

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS APLICADOS A ANÁLISE TECTONO-EROSIVA EM BACIAS DE DRENAGEM

MORPHOMETRIC PARAMETERS APPLIED TO TECTONIC-EROSIVE ANALYSIS IN WATERSHEDS

Telma Mendes Silva¹, Thainá Vasconcelos Paes¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Correspondência para: Telma Mendes Silva (telmendes@globo.com)

doi: 10.12957/geouerj.2018.37684

Recebido em: 3 out. 2018 | Aceito em: 11 dez. 2018



RESUMO

O recorte espacial de bacias de drenagem é de extrema importância para a compreensão evolutiva da paisagem. E a utilização de cálculo de parâmetros morfométricos que procurem reunir evidências sobre o mecanismo evolutivo desta unidade de evolução geomorfológica vem, desde a década de 1950, sendo continuamente aplicada nestes estudos. A identificação de assimetrias de bacias e a análise de perfis de relevo transversais e longitudinais a uma bacia, bem como a observação de perfis longitudinais aos canais fluviais, subsidiam a investigação do controle tectônico na história evolutiva e o entendimento da ocorrência de processos geomorfológicos pretéritos e atuais. A avaliação da forma geométrica do perfil associada ao cálculo do Índice de Gradiente (ou Relação Declividade Extensão - RDE), vem demonstrando ser uma prática metodológica bastante útil no reconhecimento de anomalias significativas na conformação côncava de um perfil longitudinal de um canal fluvial. Para esta análise, o emprego de geotecnologias facilita e agiliza as investigações realizadas, subsidiando uma melhor espacialização das informações produzidas e, assim, auxiliando na compreensão dos mecanismos evolutivos interpretados através dos parâmetros morfométricos utilizados. Auxiliam também na compreensão das relações com informações de cunho geológico-geomorfológico, subsidiando o reconhecimento de bacias que possuem graus diferenciados de controle litológico e/ou estrutural. Deste modo, este procedimento permite reunir argumentos básicos à interpretação de possíveis (re)ajustes fluviais, caracterizando processos morfodinâmicos distintos em bacias de drenagem.

Palavras-chave: bacias de drenagem, parâmetros morfométricos, controle tectono-estrutural.

ABSTRACT

The spatial area of watershed is of utmost importance for understanding the evolutionary landscape. The use of calculation of morphometric parameters that seek to gather evidence about the evolutionary mechanism of this evolutionary geomorphologic unit, comes since the 1950s, has been used since applied in these studies. The identification of asymmetric basins and analysis of rivers longitudinal and transverse profiles subside the investigation of tectonic control in evolutionary history, as well as the understanding of the current and past geomorphological processes. Analysing the profiles geometric shape in association with the gradiente (or ratio Slope Extension - RDE), has proven to be a useful methodological practice in recognition of anomalies in the concave conformation of the a river longitudinal profile. In this analysis the use of geotechnologies facilitates and speeds up investigations, supporting better the spatial information produced and therefore aiding in understanding the evolutionary mechanisms interpreted through morphometric parameters used, as well as to trace relations with imprint information geological-geomorphological and thus support the recognition of basins that have different degrees of control lithologic and/or structural, and gather basic interpretations of possible (re)fluvial adjustments, characterizing distinct morphodynamic processes in watersheds.

Keywords: watersheds, morphometric parameters, tectonic-structural control.

INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas, ou bacias de drenagem, correspondem a recortes espaciais da superfície terrestre onde há delimitação de uma dada área onde há coleta, armazenagem e transporte de água e, também, de transporte e deposição dos sedimentos remobilizados e que podem fluir para um lago ou alcançar o oceano. A bacia hidrográfica configura-se, portanto, a principal unidade de evolução geomorfológica, sendo composta por uma rede de canais fluviais articulados a ambientes de encostas, e que podem ter uma dinâmica bastante diferenciada de acordo com os elementos que as compõem (formas e declividade das encostas, tipos de litologia e de cobertura vegetal, influência de controles de estruturas geológicas, dentre outros) e de acordo com os índices e tipos de precipitação que recobre a bacia em estudo.

