

ANÁLISE DE PERFIS LONGITUDINAIS DE DRENAGENS DO MUNICÍPIO DE GUARULHOS PARA A DETECÇÃO DE DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS

STREAM LONGITUDINAL PROFILE ANALYSES APPLIED TO THE DETECTION OF NEOTECTONIC DEFORMATIONS IN THE GUARULHOS MUNICIPALITY, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Ricardo ACKLAS Jr.¹; Mario Lincoln ETCHEBEHERE²; Fabio da Costa CASADO³

Resumo: Análises morfométricas de cursos d'água podem fornecer informações valiosas acerca de possíveis deformações neotectônicas. Dentre as técnicas disponíveis, destaca-se o emprego dos perfis longitudinais das drenagens, onde os cursos d'água equilibrados (i.e., cujos canais estejam estáveis, sem erosão do substrato nem agradação da planície aluvionar, possibilitando apenas o trânsito ininterrupto de carga sedimentar) mostram perfis de conformação logarítmica, concavidade voltada para o alto e assíntotas longas. Nos perfis onde a distância da cabeceira é mostrada em escala logarítmica (gráficos semilog) no eixo das abscissas, o perfil equilibrado aproxima-se de uma reta. Quaisquer afastamentos em relação às curvas de melhor ajuste representam anomalias morfométricas, que podem ter os seguintes condicionantes: foz de tributários caudalosos, presença de substrato rochoso mais resistente à erosão, ou, ainda, deformação tectônica. Descartadas as duas primeiras possibilidades, pode-se inferir a incidência de processos neotectônicos. O presente artigo mostra a análise efetuada em perfis longitudinais nas drenagens mais importantes do Município de Guarulhos (extensões superiores a 4 km), com dados morfométricos obtidos em cartas topográficas em escala 1:50.000 (equidistância de 20 m entre as curvas de nível). Cinco anomalias foram detectadas e cotejadas com as informações geológicas disponíveis na literatura. Elas estão vinculadas a expressivos lineamentos e foram interpretadas como relacionadas com falhas ativas, por vezes demarcando limites de calhas aluvionares. Recomenda-se que estudos de maior detalhe sejam conduzidos no âmbito dessas anomalias, tanto em termos morfométricos, baseados em cartas topográficas de maior detalhe, quanto via trabalhos de campo, buscando-se elementos estruturais e tectônicos que comprovem a movimentação recente no contexto do território do Município de Guarulhos.

Palavras-chave: Perfis Longitudinais de Rios; Morfometria Fluvial; Neotectônica; Município de Guarulhos.

Abstract: The morphometric analyses of longitudinal profiles of streams provide valuable information about the ongoing deformation process associated with Neotectonic regime. Abrupt changes in the drainage gradient might indicate differential tectonic movements like faults and/or uplifts or subsidences, once upon other hydraulic conditioners be ruled out (e.g., big tributaries, differential rates of erosion). The main objective of this contribution is to show the morphometric analyses carried on of the major drainages of the Guarulhos Municipality, in order to delineate possible active deformations in that area. The river longitudinal profiles are showed in graphics (elevation vs. distance from headwaters) with values obtained from 1:50.000 topographic charts (20 m contour intervals). In these graphics, the distance from the headwaters is showed both in arithmetic and logarithmic scales. These longitudinal profiles usually show a gradual decrease downstream, depicted as a straight line in a semilogarithmic (semilog) plot. Best fit lines are also plotted in the graphics and used as a reference base to distinguish the anomalous reaches. Positive values might be correlated with uplifting areas and the negative ones with subsidences. Additionally, abrupt changes in the stream slope might be matched by active fault planes. Five expressive anomalies were detected in the Guarulhos stream network in the used work scale. All of them could be associated with expressive lineaments discernible in the geomorphic map and interpreted here as deformation features associated with active faults. Additional morphometric studies can be recommended in the anomalous drainage reaches using a more detailed topographic base plus field work in order to search for new structural and tectonic elements that can prove the Neotectonic deformation in this territory.

Keywords: Stream Longitudinal Profiles; Fluvial Morphometry; Neotectonics; Guarulhos Municipality.

1- Licenciado em Geografia, Universidade Guarulhos - UnG; Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC-UnG.

2- Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão - CEPPE - Universidade Guarulhos - UnG (metchebehere@ung.br).

3- Laboratório de Geociências - LabGeo - Universidade Guarulhos - UnG (fcasado@ung.br).

INTRODUÇÃO

O estudo das deformações crustais recentes, objeto pertinente ao campo das Geociências designado “Neotectônica”, tem ganhado notável impulso nas últimas décadas, com expressivo refinamento da Teoria da Tectônica de Placas. Contudo, os processos deformacionais do domínio intraplaca, incluindo aqueles de natureza assísmica, ainda carecem de melhor compreensão e análise, especialmente em termos de território brasileiro, cujo conhecimento neotectônico pode ser classificado como incipiente. Acredita-se que estudos nessa linha de trabalho possam contribuir para o entendimento da morfogênese e da sedimentação modernas, como também para melhor conhecimento sobre a estabilidade geológica de tais terrenos e suas decorrentes implicações para a ocupação e aproveitamento racional do meio físico.

Os cursos d’água têm sido considerados como elementos bastante sensíveis às deformações crustais, respondendo rapidamente a esses processos, com adaptação de suas calhas e mudanças no estilo do talvegue (e.g., Volkov *et al.* 1967; Ouchi, 1985; Phillips & Schumm, 1987; Mayer, 1992; Wescott, 1993). Essa característica favorece o estudo das deformações neotectônicas. Assim, análises de parâmetros morfométricos da rede de drenagem passaram a ser ferramentas amplamente utilizadas por geomorfólogos e tectonistas, representando uma abordagem bem sucedida em diversos contextos geológicos graças à eficácia e rapidez de aplicação (e.g., Björnberg, 1969 a, b; Hack, 1973; Merritts & Vincent, 1989; Marple & Talwani, 1993; Merritts & Hesterberg, 1994; Boyd & Schumm, 1995; Keller & Pinter, 1996; Schumm & Spitz, 1996; Spitz & Schumm, 1997; Etchebehere & Saad, 1999; Etchebehere, 2000).

Dentre as diversas técnicas morfométricas disponibilizadas na literatura geológica, pode ser destacada a análise dos perfis longitudinais de drenagens. Além de ser esta uma das representações mais frequentes dos cursos d’água, tais perfis revelam, de modo simples e conciso, os trechos que se encontram em equilíbrio - não há agradação nem entalhe do talvegue, somente fluxo da carga sedimentar (bypassing process) - e aqueles que eventualmente se revelem anômalos e que podem estar associados a algum tipo de deformação neotectônica. Análises desse gênero foram conduzidas, por exemplo, nos trabalhos de Volkov *et al.* (*op.cit.*); Leopold & Bull (1979); Seeber & Gornitz (1983); McKeown *et al.* (1988); Björnberg (1992); Boyd & Schumm (1995) e Etchebehere (*op.cit.*). Essa mesma abordagem é o objeto do presente trabalho, o qual mostra a aplicação da análise dos perfis longitudinais das principais drenagens na área do Município de Guarulhos, SP e as decorrentes implicações de cunho neotectônico.

A ÁREA DE ESTUDO

A área estudada compreende os 341 km² do Município de Guarulhos, localizado na porção nordeste da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP (Figura 1). Trata-se de um território municipal peculiar, no qual a malha urbana ocupa cerca

de 58% da superfície do terreno (Mesquita, 1998, p. 6).

Em termos fisiográficos, a área de estudo está inserida no domínio do Planalto Atlântico, ocupando a vertente sudeste do maciço da Cantareira. O limite setentrional do município está estabelecido no interflúvio formado pelas serras da Pirucaia e do Itaberaba, onde, não-raro as altitudes ultrapassam 1.200 m, e a porção meridional, de relevo mais suave, com cotas em torno de 720-730 m, confrontando-se com a várzea do rio Tietê. Os principais cursos d’água fluem no rumo sul, desaguardo ou no Córrego Baquirivu-Guaçu, drenagem coletora de direção este-oeste, ou diretamente no rio Tietê, como pode ser observado na Figura 2. No extremo nordeste, contudo, as drenagens fluem para a bacia do rio Jaguarí; que tem ali, inclusive, sua nascente; descendo para cotas inferiores a 650 m e correndo para leste.

Os trechos mais escarpados do relevo, que correspondem à cerca de 40% de todo o território do Município de Guarulhos, situados na porção setentrional, foram esculpidos em terrenos pré-cambrianos diversificados, com reflexos nítidos na morfologia das serras e morros, com raros depósitos aluvionares embutidos em trechos do sistema de drenagem. Já na porção meridional, predominam os sedimentos terciários e quaternários, em parte atribuíveis à Bacia Sedimentar de São Paulo, que influenciam na conformação geomórfica de planícies aluviais e colinas intensamente urbanizadas. O limite entre ambos os domínios é demarcado pela Zona de Cisalhamento do Rio Jaguarí. A disposição estrutural das zonas de cisalhamento e dos traços de foliação nas rochas metamórficas é subparalela, em torno da direção NEE. Na porção nordeste da área, surgem algumas inflexões nesse padrão, condicionadas pela presença de batólitos granitóides e zonas de cisalhamento de atitude NNW. O substrato geológico, elemento fundamental para a análise aqui pretendida, é mostrado na Figura 3, simplificada em termos líticos. Para maiores informações concernentes à geologia do Município de Guarulhos, podem ser examinadas as contribuições de EMPLASA (1979); IPT (1981); EMPLASA (1984); Juliani (1993) e Mesquita (1998).

