

INDICAÇÕES DE DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA DO RIO PARDO-SP ATRAVÉS DE ANÁLISES DE PARÂMETROS FLUVIOMORFOMÉTRICOS E DE IMAGENS SRTM

Ivan Claudio GUEDES¹; Norberto MORALES²; Mario Lincoln De Carlos
ETCHEBEHERE³; Antônio Roberto SAAD⁴

(1) Secretaria Estadual de Educação de São Paulo; Faculdade Progresso; Centro de Pós-graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campos Rio Claro. Rua Joaquim Rabello, 81, Guarulhos-SP. CEP: 07050-200. Endereço eletrônico: ivanclaudioguedes@gmail.com.

(2) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – CEP 13506-900 – Rio Claro, SP – Brasil. Endereço eletrônico: nmorales@rc.unesp.br.

(3) Fundação para o Desenvolvimento da Unesp - Pesquisador associado Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – CEP 13506-900 – Rio Claro, SP – Brasil. Endereço eletrônico: mario.lincoln@yahoo.com.br.

(4) Centro de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Guarulhos – UnG. Praça Teresa Cristina, 229 – Centro Guarulhos – SP. CEP 07023-070. Endereço eletrônico: asaad@prof.ung.br

Introdução

Localização da área de estudo

Contextos geológico e geomorfológico

Materiais e métodos

Morfometria fluvial

Lineamentos da drenagem e do relevo

Resultados obtidos

Conclusão

Referências bibliográficas

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo delinear eventuais deformações neotectônicas na bacia hidrográfica do Rio Pardo - BHRP, com base em anomalias fluviomorfométricas e em análise de imagens SRTM. A BHRP está inserida no contexto do Planalto Ocidental Paulista, assentando-se sobre basaltos da Formação Serra Geral (~132 Ma) e rochas sedimentares do Grupo Bauru (Cretáceo Superior), com recobrimentos localizados de sedimentos cenozóicos, que incluem aluviões e terraços aluviais quaternários, mantos coluvionares e coberturas arenosas incoesas de idades e derivações incertas. Nas análises fluviomorfométricas empreendidas neste trabalho, utilizaram-se os estudos dos perfis longitudinais dos cursos d'água, os índices RDE (Relação Declividade vs. Extensão) e alinhamentos de *nickpoints*, associados a lineamentos de drenagem e de relevo e de características texturais, extraídos de análise de imagens radargráficas. A BHRP é alongada e sua parte mais larga (mais próxima ao alto vale) mostra-se claramente controlada pela direção WNW, com muitos lineamentos se destacando. Esta direção propicia a subdivisão da bacia em blocos estruturais maiores e deve representar reativações do Lineamento Guapiara. O limite com a bacia do Rio Turvo mostra-se controlado por um feixe expressivo de lineamentos ENE. Esta direção não é notada no restante da bacia e pode significar um importante limite estrutural, compondo um padrão romboédrico na parte mais larga do vale. As anomalias fluviomorfométricas (em especial, aquelas que refletem os trechos em ascensão) se concentram no flanco sul da bacia, que é mais estreito. Esta região aparenta estar sendo soerguida, em contraponto ao outro lado, onde estão os regolitos mais espessos e os aluviões mais expressivos, indicando condições subsidentes, que favorecem a acumulação dos produtos da erosão do flanco sul. A BHRP aparenta ter sido ampliada por processo de captura, incorporando a maior parte da porção mais larga da bacia atual. Nesse processo, houve rebaixamento do nível de base, com incisão dos talwegues e formação de terraços no baixo vale, o que se acha refletido na fragmentação dos interflúvios, como se depreende da distribuição espacial dos regolitos mais espessos. A conjugação de lineamentos separando zonas com diferentes graus de dissecação, concentrações de anomalias fluviomorfométricas, alinhamento de *nickpoints* e disposição das áreas com regolitos mais bem preservados corrobora um modelo morfotectônico de caráter rúptil, delineado por blocos estruturais com deslocamentos verticais diferenciados.

Palavras-chave: Rio Pardo; morfometria fluvial; Neotectônica; geomorfologia fluvial.

ABSTRACT - This paper aims to outline possible neotectonic deformation in the Rio Pardo hydrographic basin - RPHB based on stream morphometry and SRTM image analysis. The RPHB is located in the São Paulo State Western Plateau, with a geologic substrate that encompasses basalts of the Serra Geral Formation (~132 Ma) and sedimentary rocks of the Bauru Group (Upper Cretaceous), with local Cenozoic sediments, including Quaternary alluvium and alluvial terraces, colluvial mantles, as well as loose sandy aprons with both uncertain ages and derivation. The stream morphometric analyses undertaken in this study comprise the stream-longitudinal profiles, the RDE ratios (Slope vs. Length indexes) and nickpoint alignments in association with drainage or relief lineaments. The RPHB is elongated and its widest portion seems clearly controlled by WNW lineaments, that provide the subdivision of the basin into larger morphostructural blocks and might represent neotectonic reactivations of Guapiara Alignment. The boundary with the Rio Turvo basin shows up controlled by a significant ENE lineament beam. Although this direction is not noticeable in the rest of the basin, it probably represents an important structural limit, composing a rhombohedral pattern at the widest portion of the valley. Stream-morphometry anomalies (especially those that reflect rising tectonic behavior) are concentrated on the southern flank of the basin, which is narrower than right band. This region appears to be being uplifted, as opposed to the other side, where the thicker regolith and alluvium are most expressive, indicating subsidence conditions that favor accumulation of the southern flank erosion products. The RPHB appears to have been amplified by the capture process incorporating most of the wider portion of the current basin. In that process, there was base level lowering, watercourses incisions and alluvial terrace formation in the lower valley. As a general result, those processes led to interfluvial fragmentation, as reflected in the spatial

distribution of thicker regolith portions interpreted from SRTM textural photoanalysis. The conjunction of lineaments separating areas with different degrees of dissection, stream-morphometric anomaly concentrations, nickpoint alignments, plus the arrangement of areas with the best preserved regolith elicits a brittle morphotectonic model delineated by structural blocks with different vertical displacements.

Keywords: Rio Pardo; fluvial morphometry; Neotectonics; fluvial geomorphology.

INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo análises fluviomorfométricas com o objetivo de identificar atividades neotectônicas em região intraplaca, tais como o território brasileiro, tem ganhado maiores contribuições nas últimas duas décadas.

Até por volta da década de 1970, o território brasileiro era considerado “assísmico” por estar estável e no centro de uma placa tectônica. O refinamento nas técnicas de investigações geológicas permitiram identificar anomalias de cunho sísmico e os estudos da Neotectônica permitiram buscar evidências mais sutis ou indiretas nas eventuais deformações, bem como seus agentes causativos e recorrência de tais eventos (Hasui, 1990). Dentre as técnicas de análise, destacam-se aquelas em que se utiliza de evidências fluviomorfométricas, como já empregada por diversos autores em diferentes contextos geológicos.

O emprego das técnicas que utilizam parâmetros fluviomorfométricos baseia-se no fato de que os cursos d’água devem responder mais rapidamente a qualquer tipo de modificações no terreno, alterando seu nível de base, erodindo seu leito ou provocando o entalhamento do talvegue. As respostas das drenagens ocorrem, inclusive, mediante as deformações mais sutis podendo evidenciar modificações tectônicas crustais de pequenas escalas e magnitudes.