Nas últimas décadas, a perspectiva de utilização das bacias de drenagem tomou corpo como unidades fundamentais de análise ambiental e assumiu um novo caráter, onde todos os componentes físicos e bióticos da área drenada pelos sistemas fluviais são igualmente considerados. Inclui-se ainda a integração com aspectos sociais, econômicos e políticos, de modo a permitir o melhor aproveitamento de todos os recursos e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos e riscos ambientais associados à sua utilização (MOURA et al., 1997).

O emprego de bacias de drenagem como unidade de planejamento e gestão ambiental tem sido especialmente destacado em estudos voltados ao manejo agrícola dos solos e ao controle de enchentes e movimentos gravitacionais de massa em áreas urbanas. No entanto, a maioria das abordagens empregadas concentra-se na detecção de processos/respostas às entradas de chuvas e/ou alterações no uso e manejo dos solos, desconsiderando a dinâmica de comportamento das bacias em escala temporal mais ampla como aspecto básico para a compreensão do seu funcionamento atual (MOURA et al., 1997).

Assim, conhecer seu funcionamento se faz necessário quando se busca compreender os processos evolutivos, principalmente, aqueles classificados dentro da categoria de eventos catastróficos. Como exemplos podem ser citados movimentos gravitacionais de massa e grandes cheias de um rio, que podem ser deflagrados por eventos de elevada magnitude como fortes enxurradas e/ou por episódios sísmicos, e que geram transtornos à população e a economia local.

O estudo das redes e bacias de drenagem envolve, por sua vez, análises que perpassam desde a investigação de propriedades da água em diferentes trechos de um rio, até estudos que envolvem bacias hidrográficas em escala continental. E, na busca de se entender o funcionamento dos sistemas fluviais é necessário à integração do conjunto de elementos que os compõem, cujas relações estruturais e funcionais criam um todo articulado (AFONSO e SILVA, 2013). Para se compreender as formas de relevo criadas pela dinâmica das águas fluviais é ainda indispensável entender que os sistemas fluviais são compostos por uma rede complexa de componentes que se ajustam às mais diversas entradas (inputs) e saídas (outputs) de matéria (água e sedimentos) e energia do sistema geomorfológico.

Alguns sistemas fluviais se ajustam rapidamente às mudanças promovidas por uma determinada entrada de energia, enquanto outros são mais resistentes e podem ter respostas bem lentas. A variação do mecanismo de resposta vai estar atrelada às características físico-ambientais de cada ambiente fluvial. E estes ajustes ou mudanças na morfologia dos canais fluviais, e, por extensão, na própria bacia de drenagem, “ocorrem progressivamente através de diferentes escalas de tempo que vão desde pequenas variações sazonais, a profundas transformações na escala geológica” (AFONSO e SILVA, 2013; p.4). Ambientes fluviais constituem sistemas morfológicos em que forma e processos estão sempre se reajustando, em função de uma interferência externa e/ou interna, ou seja, por mecanismos de processo-respostas distintos às interferências da entrada de energia no sistema. A possibilidade de respostas tão diferenciadas são referenciadas na literatura geomorfológica como formas distintas de retroalimentação (feedback) a entrada (input) de energia, e são responsáveis pela contínua modificação das feições morfológicas em uma bacia de drenagem.

Sendo assim, uma das formas de se procurar analisar o mecanismo evolutivo das bacias de drenagem é através do cálculo e interpretação de parâmetros morfométricos. Os estudos morfométricos de formas de relevo e da rede de drenagem são instrumentos básicos para a caracterização de elementos que permitem descrever e compreender o funcionamento de uma bacia de drenagem, e podem, assim, auxiliar o desenvolvimento de planos de gestão que visem à utilização racional do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais atuantes neste meio (RECKZIEGEL e ROBAINA, 2006).