Como resultado de uma ocupação antrópica acelerada e desordenada, ocorreu grande devastação da biota no Município de Guarulhos. A cobertura vegetal nativa era representada pelos elementos da Mata Atlântica, também denominada Floresta Cantareira, hoje restrita a alguns trechos do município, especialmente nos terrenos mais acidentados. A fauna também se ressentiu dessa forma de ocupação, observando-se, na atualidade, um reduzido número de espécies, em parte adaptado às circunstâncias urbanas (Mesquita, *op.cit.*).

PRINCÍPIOS BÁSICOS E MÉTODO DE TRABALHO

O método de análise aqui adotado refere-se à elaboração e à interpretação dos perfis longitudinais dos cursos d’água, escolhidos entre as drenagens mais significativas no âmbito do Município de Guarulhos, que abrangem aquelas com extensão superior a 4 km (Figura 2). Nesse tipo de representação, pode-se utilizar gráficos de coordenadas cartesianas, onde a variável dependente abrange a altitude dos diversos pontos da drenagem

e, no eixo das abscissas, lança-se o comprimento do curso d'água, medido a partir da cabeceira ou da foz. Pode-se adotar a escala horizontal aritmética e/ou logarítmica, sendo que esta segunda opção possibilita uma análise mais precisa do alto curso.

Regra geral, as drenagens mostram curvas de conformação logarítmica, concavidade para cima e assíntotas longas. Quanto mais equilibrado estiver o curso d'água, mais ajustado à equação logarítmica ficará, propiciando os processos de fluxo de carga sedimentar, sem erosão do talvegue nem agradiação da planície aluvionar. Qualquer desajuste da curva, tanto para cima quanto para baixo, pode configurar uma anomalia morfométrica. Geralmente, tais desequilíbrios estão associados ou à confluência de tributários de caudal expressivo, à alterações de nível de base (eustasia, por exemplo) ou a heterogeneidades no substrato rochoso, ou ainda, a processos deformacionais neotectônicos, incluindo falhas, soerguimentos ou subsidências localizadas.

Adotando-se uma escala logarítmica no eixo das abscissas (gráfico semilog), o perfil longitudinal aproxima-se de uma reta. Eventuais "rugosidades" nessa reta indicam setores anômalos, configurados por afastamentos, positivos ou negativos, da reta, os quais podem estar sendo condicionados por algum dos desequilíbrios acima mencionados.

Tanto para os gráficos em escala aritmética quanto naqueles de escala semilog, foram também plotadas as curvas de melhor ajuste (*best fit line*), que servem como indicadores dos setores anômalos, possibilitando estimar o grau relativo de afastamento do perfil longitudinal da drenagem. As equações de melhor ajuste são especificadas nas legendas de cada figura; letras minúsculas auxiliares foram ocasionalmente plotadas em partes do perfil para facilitar a referência na descrição e/ou interpretação ao longo do texto. As anomalias positivas são indicativas de movimentos ascensionais, já aquelas negativas estariam a indicar subsidências; mudanças acentuadas no perfil, marcadas por alta declividade, podem indicar zonas de falha com rejeitos verticais significativos. Essa chave de interpretação está baseada em modelos propostos por Volkov *et al.* (1967), Björnberg (1969 a,b; 1992), Burnett & Schumm (1983), McKeown *et al.* (1988), Boyd & Schumm (1995) e Etchebehere (1999). Há registro na literatura de que os reflexos de deformações neotectônicas podem ser detectados tanto em escalas regionais quanto de detalhe, incluindo deformações detectáveis em canais artificiais de drenagem, como pode ser constatado na contribuição de Boyd & Schumm (*op.cit.*), na área do Soerguimento Lake County, no vale do rio Mississippi, Estados de Missouri, Kentucky, Tennessee e Arkansas, nos Estados Unidos.

Uma cautela adicional foi tomada em relação às cabeceiras de drenagem, áreas onde os perfis podem se apresentar em desequilíbrio, mas não por razões cinéticas (cf. Hack 1973 e McKeown *et al.*, *op.cit.*). Conquanto os limites não sejam claros, optou-se por desprezar os valores referentes ao primeiro quilômetro de cada drenagem.

A premissa do método de análise aqui empregado está baseada no fato de os cursos d'água buscarem continuamente o ponto de equilíbrio. Qualquer alteração no talvegue leva a

drenagem a se ajustar na busca de um novo ponto de equilíbrio, seja erodindo seu próprio leito, no caso de movimentos ascensionais, seja propiciando agradiação, como nos trechos subsidentes. O tempo para esse ajuste não pode ser precisado, mas diversos autores (e.g., Hack, *op.cit.*, Leopold & Langbein, 1962) admitiram-no como pequeno em termos geológicos. Esse rápido ajuste reforça o caráter dinâmico da rede de drenagem e tornam os cursos d'água elementos-chave em termos de análises neotectônicas.

No caso específico do Município de Guarulhos, a base cartográfica escolhida foi a das cartas topográficas em escala 1:50.000, editadas pelo Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo - IGGSP, folhas Guarulhos e Itaquaquecetuba (IGGSP, 1972), nas quais os cursos d'água são traçados como linhas azuis e a equidistância adotada para as curvas de nível é de 20 m. Com o emprego de um curvímeter digital (Modelo MR300 da Oregon Scientific), foram medidos todos os segmentos de drenagem compreendidos entre cada curva de nível, com estimativa de cotas nos extremos montante e jusante, desprezando-se os meandros de menor porte. As medidas foram lançadas em planilhas eletrônicas e em aplicativos que possibilitaram a confecção dos perfis longitudinais, instrumento fundamental para a análise aqui pretendida.

Os perfis longitudinais e, em especial, os trechos considerados anômalos, descartados os fatores de ordem hidrológica, como a confluência com tributários de maior porte, foram cotejados com o substrato geológico, de modo a se buscar uma explicação geológica para a anomalia, seja pela própria constituição lítica do talvegue, seja pela possibilidade de incidência de alguma deformação neotectônica. Setores anômalos em cursos d'água vizinhos receberam especial atenção, de maneira a salientar vínculos de natureza neotectônica com elementos estruturais mapeados.

Para a interpretação do significado geológico dos setores anômalos, foi feito o cotejamento com o substrato lítico (cf. Figura 3) e observadas as eventuais desembocaduras de afluentes de maior porte, que poderiam influenciar o perfil longitudinal da drenagem sob análise.

RESULTADOS ALCANÇADOS

Conforme já anunciado, foram medidos todos os cursos d'água como comprimento superior a 4 km no âmbito do Município de Guarulhos (cf. Figura 2). Os gráficos obtidos são mostrados nas Figuras 4- a 14, nos quais os eixos das abscissas dos perfis longitudinais foram apresentados em duas escalas, a aritmética e a logarítmica (gráficos semilog), sendo que esta, como já mencionado, possibilita melhor análise da região das cabeceiras da drenagem. Conquanto seja uma drenagem-tronco significativa no âmbito do território guarulhense, tendo como tributários as drenagens Ribeirão dos Cabos, Córrego Cocaia, Córrego Invernada, Córrego Capão, Córrego Tanquinho, Ribeirão das Lavras, Ribeirão do Tomé Gonçalves e o Córrego do Aterrado, este último o único da margem esquerda, e o Ribeirão Jaguarí; o rio Baquirivu-Guaçu não pôde ser analisado devido ao fato de não mostrar declividade significativa, nas

bases topográficas utilizadas, com equidistância de 20 m. A análise morfométrica do Baquirivu-Guaçu demanda a utilização de escalas maiores, com detalhamento das curvas de nível, que, por ora, não se enquadra nos propósitos da presente contribuição.

A ordem de apresentação dos perfis obedece a um sentido oeste-leste e, secundariamente, norte-sul, qual seja:

Rio Cabuçu - O rio Cabuçu exibe um perfil côncavo com assíntota um pouco mais curta do que o modelo clássico de um curso d'água equilibrado (Figura 4). No gráfico semilog pode-se inferir um setor ligeiramente alçado entre os quilômetros 1 e 5. Nesse setor, predominam micaxistos, o que, somado ao fato de não existirem tributários de porte, reforça a possibilidade de se tratar de uma área em processo de soerguimento.

Ribeirão dos Cabos - O perfil longitudinal do Ribeirão dos Cabos mostra-se praticamente equilibrado, sem qualquer tipo de anomalia discernível; no gráfico semilog, inclusive, o perfil aproxima-se notavelmente da reta de melhor ajuste (Figura 5). Deve ser destacado, também, que cerca de 90% desse curso d'água encontram-se em sedimentos aluvionares e que o percentual restante corresponde ao alto curso, não se observando qualquer anomalia no contato entre as duas unidades, o que reforça a eficácia do método em discernir anomalias morfométricas desvinculadas do tipo de substrato lítico sulcado pela drenagem.

Córrego Cocaia - Este curso d'água também apresenta um perfil longitudinal equilibrado (Figura 6). Trata-se de uma drenagem paralela e vizinha ao Ribeirão dos Cabos, embora, o trecho aluvionar, diferente deste, fique limitado ao baixo curso (~30% finais). As demais porções cortam sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo e terrenos cristalinos variegados, que incluem migmatitos, micaxistos e metassedimentos, cruzados perpendicularmente aos traços de foliação e contatos geológicos, sem que haja reflexo em termos de perfil longitudinal. Este argumento reforça a crença na validade da análise morfométrica do perfil longitudinal para a detecção de deformações de cunho neotectônico.