O Planalto Ocidental Paulista tem sido área de investigações de cunho neotectônico, já tendo apresentado significativos resultados, inclusive com o registro de sismos que ocorreram durante o século XX. Em se tratando de registros paleossísmicos, tais análises evidenciaram que esta porção do território paulista apresenta sismos com idades entre 30.000 e 600.000 anos na bacia do rio Santo Anastácio (Guedes, 2008) e na bacia vizinha do Rio do Peixe (Etchebehere, 2000).

Nas proximidades da região de estudo, aponta-se o registro de um sismo de 3.0 na

escala Richter, em 1991 na cidade de São Pedro do Turvo e em 1996, de 3.4 na cidade de Areiópolis (IAG, 2014).

Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pardo localiza-se aproximadamente entre os paralelos 22°38’S e 23°06’S e entre os meridianos 48°22’W e 49°50’W, abarcando uma área de 5.016 km². A bacia é limitada a oeste pelas escarpas das cuestas basálticas, ao norte pelo rio Lençóis (afluente do rio Tietê), ao noroeste pela bacia do rio Turvo e ao sul pelo rio Paranapanema, onde deságua na confluência do rio Turvo e do rio Pardo na cidade de Ourinhos. Destacam-se nesta bacia as cidades de Itatinga, Pardinho, Pratânia, Iaras, Águas de Santa Bárbara, Óleo e Santa Cruz do Rio Pardo (FIGURA 1).

A ocupação da região se deu por conta da colonização do “Sertão do Paranapanema”, a partir de 1850, com a chegada de mineiros e posseiros. Na época, as principais culturas eram as lavouras de feijão, milho, arroz, batatas e mandioca, bem como a criação de bovinos, muares e suínos, para subsistência, enquanto lentamente os colonos ocupavam as áreas e combatiam os indígenas (Bray, 1987). Já no fim do século XIX e início do século XX, os plantadores de café chegaram à região, encontrando uma rede urbana modesta e alguns núcleos de povoados. Aproveitando-se das grandes extensões de terras roxas e arenitos, tornaram-se importantes produtores de café no início do século XX.

Atualmente, a região apresenta grandes investimentos no setor industrial, principalmente de calçados, como é o caso de Santa Cruz do Rio Pardo, e de couro, em Pratânia, bem como em turismo de aventura e ecológico em Pardinho e Águas de Santa Bárbara. No setor agropecuário, destacam-se a cultura da cana-de-açúcar e a criação de gado bovino.

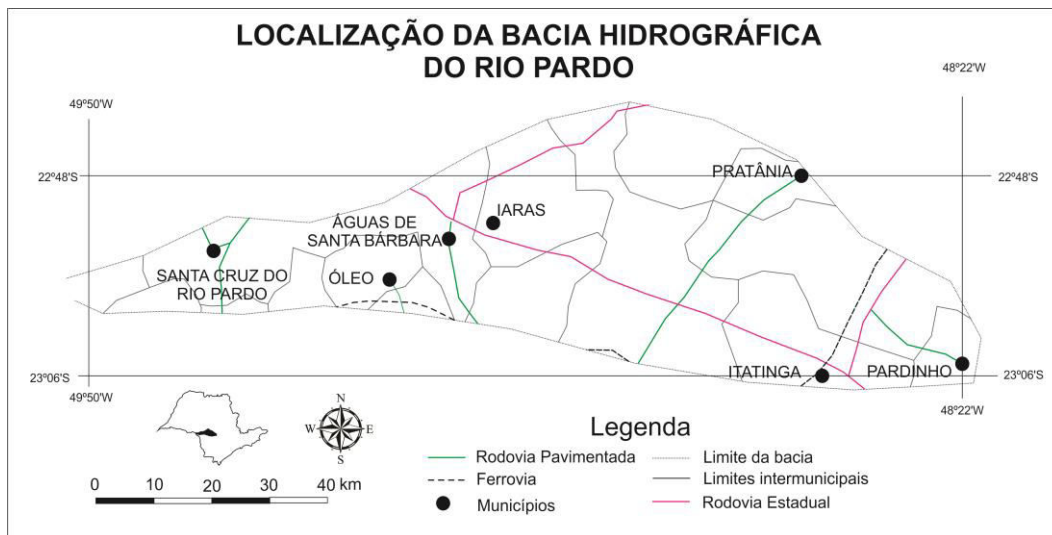


Figura 1. Localização da área de estudo.

CONTEXTOS GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A bacia hidrográfica do rio Pardo está inserida no contexto do Planalto Ocidental Paulista, definido por Moraes Rêgo (1932) e seu substrato compreende unidades litoestratigráficas da Bacia Sedimentar do Paraná. Na base, afloram basaltos da Formação Serra Geral, com aproximadamente 132,4 Ma (Renne et al., 1992), capeados por rochas sedimentares siliciclásticas do Grupo Bauru (Ks), representados pelas formações Adamantina e Marília (Peixoto, 2010), conforme pode ser observado na figura 2. Complementando a coluna sedimentar, verificam-se coberturas cenozoicas, que incluem formações superficiais (regolitos) e

aluviões quaternários. Do ponto de vista estrutural, a bacia hidrográfica do rio Pardo abrange uma área de cruzamento de lineamentos e suturas crustais (IPT, 1989), NE, NNW e EW, esta última ligada ao Alinhamento do Paranapanema (Fulfaro et al., 1982).

Ressalta-se, ainda, que a área de estudo está inserida na Zona Sismogênica de Presidente Prudente (IPT, 1989), proposta para reunir os sismos que incidem na área das suturas de Ribeirão Preto e Presidente Prudente, bem como ao longo de anomalias aeromagnéticas correspondente ao Lineamento Guapiara (Almeida et al., 2012).

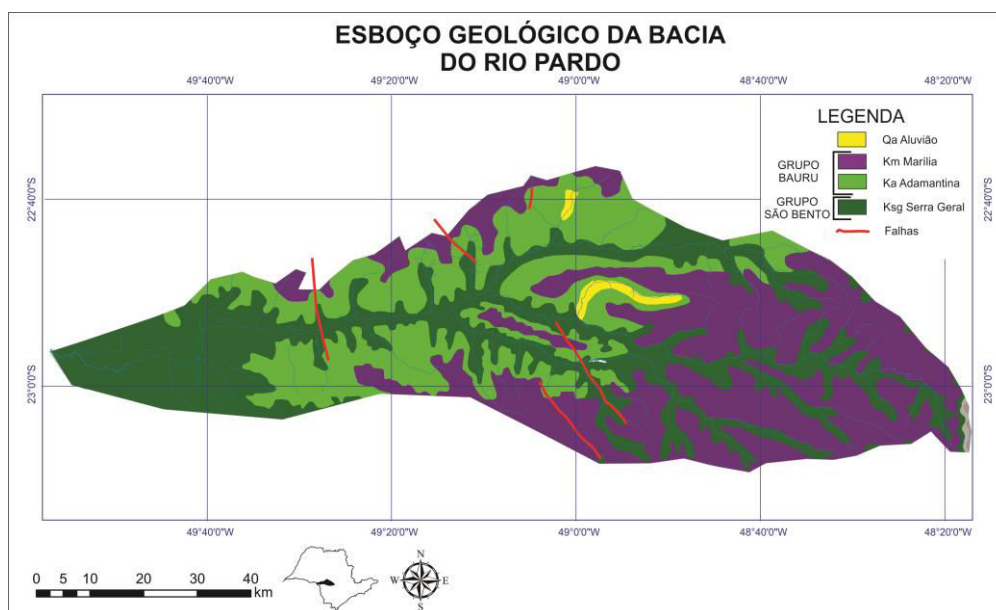


Figura 2. Esboço geológico da bacia do rio Pardo. Fonte: Baseado em Guedes (2014).