Além disso, a aplicação da morfometria tem se mostrado ser uma ferramenta importante na investigação de uma primeira aproximação dos processos evolutivos em bacias de drenagem, bem como de avaliação da dinâmica ambiental atual. Ressalta-se, ainda, o custo na realização deste tipo de análises, que é significativamente inferior quando comparado às dispendiosas e demoradas análises de laboratório (solos, água, entre outras).

Muitos autores tais como Etchebehere et al. (2004), Martinez (2005) et al. (2011) vêm aplicando e divulgado a retomada da utilização de parâmetros morfométricos em estudos sobre o (re)arranjo da rede de drenagem em inúmeras regiões do Brasil. Somando a este fato, tem-se que a partir de 1970 os estudos ambientais tiveram forte impacto das novas geotecnologias, que proporcionaram maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na obtenção de bases de dados para fins de tomada de decisões.

Investigações sobre aspectos evolutivos de uma bacia de drenagem podem ser reunidos a partir da confecção e análise de perfis longitudinais dos canais fluviais, permitindo traçar considerações quanto ao papel de deformações crustais no mecanismo evolutivo da bacia. Isto, principalmente, em ambiente geotectônicos como o que está localizado o Brasil, no interior da placa sul-americana, e que ainda carecem de um melhor entendimento e compreensão ao que se refere aos campos de tensão dominantes. Grande parte do território brasileiro é formado por áreas consideradas assísmicas, onde não são observados planos de falhas recentes em superfície. Isso exige, portanto, que se encontrem evidências mais sutis ou indiretas de eventuais deformações tectônicas (GUEDES et al., 2006).

Deste modo, este artigo tem como meta aplicar e discutir metodologias alternativas de investigação, tanto no que se refere à coleta, análise e interpretação das informações reunidas, sendo dada ênfase na elaboração e análise de perfis longitudinais de canais fluviais. Estes que acreditamos auxiliar na investigação tanto sobre materiais subjacentes, quanto na compreensão dos processos geológicos e da história geomorfológica de uma área (HACK, 1973).

MECANISMOS EVOLUTIVOS EM BACIAS DE DRENAGEM

Bacias hidrográficas, ou bacias de drenagem, correspondem a recortes espaciais da superfície terrestre onde há delimitação de uma dada área onde há coleta, armazenagem e transporte de água e, também, de transporte e deposição dos sedimentos remobilizados e que podem fluir para um lago ou alcançar o oceano. A bacia hidrográfica configura-se, portanto, a principal unidade de evolução geomorfológica, sendo composta por uma rede de canais fluviais articulados a ambientes de encostas, e que podem ter uma dinâmica bastante diferenciada de acordo com os elementos que as compõem (formas e declividade das encostas, tipos de litologia e de cobertura vegetal, influência de controles de estruturas geológicas, dentre outros) e de acordo com os índices e tipos de precipitação que recobre a bacia em estudo.

Nas últimas décadas, a perspectiva de utilização das bacias de drenagem tomou corpo como unidades fundamentais de análise ambiental e assumiu um novo caráter, onde todos os componentes físicos e bióticos da área drenada pelos sistemas fluviais são igualmente considerados. Inclui-se ainda a integração com aspectos sociais, econômicos e políticos, de modo a permitir o melhor aproveitamento de todos os recursos e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos e riscos ambientais associados à sua utilização (MOURA et al., 1997).

O emprego de bacias de drenagem como unidade de planejamento e gestão ambiental tem sido especialmente destacado em estudos voltados ao manejo agrícola dos solos e ao controle de enchentes e movimentos gravitacionais de massa em áreas urbanas. No entanto, a maioria das abordagens empregadas concentra-se na detecção de processos/respostas às entradas de chuvas e/ou alterações no uso e manejo dos solos, desconsiderando a dinâmica de comportamento das bacias em escala temporal mais ampla como aspecto básico para a compreensão do seu funcionamento atual (MOURA et al., 1997).