Córrego Invernada - Trata-se de outra drenagem com perfil equilibrado e que cruza diferentes tipos de substrato rochoso. A metade superior do Córrego Invernada drena terrenos pré-cambrianos variegados, abrangendo metassedimentos, anfíbolitos, micaxistos e migmatitos; a metade inferior está assentada em sedimentos aluvionares recentes. Observa-se nos gráficos do perfil longitudinal (Figura 7) uma tênue subsidência no trecho final desse curso d'água (últimos dois quilômetros), cujo limite montante coincide com a projeção da Zona de Cisalhamento do Rio Jaguarí e que poderia indicar movimentação recente dessa estrutura neste ponto.

Córrego Capão - Conforme pode ser observado nos gráficos da Figura 8, o perfil longitudinal do Córrego Capão exibe uma notável anomalia a aproximadamente 2,5 km de distância da cabeceira, indicativa de falha, onde o bloco baixo refere-se ao

trecho jusante (Anomalia "A"). A partir desse ponto, a drenagem flui apenas sobre sedimentos aluvionares quaternários; no trecho montante, observam-se diversos tipos de substrato rochoso, incluindo metassedimentos, micaxistos, anfíbolitos e migmatitos, com disposições estruturais NEE, que não afetam o perfil longitudinal. A possível falha está relacionada ao contato entre metassedimentos e migmatitos, formando uma das diversas zonas de cisalhamento paralelas à do Rio Jaguarí, considerada a mais importante em termos estruturais nesta região.

Córrego Tanquinho - Da mesma forma que a drenagem anterior, o Córrego Tanquinho exibe uma notável anomalia (Anomalia "B") em seu perfil longitudinal, situada a cerca de 4,7 km da cabeceira (Figura 9). Esta anomalia pode ser interpretada também como fruto de falha, com bloco baixo à jusante. Observa-se, também, um certo paralelismo, no trecho anômalo, com o Córrego Capão, bem como similaridade no tipo de terreno cortado pela drenagem, com rochas pré-cambrianas variegadas a montante do trecho anômalo e sedimentos aluvionares a jusante deste. Dessa forma, tanto o trecho anômalo aqui relatado como aquele do Córrego Capão poderiam fazer parte de uma mesma zona de cisalhamento, que guardaria paralelismo com as principais direções estruturais da área, de direção NEE (traços de foliação, contatos rochosos e zonas de cisalhamento).

Ribeirão das Lavras - O perfil longitudinal desta drenagem exibe uma notável anomalia a cerca de 4 km de sua cabeceira (Figura 10). Nesse ponto, há um acentuado declive da ordem de 100 m, que pode configurar uma zona de falha (Anomalia "C"), também com o bloco meridional sendo o rebaixado e abrigando sedimentos aluvionares quaternários, em contrapartida aos terrenos pré-cambrianos que caracterizam o talvegue do bloco alçado, sendo que o Ribeirão das Lavras corta quase que exclusivamente granitos. Outro ponto a ser destacado é que esta área do Município de Guarulhos encontra-se marcada por notável inflexão dos contatos e planos de foliação, que infletem bruscamente da direção regional NEE para a NNW, configurando um notável cotovelo nessas estruturas planares. Uma possibilidade concreta refere-se à correlação dessa anomalia morfométrica com aquelas observadas nos córregos Tanquinho e Capão, que poderiam estar vinculadas a uma mesma zona de cisalhamento, ativa, paralela à estrutura do Rio Jaguarí.

Ribeirão Guaracaú - Este curso d'água apresenta talvegue instalado praticamente todo em sedimentos aluvionares quaternários. O perfil longitudinal (Figura 11) mostra um certo desequilíbrio, com setor alçado entre 1 e 5,5 km a partir da cabeceira e trecho rebaixado nos últimos 4 quilômetros (Anomalia "D"). Observa-se, grosso modo, um paralelismo no trecho anômalo, de disposição NEE, com a atitude da Zona de Cisalhamento do Rio Jaguarí, situada a cerca de 2 km a montante, a qual não apresenta qualquer reflexo caracterizável nos gráficos do perfil longitudinal do Ribeirão Guaracaú.

Ribeirão do Tomé Gonçalves - Esta drenagem mostra-se com perfil longitudinal equilibrado em praticamente toda a sua

extensão, excetuando-se uma pronunciada anomalia (Anomalia “E”) a cerca de 2 km de sua foz no rio Jaguarí (Figura 12). Esta anomalia pode ser interpretada como uma zona de falha, demarcando o contato entre metassedimentos pré-cambrianos a jusante e aluviões quaternários recobrimdo sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo. Esta anomalia coincide, também, com o traço da Zona de Cisalhamento do Rio Jaguarí, indicando, assim, a possibilidade de movimentação neotectônica nesta que é a principal estrutura da região. É interessante destacar que no trecho em que o Ribeirão Guaracaú, curso d’água vizinho, cruza a referida zona de cisalhamento, o substrato rochoso é semelhante (inclui apenas uma delgada unidade migmatítica interposta entre os metassedimentos e a Bacia Sedimentar de São Paulo), mas não há alteração no perfil longitudinal neste setor, o que reforça a possibilidade de as deformações neotectônicas incidirem apenas em determinados trechos das zonas de cisalhamento, tal qual constatado em falhas recentes melhor estudadas como San Andreas, nos Estados Unidos, e Norte Anatólia, na Turquia.

Ribeirão Jaguarí - Apresenta um perfil equilibrado, excetuando-se a anomalia existente a cerca de 8 km da cabeceira (Anomalia “F”), que evidencia uma possível falha (Figura 13). Cotejando-se esta situação morfométrica com o mapa geológico da Figura 3, observa-se que esta anomalia demarca o limite meridional de uma pequena bacia aluvionar, embutida em terrenos metassedimentares pré-cambrianos. Conquanto grande parte do Ribeirão Jaguarí ocupe o traço de uma zona de cisalhamento de direção NNW, pode-se argumentar que, nesse ponto especificamente, poderia estar ocorrendo uma deformação neotectônica, controlando a formação de depósito aluvionar a montante.

Córrego do Aterrado - Trata-se do único curso d’água da margem esquerda do rio Baquirivu-Guaçu que se enquadrou nos critérios de uso na análise morfométrica aqui proposta. Apresenta curso no rumo NW e drena, com exceção de um pequeno trecho na cabeceira, quase sempre, aluviões quaternários embutidos em rochas da Bacia Sedimentar de São Paulo (cf. Figura 3). Os gráficos da figura 14 delineiam um perfil de drenagem em equilíbrio, sem qualquer alteração significativa.

INTERPRETAÇÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mudanças no gradiente dos talvegues podem ser resultado de quatro fatores, a saber: (1) intersecção com tributário de expressivo caudal; (2) variações na resistência à erosão do substrato rochoso; (3) mudanças de nível de base, tais como movimentos eustáticos, que provocam erosão remontante; e (4) deformações tectônicas coetâneas. O fator (1) é de fácil visualização e, no caso dos cursos d’água analisados no Município de Guarulhos, não responde pelas anomalias constatadas; mesmo tributários de maior porte ou confluências de mais destaque em diversos pontos do território analisado não apresentaram esse tipo de anomalia. O fator (2), por sua vez, é de mais difícil verificação. Nas escala de trabalho aqui adotada,

o cotejamento foi feito com informações obtidas em mapas geológicos de escalas pequenas, nos quais as unidades cartografadas referem-se a grupos litológicos mais genéricos. Todavia, considerando-se a grande variação de tipos líticos, especialmente no âmbito dos terrenos pré-cambrianos, que incluem rochas com diferenciados graus de tenacidade, intemperismo, coesão e resistência ao atrito (desde metassedimentos até migmatitos e granitos), e o fato de os cursos d’água cortarem transversalmente as principais estruturas planares (contatos geológicos, traços de foliação e empilhamento estrutural, etc.), seria de se esperar um maior número de anomalias. Uma rápida visualização do mapa geológico disposto na figura 3 permite verificar um grande número de contatos entre unidades rochosas extremamente diversificadas, incluindo mudanças bruscas entre rochas metamórficas e/ou ígneas de grande tenacidade e resistência à erosão, como os quartzitos, granitos e migmatitos, com sedimentos cenozóicos ou rochas metassedimentares ou sedimentares brandas, sem que tais contrastes implicassem em anomalias no gradiente hidráulico. O terceiro fator poderia estar ligado a mudanças no nível de base regional, que no caso refere-se ao rio Tietê, ou, no caso do rio Jaguarí, ao leito do rio Paraíba do Sul. Entende-se que um abaixamento nesses níveis de base regionais levaria os rios tributários a aprofundar os respectivos talvegues, com migração remontante dos trechos mais íngremes, até que fosse alcançado novamente um equilíbrio. Todavia, tanto o rio Tietê quanto o rio Jaguarí fluem em extensas planícies aluvionares atuais, sem que tenham sido constatados depósitos de terraço expressivos nas encostas dos vales, nem *knick points* (senso Björnberg, 1969 a, b; 1992), ambos eventuais testemunhos de mudanças significativas de nível de base. Embora não se possa descartar esse tipo de alteração de nível de base, pois as evidências negativas relatadas podem não necessariamente significar ausência desse tipo de fenômeno, fato que pode mudar com o avanço do conhecimento e o detalhamento dos estudos geomórficos e hidrológicos, não se dispõe de elementos que possibilitem aceitar cabalmente o fator (3), acima apontado, como a explicação mais viável e realista das anomalias constatadas. Dessa forma, o fator (4) passa a se afigurar como uma hipótese plausível para explicar as anomalias morfométricas.