Do ponto de vista geomorfológico, de acordo com Ross & Moroz (1997), a área de estudo insere-se na Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, na Unidade Morfoescultural Planalto Ocidental Paulista. Dentro desta última unidade, encaixa-se no Planalto Centro Ocidental, que apresenta como característica principal a existência de planaltos

e baixos platôs, colinas amplas e baixas, com baixo potencial de erosão. Este ambiente é favorável à pedogênese e ao desenvolvimento de manto de alteração predominantemente profundo, com a porção superior pouco erosiva e de boa estabilidade nos taludes (Peixoto, 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

Morfometria fluvial

Os estudos que envolvem a identificação de atividades neotectônicas através de parâmetros fluviomorfológicos, tem ganhado maior visibilidade nas últimas décadas. O método apresentado é simples e de baixo custo, demandando apenas cartas topográficas em escala 1:50.000 e a utilização de curvímeter. Atualmente, com o emprego das técnicas de geoprocessamento também é possível aferir tais drenagens com o uso de softwares, tais como *ArcGIS 10.0*, tal como se procedeu para este trabalho.

O método da análise dos perfis longitudinais das drenagens é baseado na compreensão de que os cursos d'água sempre procuram correr sobre seu ponto de equilíbrio e que qualquer tipo de alteração no nível de base levará a drenagem buscar um novo ajuste, seja por erosão do próprio leito ou por agração.

A confecção de gráficos dos perfis longitudinais das drenagens se faz pela medição entre dois segmentos de curva de nível, plotando em um gráfico de coordenada cartesiana a altitude e a extensão da drenagem. Após a geração do gráfico insere-se a linha de melhor ajuste (*best fit line*), permitindo identificar os trechos anômalos. Entende-se que quanto maior o afastamento da drenagem em relação à curva, maior o seu nível de desajuste que se pode mostrar acima da linha (indicando trecho e soerguimento) ou abaixo (indicando subsidência) (cf. Volkov, et al., 1967). Não somente, também é adicionado um rodapé geológico, facilitando a interpretação dos trechos em soerguimento e em ascensão, de acordo com a litologia.

A margem de erro que pode ocorrer, por conta da imprecisão cartográfica, também deve ser considerada, conforme orienta McKeown et al. (1988). Para tal optou-se para este trabalho,

considerar anomalias acima ou abaixo de 10 m em relação à linha de melhor ajuste, como já vem sendo empregado por outros autores nos outros trabalhos no âmbito do Planalto Ocidental Paulista (eg. Etchebehere, 2000; Etchebehere et al., 2006; Guedes et al., 2006; Guedes, 2008; Guedes et al., 2009; Etchebehere et al., 2011, Santos et al., 2011; Porto et al., 2013; Guedes, 2014 e Porto, 2014).

Os gráficos gerados dos perfis longitudinais das drenagens também auxiliam na identificação de *nickpoint*, configurando outro método bastante útil empregado nesta análise. Os *nickpoints* podem ser considerados como qualquer ponto de quebra no perfil longitudinal da drenagem. A identificação de tais *nickpoints* são plotados em uma carta e pode ser realizado o alinhamento desses pontos, sugere o controle geomorfológico local por falhas. Tal método, empregado por Crosby & Whipple (2006) na Nova Zelândia e Ferreira, Gomes & Antón (2010) em Portugal, responderam satisfatoriamente à busca por identificação de atividade neotectônica.

Estudos de *nickpoint* com vistas às deformações neotectônicas também foram empregadas em território paulista por Etchebehere et al. (2011) e Etchebehere (2013) na bacia do rio Corumbataí e Silva et al. (2012) na bacia hidrográfica do Alto Rio Jaguarí. O emprego da técnica de alinhamento de *nickpoint* para identificar falhas e deformações na geomorfologia foi empregado por Guedes (2014) em uma análise regional entre as bacias hidrográficas ao sul do rio Tietê (incluindo esta) e ao norte da bacia do rio Paranapanema.

Ainda dentro dos parâmetros fluviomorfológicos utilizados, aponta-se, também, os índices de Relação Declividade vs. Extensão (RDE), calculados a partir da fórmula: $RDE = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$ 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 segmento; e, L corresponde ao comprimento total do curso d'água a montante do ponto para o qual o índice RDE está sendo calculado (Etchebehere, 2000).

Os índices RDE podem ser aplicados tanto para a extensão total do rio (RDEt), quanto para cada segmento da drenagem (RDEs). Diversos estudos apresentaram a aplicação deste método em diferentes contextos geológicos e geomorfológicos no âmbito do Estado de São Paulo, tais como: Etchebehere (2000), Etchebehere et al. (2006), Guedes, (2008), Guedes et al. (2009), Maciel (2009), Silva (2010), Etchebehere et al. (2011), Porto et al. (2013), Etchebehere (2013), Guedes (2014) e Porto (2014).

Os índices de RDE se correlacionam com os níveis de energia da corrente (*stream power*), refletindo na energia responsável pela erosão do substrato e pelo transporte de sedimentos. Keller & Pinter (1996) destacam que a energia é proporcional à declividade da superfície onde flui o curso d'água e à descarga naquele trecho. Hack (1973) orienta que os primeiros 800 m da drenagem devem ser excluídos, pois há outras forças que podem contribuir com o desequilíbrio do canal. McKeown et al. (1988) advertem que os 5 quilômetros iniciais de um curso d'água podem estar em desequilíbrio, refletindo nos índices auferidos, entretanto, conforme Etchebehere et al. (2011), a análise inicial deve-se basear, primeiro, no perfil longitudinal da drenagem, mantendo a cautela sobre os valores altos de RDEs que aparecerem próximos à cabeceira.

Lineamentos da drenagem e do relevo

Os trabalhos envolvendo lineamentos da drenagem e do relevo, em diferentes contextos geológicos com o objetivo de identificar prováveis falhas em contexto intraplaca têm

sido apresentados, sobretudo nos últimos anos (eg. Costa et al., 1996; Biswas & Grasemann, 2005; Etchebehere, et al., 2005; Santoni & Morales, 2006; Maciel, 2009). O emprego desta técnica baseia-se nas orientações de Sabins Jr. (1978) que compreende um lineamento como traços ou feições lineares topográficas ou tonais no terreno ou em imagens e mapas, que podem representar zonas de fraqueza estrutural.

