura Presidente Prudente, tornam recomendáveis investigações de campo, especialmente de busca e interpretação de dados paleosismológicos e estruturais (cinemáticos) detalhados.

Esse conjunto de informações permite constatar um quadro de evidências de deformações neotectônicas que deve ser levado em conta na análise de evolução geológica da área, bem como nos estudos de planeja-

mento territorial e de avaliação de riscos sísmicos. Acredita-se que a abordagem aqui proposta possa ser refinada e testada, não somente no próprio vale do Rio

do Peixe, mas também em outras bacias hidrográficas do Planalto Ocidental Paulista, quiçá de outros contextos fisiográficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do IGG**, v. 41, p. 169-263, 1964.
2. BJÖRNBERG, A.J.S. **Contribuição ao estudo do Cenozóico paulista: tectônica e sedimentologia**. São Carlos, 1969. 128 p. Tese (provimento para cargo de Professor) – Universidade de São Paulo. (a).
3. BJÖRNBERG, A.J.S. Critério geomorfológico para determinação de áreas falhadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, 1969, Salvador. **Resumo das Conferências e das Comunicações...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969, p. 65-66. (b).
4. BOYD, K.F. & SCHUMM, S.A. Geomorphic evidence of deformation in the Northern part of the New Madrid seismic zone. In: SHEDLOCK, K.M. & JOHNSTON, A.C. (Eds.) **Investigations of the New Madrid seismic zone**. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1538-R, 35 p., 1995.
5. BURNETT, A.W. & SCHUMM, S.A. Alluvial river response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. **Science**, v. 222, p. 49-50, 1983.
6. CCG – COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLOGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Exploração do Rio do Peixe**. São Paulo: Typ. Brazil de Rothschild & Cia., 2ª ed., 39 p., 1913.
7. CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.
8. COX, R.T. Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, p. 571-581, 1994.
9. ETCHEBEHERE, M.L.C. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. Rio Claro, 2000. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
10. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Relação Declividade / Extensão de Curso (RDE) aplicada à detecção de deformações neotectônicas regionais na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, São Pedro (SP). **Boletim de Resumos...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo e UNESP, 1999, p. 93.
11. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Feições de liquefação em sedimentos quaternários no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista – Implicações paleossísmicas. **Geociências**, v. 21, n. 1/2, p. 43-56, 2002.
12. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Fácies e associações de fácies em depósitos neoquaternários de terraço na Bacia do Rio do Peixe, região ocidental paulista. **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 5-16, 2003.
13. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; THOMAZELLA, H.R.; BATEZELLI, A.; FULFARO, V.J. Feições de liquefação em sedimentos cenozóicos no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista: implicações neotectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998, p. 80.
14. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J. 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, 2004.
15. FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. Bacia Caiuá: uma nova bacia cretácica na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, Serra Negra (SP), 1999. **Boletim...** Serra Negra: UNESP, 1999, p. 439-442. (a).
16. FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. Santo Anastácio: um geossolo cretácico na Bacia Caiuá. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, Serra Negra (SP), 1999. **Boletim...** Serra Negra: UNESP, 1999, p. 125-13. (b).
17. HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research of the U.S. Geol. Survey**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.
18. HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo de Minas Gerais, **Boletim...** 1990, p. 1-31. (Anais do Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, 1, Belo Horizonte).
19. HASUI, Y.; SENA COSTA, J.B.; BORGES, M.S.; JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MORALES, N. Compartimentação neotectônica do lineamento Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7, 1999, Lençóis (BA). **Atas...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo da Bahia, Sessão 4, 1999, p. 37-39.
20. HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.
21. HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summary. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, p. 2.246-2.259, 1967.
22. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000**. São Paulo, DMGA, 2 v., 1981. (IPT, Monografia 5).
23. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo**. São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 2 v., 1989. (IPT, Relatório 27.394).
24. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Sismotectônica e dinâmica superficial na área do Complexo Hidrelétrico Canoas**. São Paulo, Divisão de Geologia, 4 v., 1992. (IPT, Relatório 30.924).
25. KELLER, E.A. & PINTER, N. **Active tectonics – Earthquakes, uplift, and landscape**. New Jersey: Prentice Hall, 338 p., 1996.
26. MAGALHÃES, F.S.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J. Análise estrutural do Grupo Bauru na região do alto Rio do Peixe, Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO

- SOBRE O CRETÁCEO, 4, 1996, Águas de São Pedro. **Boletim...** Águas de São Pedro: UNESP, p. 283-287, 1996.
27. MARPLE, R.T. & TALWANI, P. Evidence of possible tectonic upwarping along the South Carolina coastal plain from an examination of river morphology and elevation data. **Geology**, v. 21, p. 651-654, 1993.
 28. MAYER, L. **Quantitative analysis of landforms: A way to delineate active tectonic structures**. Oxford, USA: Geomorphology Laboratory, Department of Geology, Miami University Annual Technical Report, 48 p., 1992.
 29. McKEOWN, F.A.; JONES-CECIL, M.; ASKEW, B.L.; McGRATH, M.B. **Analysis of stream-profile data and inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountains region**. Denver: U.S. Geological Survey Bulletin, n. 1807, 39 p., 1988.
 30. MERRITS, D. & HESTERBERG, T. Stream networks and long-term surface uplift in the New Madrid seismic zone. **Science**, v. 265, p. 1.081-1.084, 1994.
 31. MERRITS, D. & VINCENT, K.R. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Mendocino triple junction region, northern California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, p. 1.373-1.388, 1989.
 32. MIOTO, J.A. **Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil**. Rio Claro, 1993. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 33. MIOTO, J.A. Excertos sobre risco sísmico no Estado de São Paulo. **Revista UnG – Série Geociências**, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1996.
 34. RHEA, S. Evidence for uplift near Charleston, South Carolina. **Geology**, v. 17, p. 311-315, 1989.
 35. RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 2, p. 153-162, 1997.
 36. RIVEREAU, J.C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. Curitiba: C.C.G.P., Instituto de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 93 p., 1969.
 37. RODRIGUEZ, S.K. **Neotectônica e sedimentação quaternária na região da “Volta Grande” do rio Xingu, Altamira, PA**. São Paulo, 1993. 106 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
 38. RODRIGUEZ, S.K. & SUGUIO, K. Gradientes hidráulicos das drenagens de 2ª ordem: uma contribuição para os estudos de neotectônica da “Volta Grande” do rio Xingu, Altamira - PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Resumos Expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, p. 598-600.
 39. SAAD, A.R. **Análise da produção técnico-científica**. Rio Claro, 1997, 150 f. Texto (Concurso para obtenção do título de Livre-Docente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 40. SCHUMM, S.A. & SPITZ, W.J. Geological influences on the Lower Mississippi River and its alluvial valley. **Engineering Geology**, v. 45, p. 245-261, 1996.
 41. SEEGER, L. & GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, v. 92, p. 335-367, 1983.
 42. SPITZ, W.J. & SCHUMM, S.A. Tectonic geomorphology of the Mississippi Valley between Osceola, Arkansas and Friars Point, Mississippi. **Engineering Geology**, v. 46, p. 259-280, 1997.
 43. STRAHLER, A.N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952. (a).
 44. STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1.117-1.142, 1952. (b).
 45. TAKIYA, H. **Estudo da sedimentação neogênico-quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana**. São Paulo, 1997. 152 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
 46. VOLKOV, N.G.; SOKOLOVSKY, I.L.; SUBBOTIN, A.I. Effect of recent crustal movements on the shape of longitudinal profiles and water levels in rivers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RIVER MECHANICS, Bern (Swiss), 1967. **Proceedings...** Bern: International Union of Geodesy and Geophysics, 1967, p. 105-116.
 47. ZERNITZ, E.R. Drainage patterns and their significance. **Journal of Geology**, v. 40, p. 498-521, 1932.

*Manuscrito Recebido em: 20 de abril de 2006
Revisado e Aceito em: 10 de setembro de 2006*