Seis anomalias principais foram destacadas nas análises dos perfis longitudinais, conforme descrito no item progresso. Elas foram lançadas em uma base que delinea o relevo, realçado por um suave sombreamento (Figura 15), extraído de Miranda & Coutinho (2003). A Figura 15 inclui, também, o traçado dos principais lineamentos no âmbito do território de Guarulhos, destacando-se que estes traços representam feições lineares que podem ter significado estrutural (falhas, zonas de fratura, planos de foliação, etc.). Cinco dessas anomalias (designadas A, B, C, E e F) foram interpretadas como produto de movimentação em zona de falha, com expressiva componente vertical. Regra geral, no bloco baixo, predominam sedimentos aluvionares; a exceção notável fica por conta da anomalia D, onde se observa uma pequena calha aluvial embutida no bloco alto, logo a montante do traço da falha. A sexta-anomalia, designada F, foi interpretada como representando um possível

soerguimento afetando a planície aluvial em uma extensão da ordem de 3 ou 4 km ao longo do vale. Com a base geológica ora utilizada, não é possível obter elementos adicionais que corroborem esta deformação.

Dessa forma, as anomalias envolveriam dois tipos de deformação, o primeiro, de natureza rúptil e destacado rejeito vertical, gerando um gradiente mais íngreme na zona de falha e depósitos aluvionares a jusante, e o segundo, caracterizado por um alçamento flexural, condicionando, também, uma pendente mais expressiva, que se sobressai dos baixos gradientes das planícies aluviais da região.

As anomalias morfométricas aqui identificadas foram interpretadas como reflexos, na rede de drenagem, de deformações neotectônicas, uma vez síncronas com as alterações do gradiente hidráulico. Levando-se em consideração a importância de se conhecer com maior detalhe tais deformações - inclusive para análise dos possíveis riscos geológicos e para o conseqüente planejamento da ocupação do solo nessas áreas - recomendam-se estudos adicionais de maior detalhe, com duas linhas de abordagem, quais sejam: (1) utilização de métodos analíticos baseados em parâmetros morfométricos da rede de drenagem (e.g., índices Relação Declividade-Extensão - RDE, perfis detalhados do talvegue) obtidos em base cartográfica de maior detalhe, como a cobertura plani-altimétrica em escala 1:10.000, disponível para o Município de Guarulhos, associados a observações em fotografias aéreas de detalhe, na busca de feições superficiais de liquefação, indicativas de atividade sísmica relativamente recente; (2) trabalhos de campo nas áreas anômalas buscando comprovar as deformações tectônicas *in loco*, com esforço dirigido de observação nos leitos e barrancos das drenagens, bem como em afloramentos próximos, com acurado inventário estrutural, mapeamento de unidades sedimentares jovens e certificação de eventuais estruturas de liquefação.

Acredita-se que a técnica de análise morfométrica baseada em perfis longitudinais seja uma abordagem interessante para a definição de anomalias com razoáveis probabilidades de se constituírem reflexos de estruturas neotectônicas, possibilitando um critério rápido, simples e eficaz para a seleção de alvos para trabalhos de campo, que podem, assim, ser dirigidos para pontos específicos, poupando tempo e recursos em projetos geológicos de avaliação de riscos e de planejamento do uso do solo. Outro aspecto que favorece o emprego dessa abordagem está no fato de ela poder ser utilizada em diversas escalas, tanto regionais quanto intermediárias e de detalhe, demandando tão somente uma base plani-altimétrica de qualidade.

Ainda que a área do Município de Guarulhos seja das mais antigas em termos de ocupação colonial do território brasileiro, que retrocede ao século XVI, deve-se concentrar esforços, nos registros geológicos quaternários, na busca de elementos que demonstrem atividade deformacional recente, ainda que anterior ao período histórico, mas que permitam entender a tipologia e as taxas de deformação e as decorrentes implicações em termos de risco geológico, planejamento territorial e aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, via aquíferos fraturados, numa região tão carente de água para abastecimento público municipal.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de projeto de pesquisa de iniciação científica do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Guarulhos - PIBIC-UnG, desenvolvido pelo acadêmico Ricardo Acklas Jr., sob a orientação de Mario Lincoln De Carlos Etchebehere e de Fabio da Costa Casado, autores estes que consignam, neste espaço, os devidos agradecimentos à UnG, pela oportunidade concedida, a Antonio Roberto Saad, pela leitura crítica do manuscrito, e à equipe do "Projeto Cabuçu", pela cessão da base digital da figura 3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BJÖRNBERG, A.J.S. 1969a. *Contribuição ao estudo do Cenozóico paulista: tectônica e sedimentologia*. São Carlos. 128 p. (Tese para provimento do cargo de Professor, Universidade de São Paulo - USP - câmpus São Carlos).
- BJÖRNBERG, A.J.S. 1969b. Critério geomorfológico para determinação de áreas falhadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, Salvador, 1969. *Resumo das conferências e das comunicações...*, Salvador, SBG, p: 65-66.
- BJÖRNBERG, A.J.S. 1992. Microestrutura dos solos. In: NEGRO Jr., A.; FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R.; LUZ, P.A. (eds.). *Solos da cidade de São Paulo*. São Paulo, ABMS/ABEF, p: 98-109.
- BOYD, K.F.; SCHUMM, S.A. 1995. 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.
- BURNETT, A.W.; SCHUMM, S.A. 1983. Alluvial river response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. *Science*, v. 222, p: 49-50.
- EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. 1979. *Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo (escala 1:100.000)*, SP. 2 folhas. São Paulo.
- EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. 1984. *Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo (escala 1:50.000)*, SP. Folhas 34 (*Guarulhos - SF.23-Y-C-III-4*) e 44 (*Itaquaquecetuba - SF.23-Y-D-I-3*). São Paulo.
- ETCHEBEHERE, M.L.C. 1999. *Utilização de parâmetros morfométricos de drenagem para delinear deformações crustais - Aplicação no vale do Rio do Peixe, SP*. Rio Claro. F. 44-111 (Exame de Qualificação [doutoramento], Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - IGCE-UNESP).
- ETCHEBEHERE, M.L.C. 2000. *Terraços neokuaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas*. Rio Claro. 2 v. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - UNESP).
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R. 1999. 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,

1999. *Boletim de Resumos...* Rio Claro, SBG-SP/RJ-ES/UNESP, p. 93.
- HACK, J.T. 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journ. Research of the U.S. Geol. Survey*, v. 1, n. 4, p: 421-429.
- IGGSP - INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1972. *Folha topográfica em escala 1:50.000. Itaquaquecetuba e Guarulhos*. São Paulo.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, DMGA, 2 v. (IPT, Monografia 6).
- JULIANI, C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da Cidade de São Paulo, SP*. São Paulo. 2 v. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - IGUSP).
- KELLER, E.A.; PINTER, N. 1996. *Active tectonics - Earthquakes, uplift, and landscape*. New Jersey. Prentice Hall. 338 p.
- LEOPOLD, L.B.; BULL, W.B. 1979. Base level, aggradation and grade. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 123, p. 168-202.
- LEOPOLD, L.B.; LANGBEIN, W.B. 1962. *The concept of entropy in landscape evolution*. U. S. Geological Survey Professional Paper, n. 500-A, p. 1-20.
- MARPLE, R.T.; TALWANI, P. 1993. 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.
- MAYER, L. 1991. *Quantitative analysis of landforms: A way to delineate active tectonic structures*. Oxford: Geomorphology Laboratory - Department of Geology. 48 p. (Annual Technical Report).
- McKEOWN, F.A.; JONES-CECIL, M.; ASKEW, B.L.; McGRATH, M.B. 1988. Analysis of stream-profile data and inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountains region. Denver. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1807, 39 p.
- MERRITS, D.; VINCENT, K.R. 1989. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Mendocino triple junction region, northern California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 101, p: 1.373-1.388.
- MERRITS, D.; HESTERBERG, T. 1994. Stream networks and long-term surface uplift in the New Madrid seismic zone. *Science*, v. 265, p. 1.081-1.084.
- MESQUITA, M.V. 1998. *Caracterização do meio físico do bairro Água Azul, Guarulhos, SP, para fins de planejamento e ocupação urbana*. 131 p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Guarulhos - UnG).
- MIRANDA, E.E.; COUTINHO, A.C. (coords.) 2003. *O Brasil visto do espaço*. Campinas. Embrapa. Monitoramento por Satélite. Disponível em <http://www.cdbrasil.cnpem.br>.
- OUCHI, S. 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 96, p. 504-515.
- PHILLIPS, L.F.; SCHUMM, S.A. 1987. Effect of regional slope on drainage networks. *Geology*, v. 15, p: 813-816.
- SCHUMM, S.A.; SPITZ, W.J. 1996. Geological influences on the Lower Mississippi River and its alluvial valley. *Engineering Geology*, v. 45, p. 245-261.
- SEEBER, L.; GORNITZ, V. 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, v. 92, p. 335-367.
- SPITZ, W.J.; SCHUMM, S.A. 1997. Tectonic geomorphology of the Mississippi Valley between Osceola, Arkansas, and Friars Point, Mississippi. *Engineering Geology*, v. 46, p. 259-280.
- VOLKOV, N.G.; SOKOLOVSKY, I.L.; SUBBOTIN, A.I. 1967. Effect of recent crustal movements on the shape of longitudinal profiles and water levels in rivers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RIVER MECHANICS, Bern, Suisse, 1967. *Proceedings...* Bern, International Union of Geodesy and Geophysics, p: 105-116.
- WESCOTT, W.A. 1993. Geomorphic thresholds and complex response of fluvial systems - Some implications for sequence stratigraphy. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, v. 77, p: 1.208-1.218.