Para extrair os lineamentos da drenagem e do relevo, utilizou-se as imagens SRTM (*Missão Suttle de Radar Topográfico*), onde as elevações são representadas em metros sem casas decimais e referenciadas para o *Datum Vertical SWG-85 EGM96*, pelo software *Global Mapper*, versão 10.

As imagens interpretadas foram geradas a partir do modelo *Gradient Shader* em que a visualização da topografia se dá através do sombreamento em escala de cor cinza, variando de acordo com a diferença altimétrica de 294 m (mais claro) até 1.000 (mais escuro). As elevações são representadas em metros sem casas decimais e referenciadas para o Datum Vertical WGS85. A direção da luz sobre a imagem é de inclinação 45 e azimute 45°. A imagem analisada procedeu-se em escala de 1:200.000 evidenciando os grandes lineamentos da drenagem e do relevo. Em seguida os lineamentos foram agrupados de acordo com o seu direcionamento variando em agrupamentos de 22°5' em 22°5', contabilizados e demonstrados através da confecção de roseta de frequência.

Para delimitar os espessos mantos de regolito gerou-se a imagem a partir do modelo *Slope Shader* em que a visualização se dá através do sombreamento, também, em escala de cinza, com a unidade planar em *Arc Degrees* em que os mantos de regolitos e os aluviões refletem as imagens mais esbranquiçadas.

Tal software também foi utilizado para gerar as imagens em modelos tridimensionais, conforme demonstrado adiante.

RESULTADOS OBTIDOS

Estudos empreendidos por Guedes (2014) concentraram-se em 38 drenagens acima de 8 km (Quadro 1) servindo de base para a

confecção dos perfis longitudinais das drenagens, plotagem dos *nickpoints* e elaboração dos índices de RDEs.

Nº	Drenagem	Extensão (km)	Cota na cabeceira (m)	Cota na foz (m)	Amplitude (m)	RDEt
	Rio Pardo	263.80	970	390	580	104
1	Rib. Grande	12.13	555	430	125	50
2	Cór. São José	11.54	479	410	69	28
3	Cór. Primavera	11.18	562	430	132	55
4	Rib. Mandaçaia	14.86	600	450	150	55
5	Rib. Palmeiras	10.99	560	430	130	54
5a	Rib. Figueira	16.5	660	460	230	82
6	Rib. Água Limpa	12.82	650	450	200	78
7	Rib. Dourado	13.85	690	490	200	76
8	Rib. Guacho	18.5	650	530	120	41
9	Rib. Lajeado	14.4	698	490	208	78
10	Rib. Capivari	14.62	650	550	100	37
11	Rib. Barra Grande	22.08	715	530	185	60
12	Rib. Capão Rico	14.7	658	570	88	33
13	Rio Novo	102	878	550	328	71
13a	Rib. Três Ranchos	22.59	780	590	190	61
13b	Rib. Varetá	12.4	758	590	168	67
13c	Rib. Rosário	11.4	770	610	160	66
13d	Rib. Boa Vista	12.1	770	630	140	56
13e	Rio do Lajeado	28.3	855	630	225	67
13f	Rib. Cabiúna	12.7	805	710	95	37
13g	Rib. Bonito	13.1	815	730	85	33
14	Rio Claro	89	860	570	290	65
14a	Rib. Capivara	13.5	678	590	88	34
14b	Rio Turvinho	19.8	665	590	75	25
14b i	Rib. Caçador	12.6	690	590	100	39
14c	Cór. Pulador	12.5	675	600	75	30
14d	Rib. Conchos	14.6	798	630	168	63
14e	Rib. Dois Córregos	8.4	770	650	120	56
14f	Rio da Prata	14.2	825	670	155	58
15	Rib. Pedras	34.2	895	690	205	58
15a	Rib. Atalho	18.9	920	790	130	44
16	Rio Palmital	32.2	778	610	168	48
17	Rib. Mato do Frutal	13.4	930	750	180	69
18	Rib. Divisa	13.8	778	630	148	56
20	Cór. Bruno	11.3	800	690	110	45
22	Rib. Faxinal	15.5	835	710	125	46
24	Rib. Serra d'Água	12.3	905	710	195	78

Quadro 1. Drenagens utilizadas para medições aferidas na bacia do rio Pardo e seus respectivos valores.

A interpretação dos perfis longitudinais (ANEXOS) revelou um forte controle de subsidência na calha do rio Pardo e em seus afluentes da margem esquerda (sugerindo abatimento de bloco para o sul). As cabeceiras da margem direita apresentam fortes anomalias em ascensão, juntando-se às anomalias análogas das bacias vizinhas (Turvo e Tietê). Ainda que as drenagens pertencentes à sub-bacia do Rio Claro (14) não apresentem diferenciação em relação a *best fit line*, seus perfis exibem grandes trechos retilíneos, sugerindo o controle por falhas.

Nesta região, conforme descrito acima, são reconhecidos os traços do Lineamento Guapiara, marcado por falhas normais e fraturamento intenso, referido inicialmente aos diques correlatos ao Vulcanismo Serra Geral do Mesozoico, e nos últimos anos com várias

indicações de deformações pós-mesozoicas (Morales et al., 2014). Estas anomalias estão associadas a feições semelhantes àquelas reconhecidas neste trabalho.

As interpretações dos perfis longitudinais desta bacia encontram-se listados abaixo, seguidas da figura 4 que as representam.

- O Rio Pardo (FIGURA 3) escoar em sua totalidade sobre a Fm. Serra Geral (Ksg). Apresenta perfil bastante alterado com diversos pontos de *nickpoint*, entre os km 184 e 240, apontam-se dois *nickpoints* expressivos. Dos 260 km de extensão, aproximadamente 80 km apresenta-se em soerguimento e aproximadamente 160 km em subsidência. O perfil bastante alterado apresenta, pelo menos, duas grandes

- quedas d'água com uma amplitude de 60 m (entre os km 30 e 35) e 20 m (km 185).
- As drenagens 1, 2, 13f, 13g, 14a, 14b, 14c, 14d, 16, 20 e 22 não exibem nenhum tipo de anomalia em seus perfis.
 - Ainda que os perfis 1, 2, 13f, 13g, 14, 14a, 20 não apresentem afastamento em relação à linha de melhor ajuste, todas apresentam perfil retilíneo, correndo sobre a Fm. Serra Geral (Ksg), sugerindo o controle da drenagem por falhas ou fraturas.
 - Os perfis 3, 4, 5, 5a, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 13a, 13b, 13c, 13d, 13e, 14b, 14b i, 14c, 14e, 14f, 15, 15a, 17, 18 e 24 apresentam forte controle estrutural indicado pelo abatimento de blocos, provavelmente associados a falhas normais e significativos pontos de *nickpoint*.
 - As drenagens 7, 9, 10 e 12 correm quase que em sua totalidade acima da *best fit line*, apresentando suas drenagens em soerguimento.
 - Os perfis 3, 4, 5, 5a, 6, 8, 11, 13, 13a, 13c, 13d, 13e, 15, 15a, 17 e 24 apresentam suas cabeceiras em soerguimento e foz em subsidência. Todas as drenagens apontam anomalias de RDEs e indicações de *nickpoint*.