Assim, conhecer seu funcionamento se faz necessário quando se busca compreender os processos evolutivos, principalmente, aqueles classificados dentro da categoria de eventos catastróficos. Como exemplos podem ser citados movimentos gravitacionais de massa e grandes cheias de um rio, que podem ser deflagrados por eventos de elevada magnitude como fortes enxurradas e/ou por episódios sísmicos, e que geram transtornos à população e a economia local.

O estudo das redes e bacias de drenagem envolve, por sua vez, análises que perpassam desde a investigação de propriedades da água em diferentes trechos de um rio, até estudos que envolvem bacias hidrográficas em escala continental. E, na busca de se entender o funcionamento dos sistemas fluviais é necessário à integração do conjunto de elementos que os compõem, cujas relações estruturais e funcionais criam um todo articulado (AFONSO e SILVA, 2013). Para se compreender as formas de relevo criadas pela dinâmica das águas fluviais é ainda indispensável entender que os sistemas fluviais são compostos por uma rede complexa de componentes que se ajustam às mais diversas entradas (inputs) e saídas (outputs) de matéria (água e sedimentos) e energia do sistema geomorfológico.

Alguns sistemas fluviais se ajustam rapidamente às mudanças promovidas por uma determinada entrada de energia, enquanto outros são mais resistentes e podem ter respostas bem lentas. A variação do mecanismo de resposta vai estar atrelada às características físico-ambientais de cada ambiente fluvial. E estes ajustes ou mudanças na morfologia dos canais fluviais, e, por extensão, na própria bacia de drenagem, “ocorrem progressivamente através de diferentes escalas de tempo que vão desde pequenas variações sazonais, a profundas transformações na escala geológica” (AFONSO e SILVA, 2013; p.4). Ambientes fluviais constituem sistemas morfológicos em que forma e processos estão sempre se reajustando, em função de uma interferência externa e/ou interna, ou seja, por mecanismos de processo-respostas distintos às interferências da entrada de energia no sistema. A possibilidade de respostas tão diferenciadas são referenciadas na literatura geomorfológica como formas distintas de retroalimentação (feedback) a entrada (input) de energia, e são responsáveis pela contínua modificação das feições morfológicas em uma bacia de drenagem.

Sendo assim, uma das formas de se procurar analisar o mecanismo evolutivo das bacias de drenagem é através do cálculo e interpretação de parâmetros morfométricos. Os estudos morfométricos de formas de relevo e da rede de drenagem são instrumentos básicos para a caracterização de elementos que permitem descrever e compreender o funcionamento de uma bacia de drenagem, e podem, assim, auxiliar o desenvolvimento de planos de gestão que visem à utilização racional do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais atuantes neste meio (RECKZIEGEL e ROBAINA, 2006).

Além disso, a aplicação da morfometria tem se mostrado ser uma ferramenta importante na investigação de uma primeira aproximação dos processos evolutivos em bacias de drenagem, bem como de avaliação da dinâmica ambiental atual. Ressalta-se, ainda, o custo na realização deste tipo de análises, que é significativamente inferior quando comparado às dispendiosas e demoradas análises de laboratório (solos, água, entre outras).

Muitos autores tais como Etchebehere et al. (2004), Martinez (2005) et al. (2011) vêm aplicando e divulgado a retomada da utilização de parâmetros morfométricos em estudos sobre o (re)arranjo da rede de drenagem em inúmeras regiões do Brasil. Somando a este fato, tem-se que a partir de 1970 os estudos ambientais tiveram forte impacto das novas geotecnologias, que proporcionaram maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na obtenção de bases de dados para fins de tomada de decisões.