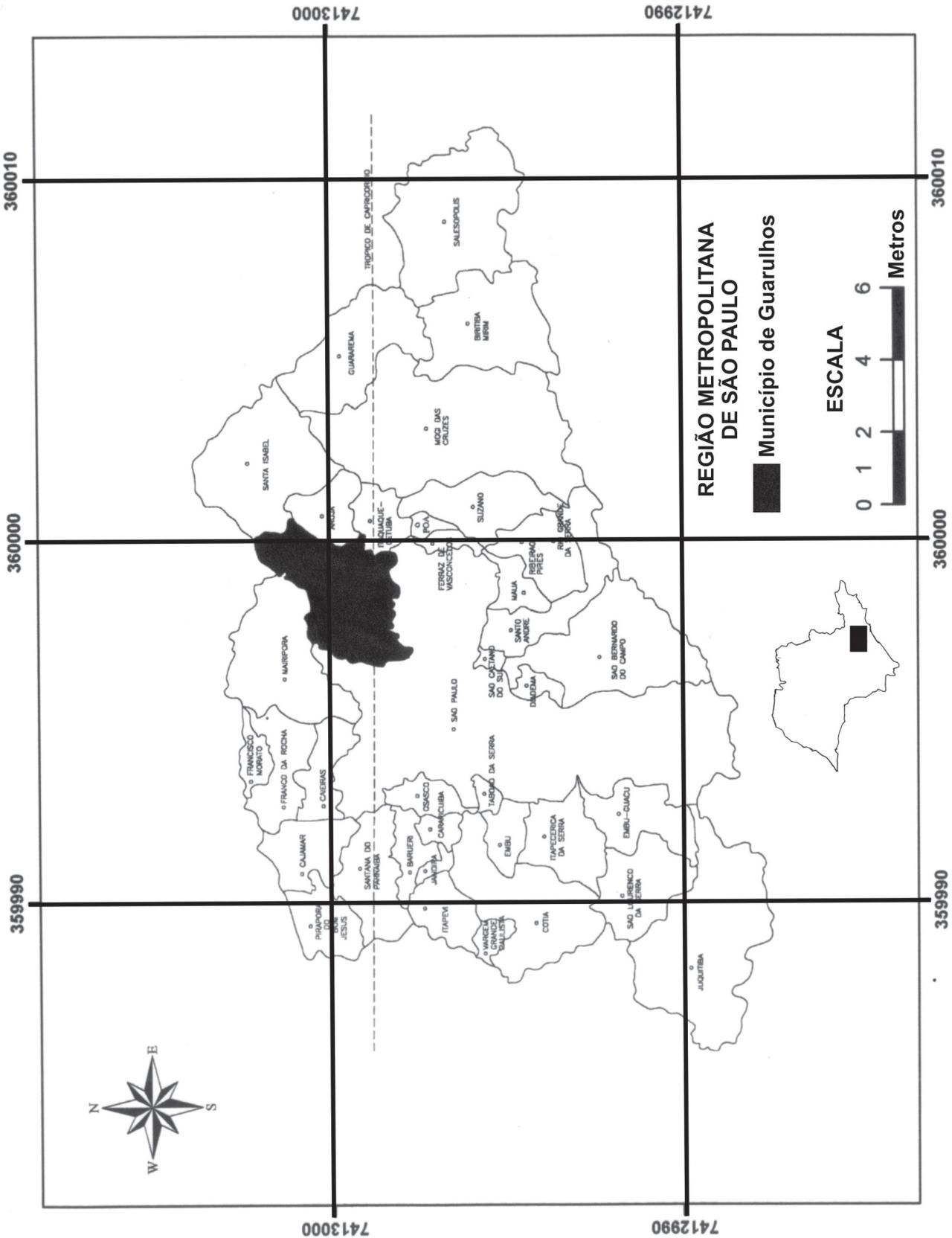
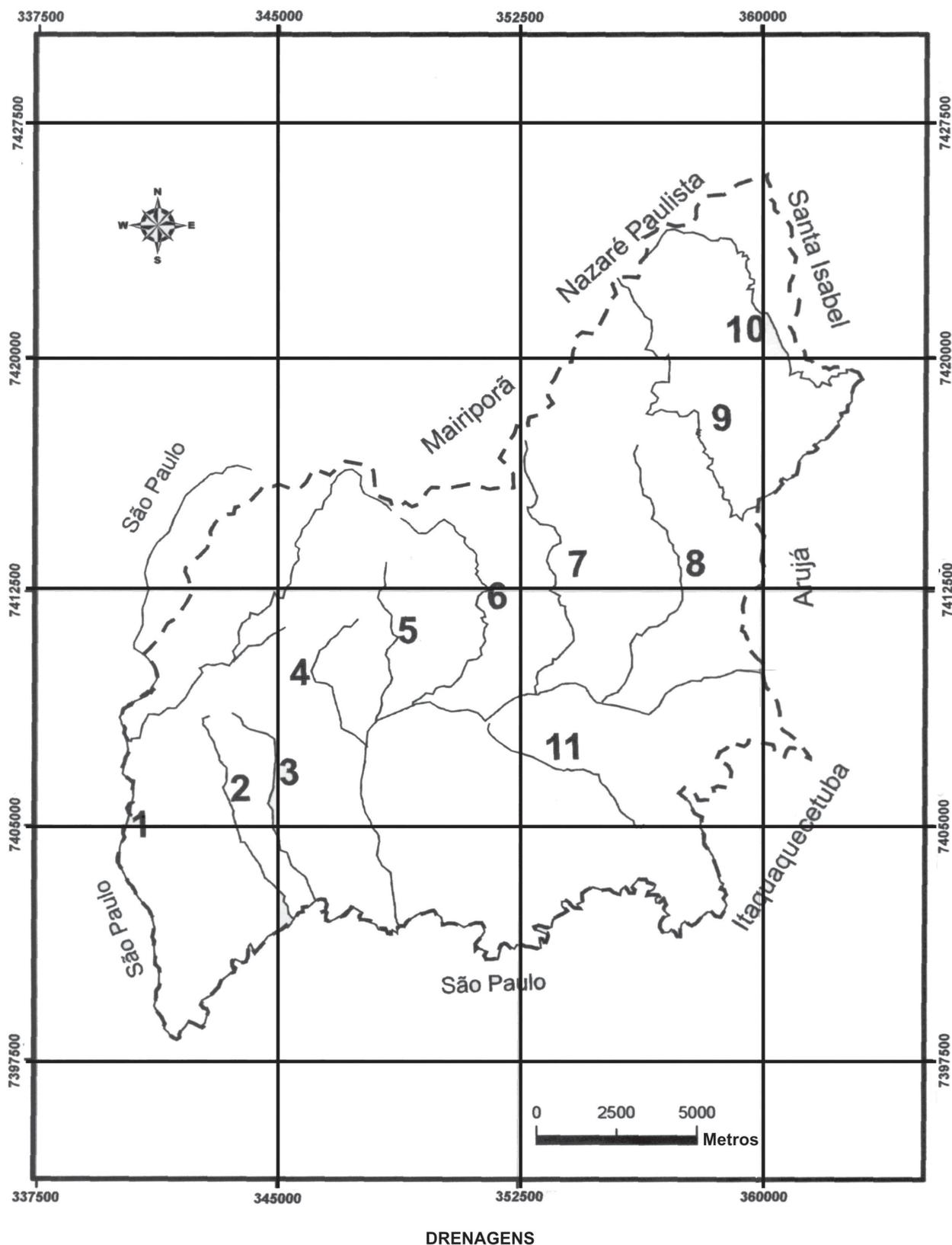


FIGURA 1: Localização da Área de Estudo.
 FIGURE 1: Location of the Study Area.



- 1 - Rio Cabuçu; 2 - Ribeirão dos Cabos; 3 - Córrego Cocaia; 4 - Córrego Invernada; 5 - Córrego Capão;
 6 - Córrego Tanquinho; 7 - Ribeirão das Lavras; 8 - Ribeirão Garacaú; 9 - Ribeirão do Tomé Gonçalves;
 10 - Ribeirão Jaguarí; 11 - Córrego do Aterrado.

FIGURA 2: Principais drenagens do Município de Guarulhos.
 FIGURE 2: Main drainages of the Guarulhos Municipality.