- As drenagens 13b e 14e indicam apenas um pequeno trecho em sua cabeceira em soerguimento.
- O perfil 14b i exibe 50% do seu canal acima da linha de melhor ajuste.
- O perfil 14f apresenta um pequeno trecho em sua foz em subsidência.
- A drenagem 18 apresenta trecho central em ascensão, talvez provocado pela mudança na litologia.

A análise da imagem SRTM para esta área, apresentado por Guedes (2014) e traçados em escala 1:500.000 apresenta lineamentos expressivos da família de direção ESE-WNW em toda sua extensão. Secundariamente apresentam-se as direções NW-SE e E-W, com alguns traços WSW-ENE na cabeceira da margem direita. Alinhamentos de *nickpoint* nesta bacia apresentaram dois traços principais na margem esquerda de direção E-W e quatro traços que migram de NNW a W na sua cabeceira.

Para este trabalho, como já dito anteriormente, traçou-se os lineamentos em escala 1:200.000, revelando os seguintes padrões: as famílias de direções N-S e NE-SW apresentam-se dispersamente ao longo da bacia; a família de lineamentos ESE-WNW apresenta-se predominante em toda a bacia, porém se nota o forte o controle desta direção no alto vale, nas proximidades do seu limite com o rio Tietê e na porção central da bacia, influenciado pelo Lineamento Guapiara.

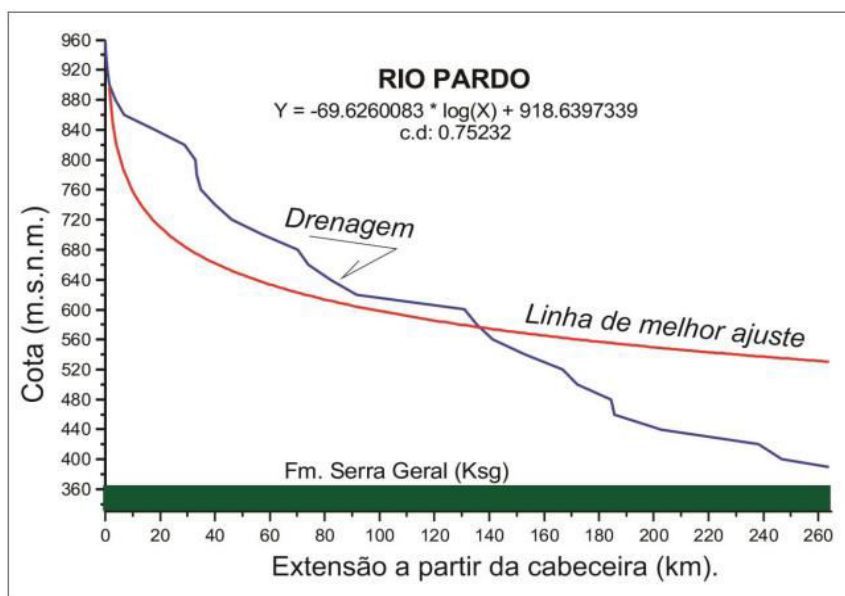


Figura 3. Perfil longitudinal do rio Pardo.

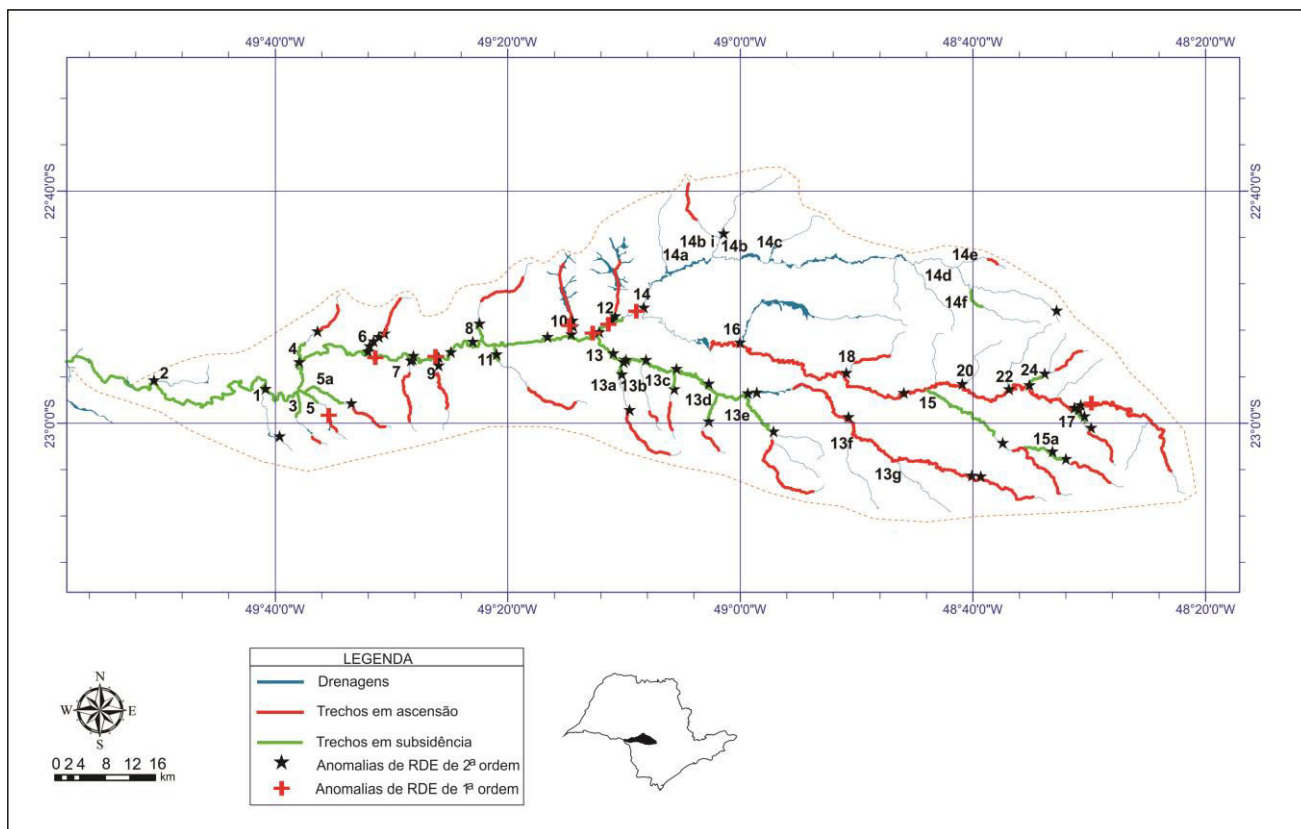


Figura 4. Anomalias fluviomorfológicas na bacia do rio Pardo.

A família de lineamentos ENE apresentam dois feixes que acompanham a calha do rio Pardo até as proximidades com a drenagem 16. A margem ao norte acompanha o divisor de águas entre a bacia do rio Pardo e a bacia do rio Turvo. Secundariamente, em menor proporção, o feixe meridional alonga-se até à drenagem 16. Isoladamente outros lineamentos postam-se distribuídos no alto vale da bacia. Já a direção E-W de forma quase contínua, apresenta uma grande família desta direção que atravessa o centro da bacia, bem como um grande feixe se alonga pela cabeceira meridional. A família SE-NW se distribui ao longo de toda bacia, com predominância no alto e médio vale, também influenciado pelo Lineamento Guapiara.