Investigações sobre aspectos evolutivos de uma bacia de drenagem podem ser reunidos a partir da confecção e análise de perfis longitudinais dos canais fluviais, permitindo traçar considerações quanto ao papel de deformações crustais no mecanismo evolutivo da bacia. Isto, principalmente, em ambiente geotectônicos como o que está localizado o Brasil, no interior da placa sul-americana, e que ainda carecem de um melhor entendimento e compreensão ao que se refere aos campos de tensão dominantes. Grande parte do território brasileiro é formado por áreas consideradas assísmicas, onde não são observados planos de falhas recentes em superfície. Isso exige, portanto, que se encontrem evidências mais sutis ou indiretas de eventuais deformações tectônicas (GUEDES et al., 2006).

Deste modo, este artigo tem como meta aplicar e discutir metodologias alternativas de investigação, tanto no que se refere à coleta, análise e interpretação das informações reunidas, sendo dada ênfase na elaboração e análise de perfis longitudinais de canais fluviais. Estes que acreditamos auxiliar na investigação tanto sobre materiais subjacentes, quanto na compreensão dos processos geológicos e da história geomorfológica de uma área (HACK, 1973).

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NO AUXÍLIO DO ENTENDIMENTO EVOLUTIVO DE UMA BACIA DE DRENAGEM

Os parâmetros morfométricos aqui tratados e sugeridos na investigação do mecanismo evolutivo de bacias de drenagem são aqueles que procuram investigar sobre a existência de influência de estruturas geológicas ou não em uma bacia. Um dos parâmetros avaliados se referem àqueles que subsidiam a avaliação da assimetria das bacias de drenagem, refletindo a influência de estruturas geológicas na geração de basculamentos de blocos, e, portanto, definindo áreas onde processos erosivos e deposicionais possam atuar mais efetivamente. Nesta análise foram aplicados o Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD) e do Fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT):

- a) Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD) - reflete o componente de deslocamento lateral do seu rio principal, perpendicularmente à direção de seu eixo (Figura 1). Esta migração é causada por processos fluviais internos, ou seja, pela ocorrência de fluxos sub-superficiais e/ou impulsionados por forças tectônicas. O cálculo deste índice é alcançado pela aplicação da seguinte expressão matemática:

$$FA = 100 \times \left(\frac{Ar}{At} \right)$$

Onde: Ar é a área da bacia à direita do rio (olhando em direção à jusante) e At é a área total da bacia) (Figura 1).



Figura 1. Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), que quantifica o deslocamento de um rio em função de causas tectônicas (Modificado de Hare e Gardner, 1985).

Um exemplo hipotético aplicado a figura acima poderia ser o seguinte:

$$FA = 100 \times \frac{3.2}{4.9}$$
$$FA = 65$$

A interpretação dos resultados obtidos é a seguinte: valores de FABD abaixo ou próximos a 50 revelam pouca ou nenhuma atividade tectônica, enquanto valores > 50 indicam um provável basculamento. E, assim, no exemplo da figura acima a bacia estaria basculhada para à esquerda, corroborando com o que o arranjo da rede de drenagem já demonstrava, com comprimento dos canais da margem direita muito mais extensos do que os canais da margem esquerda, o que já seria um forte indício de controle tectônico.

- b) Fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT) - está baseado no fato de que a migração preferencial do canal em direção a uma das vertentes caracteriza uma assimetria do perfil topográfico transversal a bacia. E como este fator deve ser calculado para diversos perfis topográficos localizados nos trechos a jusante, montante e setor intermediário de uma bacia de drenagem, possibilita identificar, de forma mais apurada, setor(res) em há ocorrência de controles litológicos e/ou estruturais em uma bacia. Seu cálculo é realizado pela relação entre D_a é a distância da linha média do eixo da bacia até a linha média do canal fluvial ativo e D_d é a distância da linha média da bacia ao divisor da bacia (Figura 2):

$$FSTT = \frac{D_a}{D_d}$$

Quando não há alteração do perfil topográfico transversal, o valor de FSTT (ou T como está representado na figura 2) fica próximo a zero, enquanto a assimetria cresce à medida em que os valores de FSTT se aproximam de 1.