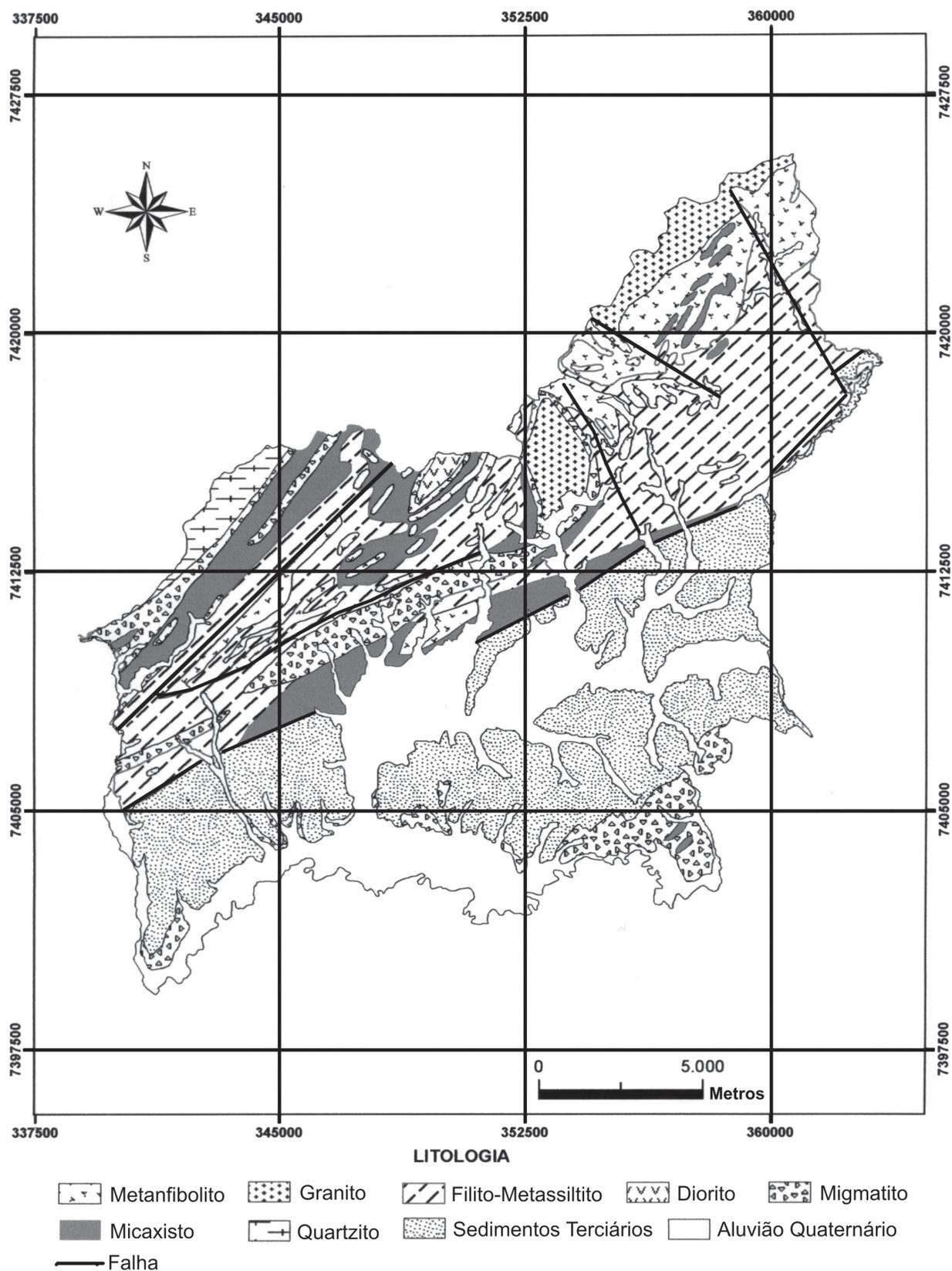


FIGURA 3: Arcabouço Geológico do Município de Guarulhos (segundo EMPLASA, 1984).
 FIGURE 3: Geologic Framework of the Guarulhos Municipality (after EMPLASA, 1984).

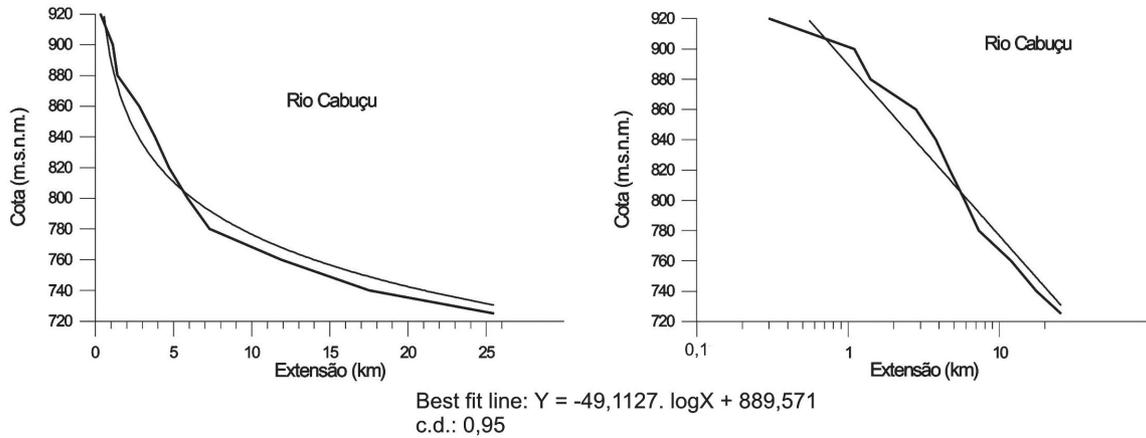


FIGURA 4: Perfil longitudinal do Rio Cabuçu com extensão em escalas aritmética (gráfico da esquerda) e logarítmica (gráfico da direita). Notar o padrão equilibrado da drenagem.

FIGURE 4: Longitudinal profile of the Cabuçu River, plotted in arithmetic (left figure) and logarithmic (right figure) horizontal scales. Note the graded profile.

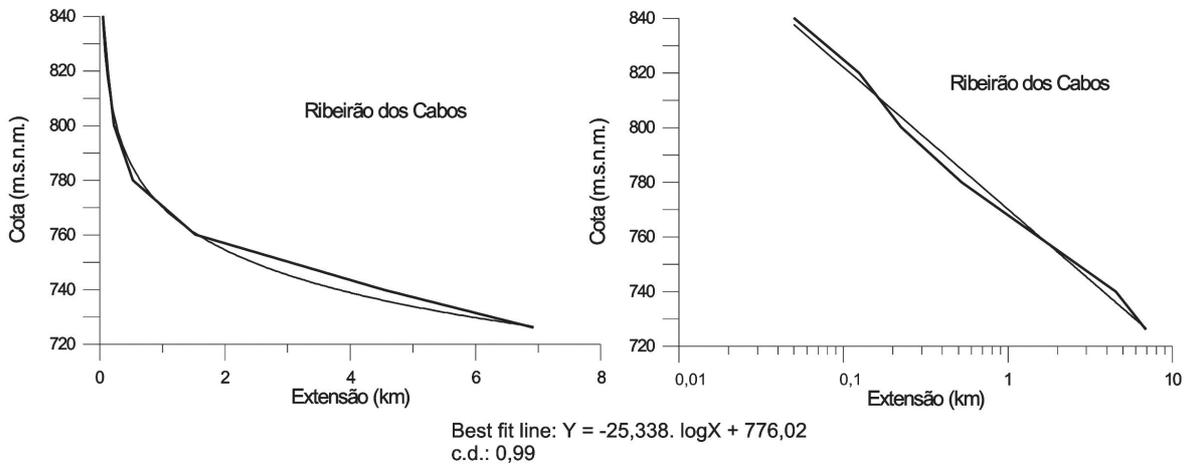


FIGURA 5: Perfil longitudinal do Ribeirão dos Cabos com extensão em escalas aritmética (gráfico da esquerda) e logarítmica (gráfico da direita). Este curso d'água exibe um perfil razoavelmente equilibrado.

FIGURE 5: Longitudinal profile of the Dos Cabos Stream, plotted in arithmetic (left figure) and logarithmic (right figure) horizontal scales and showing a characteristic graded course.

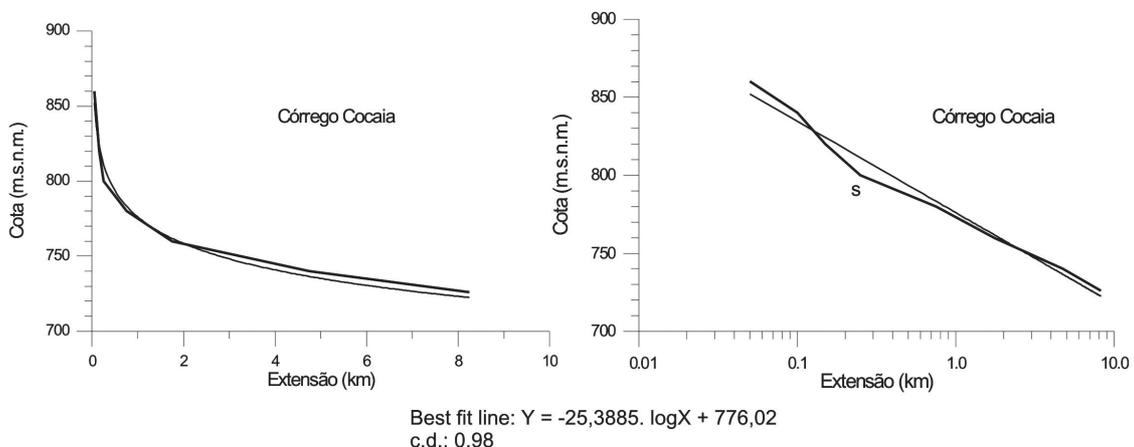


FIGURA 6: Perfil longitudinal do Córrego Cocaia, que exibe um típico padrão de drenagem equilibrada.

FIGURE 6: Longitudinal profile of the Cocaia Creek, showing a typical equilibrated stream pattern.

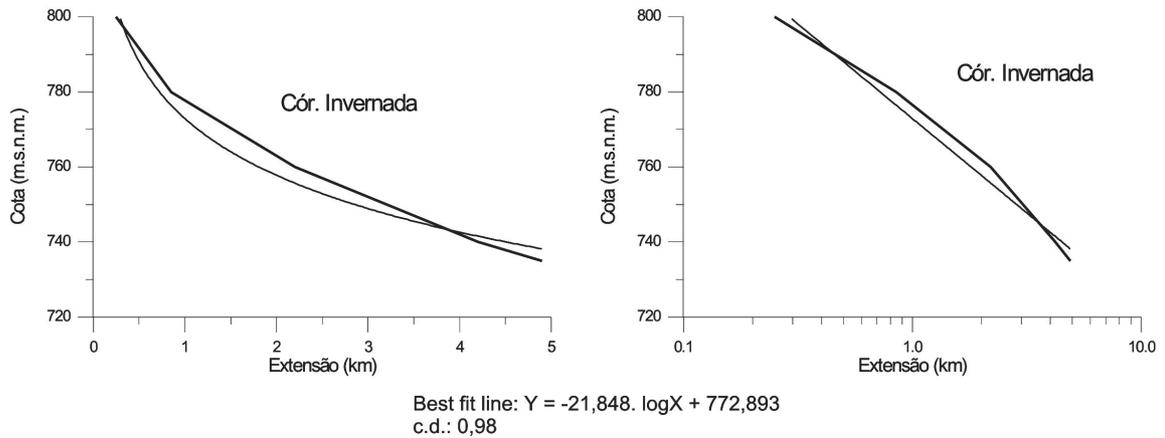


FIGURA 7: Perfil longitudinal do Córrego Invernada, denotando razoável equilíbrio.
FIGURE 7: Graded morphometric style of Invernada Creek.