Abaixo, as figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, todas as famílias de lineamentos extraídos na bacia (5) e detalhe das famílias E-W / ENE-WSW e ESE-WNW / SE-NW (6).

A imagem SRTM, utilizada para delimitar as áreas com extensos pacotes de regolitos e de

acúmulo de aluvião nas drenagens revelou que as concentrações desses pacotes encontram-se predominantemente no setor setentrional da bacia. As áreas de solos mais espessos podem corresponder a remanescentes de pediplanos ou pedimentos, ou ainda, a coberturas pedogênicas de blocos tectônicos subsidentes. Neste caso, incluindo-se, também os trechos subsidentes da bacia de drenagem com o talvegue associado, indicado na figura 7 como os aluviões destacados na imagem, enquanto que nos blocos soerguidos os perfis de alteração são encontrados de forma truncada, incompletos, pela erosão ali instalada. Os blocos alçados em relação aos blocos abatidos apresentam um truncamento do perfil de alteração, erodido parcialmente. Já no bloco abatido, é possível reconhecer depósitos irregulares e mal selecionados, caracterizado pelo produto erodido do bloco adjacente. Feições semelhantes foram descritas por Santoni & Morales (2006) e por Guedes (2008), na bacia do rio Santo Anastácio.

LINEAMENTOS DA DRENAGEM E DO RELEVO NA BACIA DO RIO PARDO

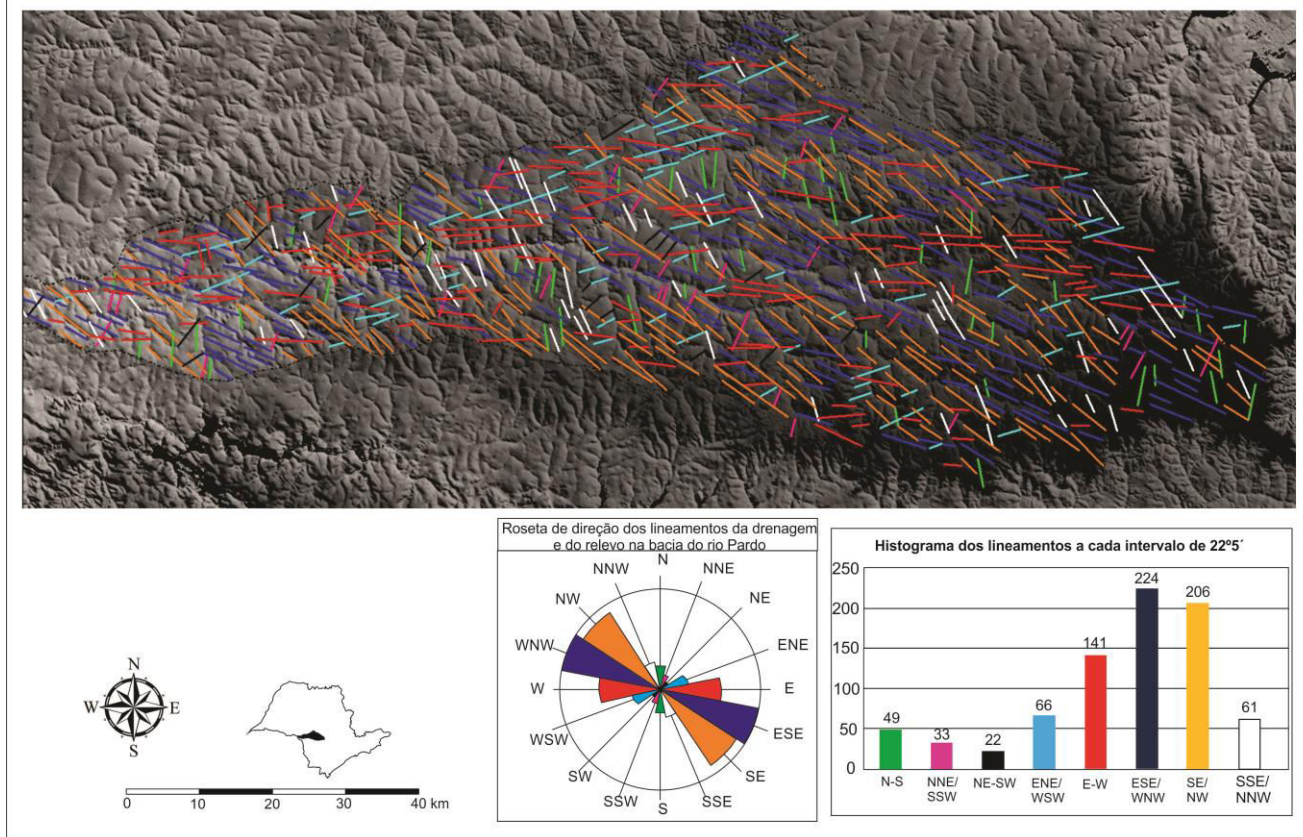


Figura 5. Lineamentos da drenagem e do relevo na bacia do rio Pardo.

EXTRAÇÃO DAS PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE LINEAMENTOS DA DRENAGEM E DO RELEVO NA BACIA DO RIO PARDO

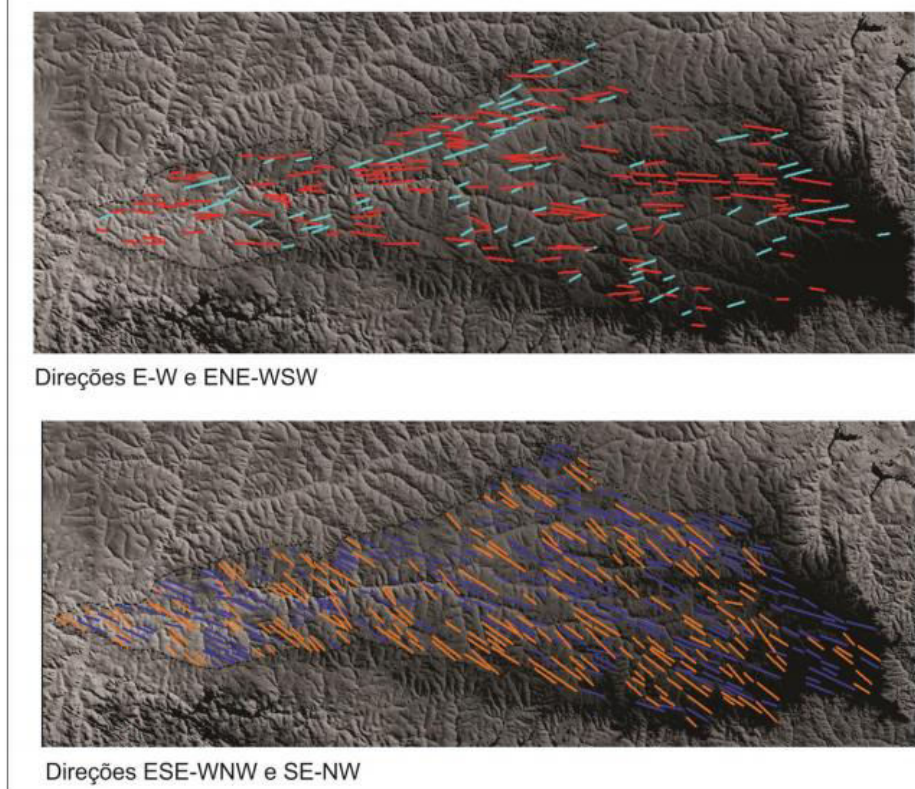


Figura 6. Imagens SRTM com lineamentos E-W / ENE-WSW (superior) e ESE-WNW / SE-NW (inferior).

Levantamentos pedológicos realizados por Demarchi (2012) na região de Santa Cruz do Rio Pardo, apresentam predominantemente os solos dos tipos Latossolo Vermelho Eutroférico e Latossolo Vermelho Distrófico.

Atividades em campo nas proximidades da foz do rio Pardo apresentaram Latossolos Vermelho-Amarelo, de granulometria média e mal selecionados, estendendo-se ao longo da paisagem com obras para contenção de enxurradas (Figura 8).



Figura 7. Delimitação de mantos de regolitos e aluviões expressivos.



Figura 8. Latossolos Vermelhos-Amarelos na beira da estrada nas proximidades da foz do rio Pardo. A imagem evidencia obras para contenção de enxurradas em área de plantação de cana. Coordenadas do ponto: 49°49'03"W x 22°58'48"S.

A interpretação dos alinhamentos de *nickpoints* em imagem SRTM permitiu delimitar as prováveis falhas que limitam

blocos subsidêntes e em ascensão. A figura 9 apresenta uma imagem em três dimensões delimitando, no alto vale, horste e gráben.

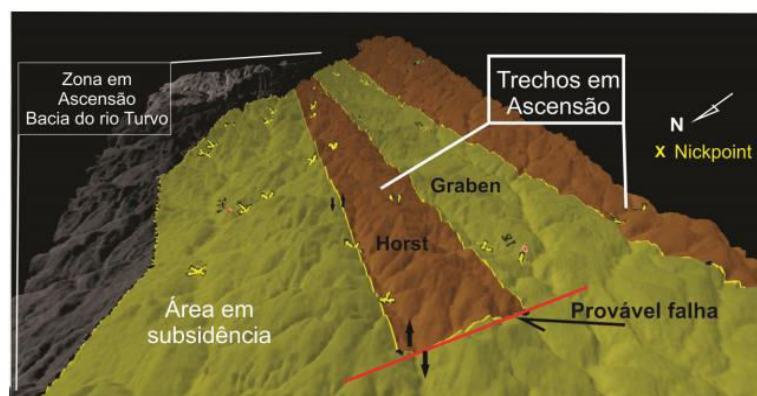


Figura 9. Delimitação de blocos subsidêntes e em ascensão no alto vale do rio Pardo.

A partir de estudos empreendidos por Guedes (2014) em que se apresentou uma proposta de blocos morfotectônicos no Planalto Ocidental Paulista, compilou-se os dados da

bacia vizinha do rio Turvo e, diante dos dados coletados integrou-se a este trabalho ambas as áreas (Figura 10).

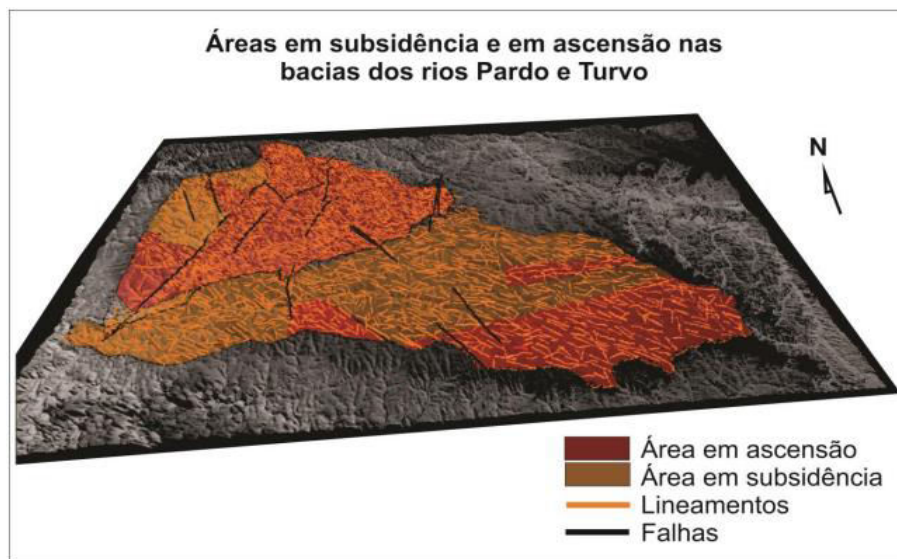


Figura 10. Blocos em ascensão e em subsidência nas bacias dos rios Turvo e Pardo.

CONCLUSÃO

Os trabalhos empreendidos na presente área de estudo possibilitaram delimitar uma proposta para blocos controlados tectonicamente. A bacia do rio Pardo apresenta-se alongada e sua porção do alto vale mostra-se claramente controlada pelos lineamentos de direção WNW, com forte influência do Lineamento Guapiara.

A porção central da bacia apresenta lineamentos controlados pela direção E-W, influenciados pelo Alinhamento Paranapanema, indicando, a montante, um horste evidenciado pela presença de erosões no topo com depósitos de aluvião e mantos de regolito na base.

O limite da bacia do rio Pardo com a bacia do rio Turvo mostra-se controlado por um feixe expressivo de lineamentos ENE. Esta direção não é notada no restante da bacia e pode significar um importante limite estrutural da bacia, em especial por compor um padrão romboédrico.

As anomalias (em especial os trechos em ascensão) se concentram no flanco sul da bacia, que é mais estreito e pode indicar uma importante assimetria estrutural. Esta região está sendo soerguida, em contraponto ao trecho setentrional, onde estão os regolitos mais espessos e os aluviões mais expressivos,

caracterizando a acumulação dos produtos de erosão do flanco sul.

A partir das informações já descritas acima, tais como o controle estrutural e o soerguimento/abatimento relativo entre os blocos, permite-se sugerir que a bacia do rio Pardo aparenta ter sido menor e depois ampliada por processo tectônico (incorporando a maior parte da porção mais larga da bacia atual). Nesse processo, houve rebaixamento do nível de base, com incisão dos talvegues e formação de terraços no baixo vale, o que se acha refletido na fragmentação dos interflúvios.