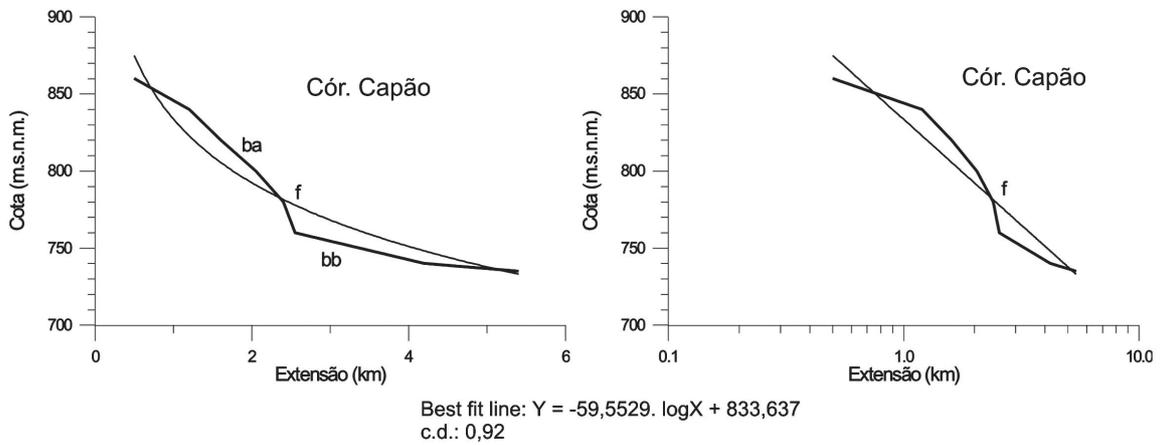


FIGURA 8: Perfil longitudinal do Córrego Capão mostrando a Anomalia "A". Notar a brusca alteração no perfil (f), interpretada como uma zona de falha, separando, no bloco alto (ba), rochas pré-cambrianas e, no bloco baixo (bb), sedimentos aluviais quaternários.
FIGURE 8: Longitudinal profile of the Capão Creek showing the "A" anomaly. Note the sharp change in the profile (f), that is interpreted as an active fault zone separating Precambrian rocks (ba) and Quaternary alluvial sediments (bb).

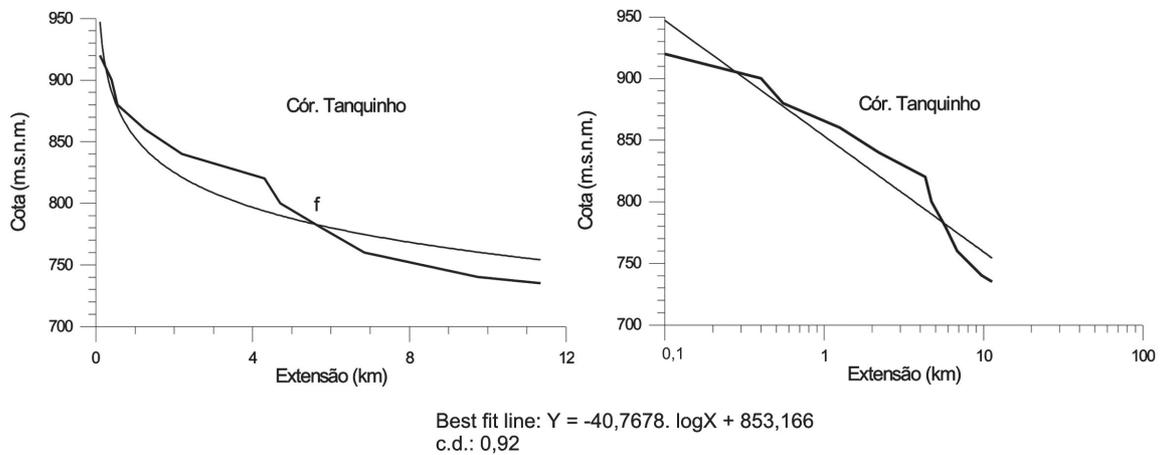


FIGURA 9: Perfil longitudinal do Córrego Tanquinho. Da mesma forma do que na Figura 8, pode-se notar a mudança no perfil da drenagem (Anomalia "B"), interpretada como uma zona de falha.
FIGURE 9: Longitudinal profile of the Tanquinho Creek. Similar to the Figure 8 picture, in this graphics one can note the morphometric anomaly, named "B" Anomaly and depicted in the profile as "f" and interpreted as an active fault zone.

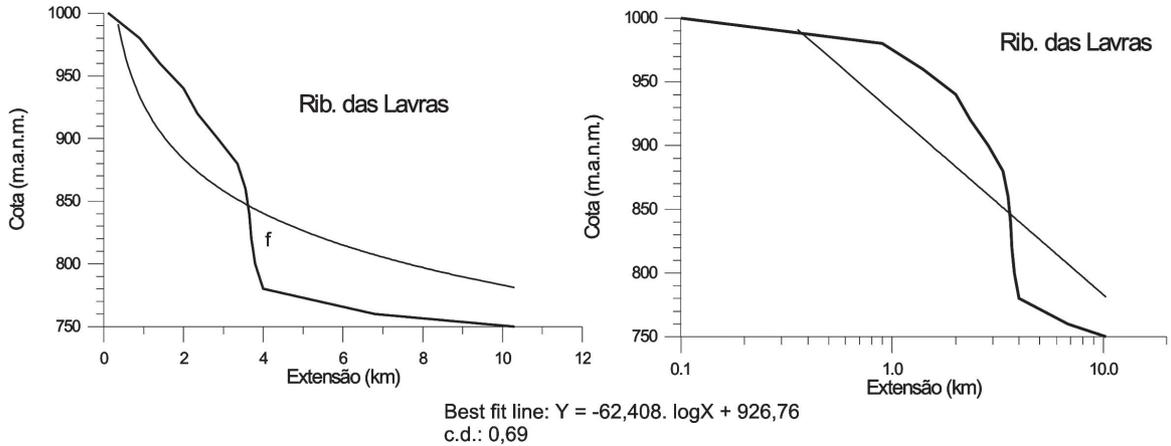


FIGURA 10: Perfil longitudinal do Ribeirão das Lavras. Observar, no ponto "f", a brusca mudança no perfil, caracterizando uma zona de falha (Anomalia "C"), correlacionável com as anomalias "A" e "B".

FIGURE 10: Longitudinal profile of the Lavras Stream. Note the sharp profile changing at the point "f" ("C" Anomaly), interpreted as an active fault zone which might be correlated with "A" and "B" anomalies.

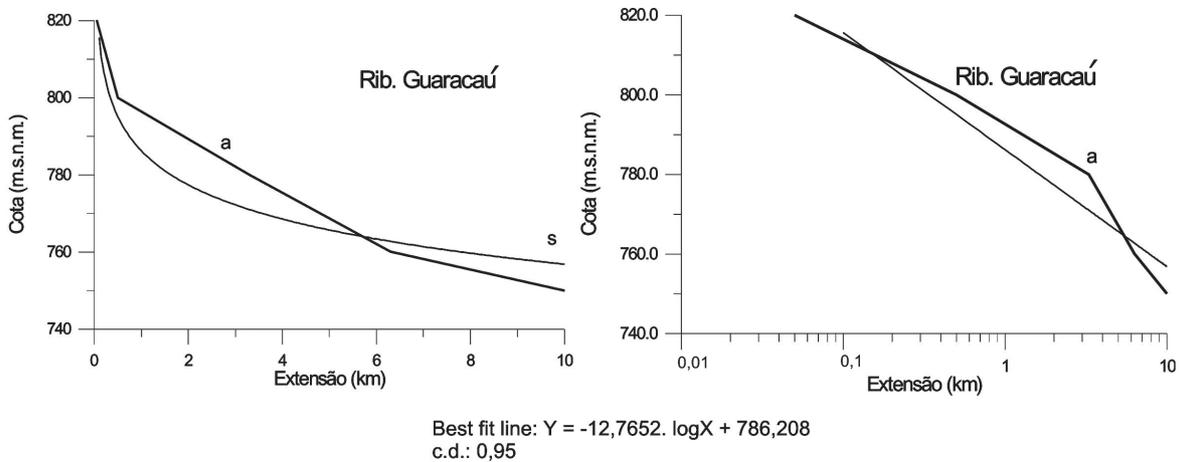


FIGURA 11: Perfil longitudinal do Ribeirão Guaracá. Notar, especialmente no gráfico semilog, uma área em processo de soerguimento entre os quilômetros 1 e 5,5 (Anomalia "D").

FIGURE 11: Longitudinal profile of the Guaracá Stream. Note an uplifted area between kilometers 1 and 5,5, measured from the headwaters ("D" Anomaly).

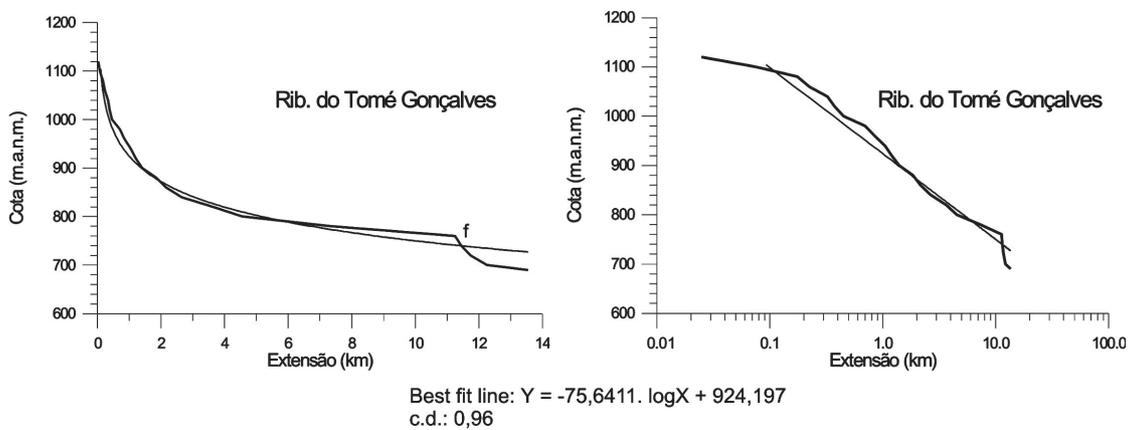


FIGURA 12: Perfil longitudinal do Ribeirão do Tomé Gonçalves, mostrando notável anomalia no trecho inferior, próximo à foz com o rio Jaguari (Anomalia "E"), interpretada como uma zona de falha.

FIGURE 12: Longitudinal profile of the Tomé Gonçalves Stream showing a sharp anomaly ("E" Anomaly) near its mouth, which was interpreted as a fault zone.

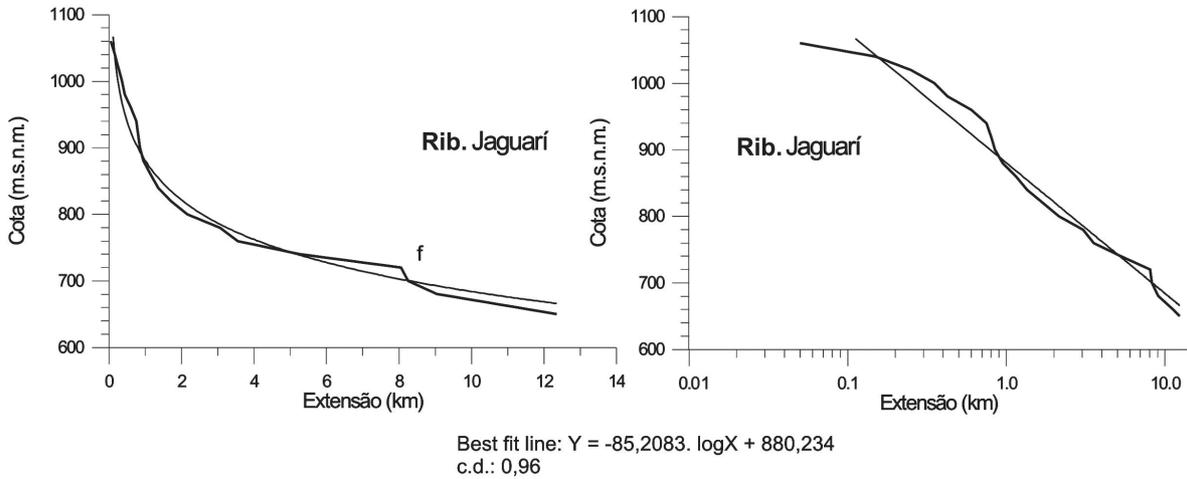


FIGURA 13: Perfil longitudinal do Ribeirão Jaguarí, mostrando anomalia morfológica (Anomalia "F") a aproximadamente 8 km da cabeceira, também interpretada como uma zona de falha.

FIGURE 13: Longitudinal profile of the Jaguarí Stream showing a morphometric anomaly ("F" Anomaly) depicted by letter "f".

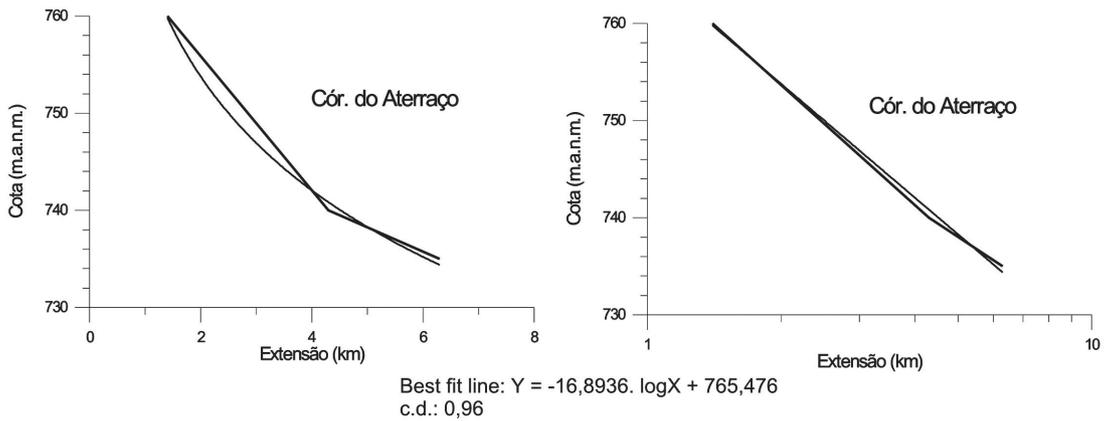


FIGURA 14: Perfil longitudinal do Córrego do Aterrado, o qual mostra um perfil equilibrado.

FIGURE 14: Longitudinal profile of the Aterrado Creek showing a typical graded curve.

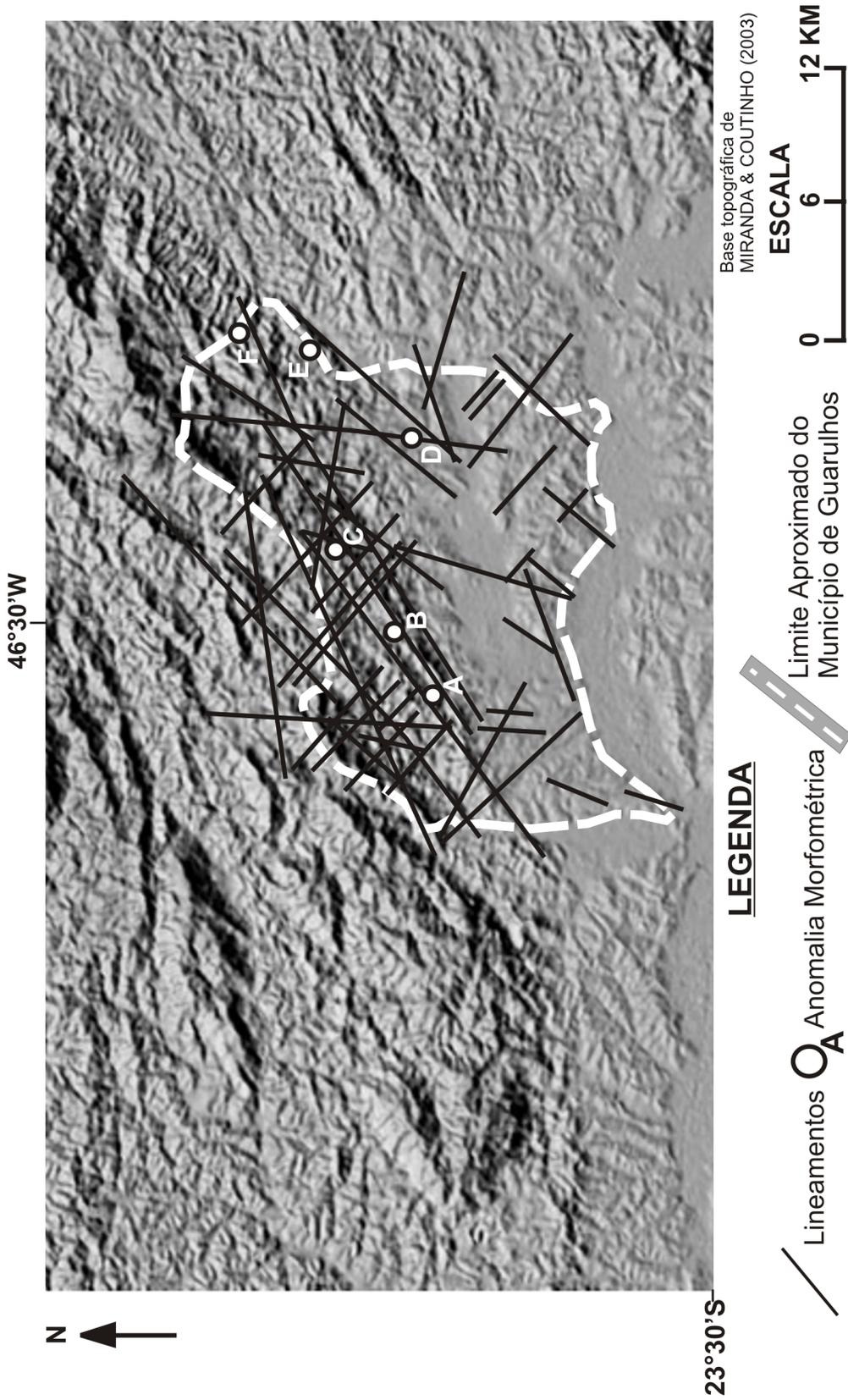


FIGURA 15: Localização das anomalias morfométricas e principais lineamentos no Município de Guarulhos.
FIGURE 15: Location of the morphometric anomalies and main lineaments in the Guarulhos Municipality territory.