O conjunto de informações apresentados neste trabalho, permite apresentar um quadro de evidências de atuação neotectônica no vale do rio Pardo que deve ser levado em consideração nas análises que tratem da evolução geológica e geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, bem como nos estudos de planejamento territorial e de avaliação do risco sísmico no que concerne ao uso e ocupação do solo, considerando a susceptibilidade natural do solo à erosão e ao planejamento para construções de grande porte, tais como condomínios, usinas, barragens e gasodutos.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R.; BARTORELLI, A. Magmatismo pós-paleozoico no Brasil. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (Orgs). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, p. 430-452.
2. BISWAS, S. & GRASEMANN, B. Quantitative Morphotectonics of the Southern Shillong Plateau (Bangladesh/India). **Austrian Journal of Earth Sciences**. v. 97, p. 82-93, 2005.
3. BRAY, S.C. Os primeiros povoadores e a posse da terra no vale do Paranapanema. **Bol. De Geografia – UEM**, Ano 5, n. 1, março, 1987. P. 5-24
4. COSTA, J. B. S.; BEMERGY, R. L.; HASUI, Y. BORGES, M. S.; FERREIRA Jr., C. R. P. F.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região Amazônica: Aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 23-24, 1996.
5. CROSBY, B. T. & WHIPPLE, K. X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand. **Geomorphology**, v. 86, p. 16-38, 2006.
6. DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP**. Botucatu, 2012. 150f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
7. ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços neokuaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. 2000. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
8. ETCHEBEHERE, M. L. C. **Análise neotectônica da bacia do rio Corumbataí (SP) mediante estudos de parâmetros fluviomorfométricos**. Guarulhos, 2013, Programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa, CNPq, 85 p. (Relatório Final de Pesquisa).
9. ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; CASADO, F. C. Análise morfoestrutural aplicada no vale do Rio do Peixe (SP): uma contribuição ao estudo da neotectônica e da morfogênese do Planalto Ocidental Paulista. **Revista Universidade Guarulhos, Geociências**, Guarulhos, SP, v. 10, n. 6, p. 45-62, 2005.
10. ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C.; MORALES, N. Análise fluviomorfométrica do Rio Corumbataí (SP) – implicações morfotectônicas vinculadas à migração de nickpoint. **Revista Universidade Guarulhos Geociências**, Guarulhos, SP, v. 10, n. 1, p. 74-94, 2011.
11. ETCHEBEHERE, M. L. C. SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. 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. **Geociências**, Rio Claro, v. 25, p. 290-319, 2006.
12. FERREIRA, C.; GOMES, A.; ANTÓN, L. Knickpoints na bacia hidrográfica do Douro: análise da sua distribuição e implicações estruturais. In: Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 6. Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2. 2010. Coimbra. **Boletim de Resumos...** Universidade de Coimbra, Maio de 2010, p. 1-13.
13. FULFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.B.; VIANNA, R.B. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, n.4, p.590-611. 1982.
14. GUEDES, I.C. **Aplicação de análise flúvio-morfométrica na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio – SP para detecção de deformações neotectônicas**. Guarulhos, 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de Pós-graduação e Pesquisa – CEPPE, Universidade Guarulhos, Guarulhos.
15. GUEDES, I.C. **Análise morfotectônica do Planalto Ocidental Paulista, ao sul do Rio Tietê: indicadores de deformações neotectônicas na fisiografia da paisagem**. 2014. 2 v. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
16. GUEDES, I. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; MORALES, N.; STEVAUX, J. C.; SANTONI, G. C. Análise morfotectônica da bacia do rio Santo Anastácio, SP, através de parâmetros flúvio-morfométricos e de registros paleossismológicos. **Geociências**, Rio Claro, v. 28, n. 4, p. 345-362, 2009.
17. GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C.; MORALES, N.; SAAD, A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista Universidade Guarulhos, Geociências**, Guarulhos, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.
18. HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research of the United State Geological Survey**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.
19. HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozoica continental no sudeste brasileiro, 1, 1990, Belo Horizonte. **Boletim...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, p. 1-31.
20. INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRIAS – IAG. **Boletim Sísmico Brasileiro – Catálogo do IAG**. Sismologia. 2014. Disponível em: < <http://moho.iag.usp.br/sismologia/boletim.php>>. Acesso em 28 mai. 2014.
21. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1989. **Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo**. DMGA, 2v., 289p. (IPT. Relatório 27.394).
22. KELLER, E.A. & PINTER, N. **Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
23. MACIEL, D. L. P. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem para a caracterização da soleira de Arujá e a análise de processos neotectônicos**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de Pós-graduação e Pesquisa – CEPPE, Universidade Guarulhos, Guarulhos.
24. 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. United State Geological Survey Bulletin**, n. 1807, 39 p., 1988.
25. MORAIS RÉGO, L.F. **Notas sobre a Geomorfologia de São-Paulo e sua Gênese**. São Paulo: Instituto Astronômico e Geográfico, 43p., 1932.
26. MORALES, N. ; VEDOVELLO, P. ; PELAES, I. ; HASUI, Y. ; SALAMUNI, E.; SOUZA, I.A. ; SOARES JR., A.V. . Falhas pós-mesozoicas ao longo do Lineamento Guapiara. In: 47 Congresso Brasileiro de Geologia, 2014, Salvador - BA. **Anais...** Salvador - BA: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Bahia - Sergipe, 2014. v. único.
27. PEIXOTO, C. A. B. (Org). **Geodiversidade do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2010.
28. PORTO, D. R. **Análise fluviomorfométrica da porção setentrional do Planalto Ocidental Paulista para detecção de possíveis deformações neotectônicas**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de Pós-

graduação e Pesquisa – CEPPE, Universidade Guarulhos, Guarulhos.

29. PORTO, D. R. ; PELLEGRINI, P. S. ; ETCHEBEHERE, M. L. C. ; SAAD, A. R. . Análise morfotectônica da bacia do rio Aguapeí, planalto ocidental paulista, mediante fluviomorfometria e fotointerpretação. **Geociências**, Rio Claro, v. 32, n. 2, p. 227-246, 2013.

30. RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J. M.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M. The age of the Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, v. 258, p. 975-979, 1992.

31. ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, DG-FFLCHUSP, IPT, FAPESP, 1997.

32. SABINS Jr., F. F. **Remote sensing, principles and Interpretation**. San Francisco: W. H. Freeman, 1978.

33. SANTOS, L. F. F.; GUEDES, I. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C. Análise neotectônica do Pontal do Paranapanema (SP) mediante aplicação de parâmetros fluviomorfométricos. **Geociências**, Rio Claro, v. 30, n.4, p. 491-507, 2011.

34. SANTONI, G. C. & MORALES, N. **Análise estrutural do fraturamento na bacia do rio Santo Anastácio, Planalto**

Ocidental Paulista, para detecção de deformações neotectônicas. Rio Claro: FAPESP, 2006. Relatório Parcial FAPESP, n. 06/50237-3. 48 p.

35. SILVA, G.P.R. **Aplicação de análise flúvio-morfométrica na bacia hidrográfica do rio Jaguari (parte montante) para detecção de deformações neotectônicas**. 2010. 148f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de Pós-graduação e Pesquisa – CEPPE, Universidade Guarulhos, Guarulhos.

36. SILVA, G.P.R.; ETCHEBEHERE, M.L.; SAAD, A.R.; FRANCO-MAGALHÃES, A.O.B. Análise de perfis segmentados de drenagem para a avaliação morfotectônica na bacia hidrográfica do alto Rio Jaguari (SP-MG). **Geociências**, Rio Claro, v.31, n.2, p. 259-271, 2012.

37. VOLKOV, G. 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, n., 1967, Bern, Suiss. Proceedings... **Bern: International Union of Geodesy and Geophysics**, 1967, p. 105-116.

Manuscrito recebido em: 12 de Setembro de 2014

Revisado e Aceito em: 15 de Junho de 2015

ANEXOS