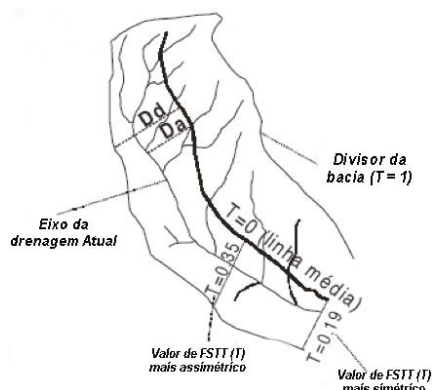


Figura 2. Fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT ou ‘T’) que quantifica o deslocamento de um rio. Observa-se na figura diferentes valores deste parâmetro morfométrico que demonstram trechos de maior ou menor assimetria ao longo da bacia de drenagem (Modificado de: COX, 1994).

- c) Relação Declividade-Extensão (RDE) - este parâmetro, proposto por Hack (1973), permite identificar alterações no curso de um rio, analisando-o por meio da conformação de seu perfil longitudinal, e estabelecendo diferentes graus de influência de controles estruturais através da identificação do que este autor denominou de “anomalias na drenagem” se referindo a variações bruscas no talvegue dos canais fluviais, ou níveis de base locais.

Para cálculo do índice de RDE é necessário inicialmente a elaboração de perfis longitudinais aos canais fluviais que podem ser confeccionados a partir de bases topográficas em formato digital ou impressa, na escala disponível para a área de estudo, ou ainda através do emprego de geotecnologias como, p. ex., de Modelos Digitais de Elevação, como os provenientes da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Se o método empregado tiver como base o uso de cartas topográficas impressas, serão utilizadas tiras de papel milimetrado nas quais são marcados os valores das curvas de nível que o rio corta e, posteriormente, todos os pontos destes valores de altitude e da distância a que estes ocorrem foram plotados em uma planilha eletrônica, p.ex., do software Excel e elaborado os respectivos gráficos em forma de linhas contínuas. E se for utilizado software como o ArcGIS estes perfis são confeccionados de forma bem simples e rápida a partir da utilização da ferramenta 3D Analyst.

Após os perfis elaborados são realizados procedimentos de mensuração de extensão total e de trechos dos canais fluviais, que tanto podem ser realizados de forma manual como através de softwares, por

ex., como o ArcGIS. As medidas encontradas são exportadas para planilha para que os cálculos do índice de RDE sejam realizados: tanto para toda extensão de um rio como para trechos ou segmentos do rio, e que permitirão à identificação de variações no perfil longitudinal do rio mensuráveis matematicamente.

Para efetuar o cálculo do RDE total (RDE_{total}) aplica-se a seguinte equação

$$RDE = \frac{\Delta h}{\Delta l} \times L,$$

onde Δh (diferença altimétrica que compreende o trecho selecionado para a análise), Δl (projeção horizontal, no terreno, da extensão do trecho selecionado do rio), e L que corresponde ao comprimento total do curso d'água até a nascente da drenagem do ponto o qual o índice está sendo calculado, ou seja, a cada ponto em que se faz o cálculo o valor de L irá sendo alterado (Figura 3).

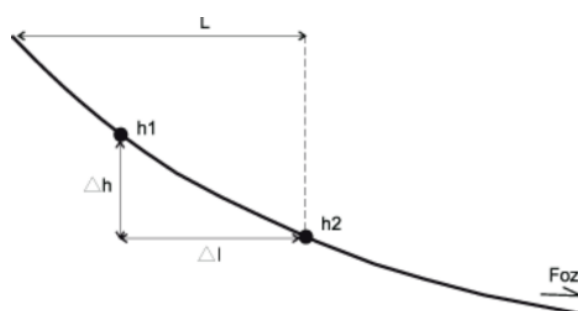


Figura 3. Desenho representativo da explicação do cálculo do índice RDE para um segmento de um perfil de rio, considerando os valores de um intervalo entre duas isoipsas subsequentes: h1 e h2. L = comprimento da drenagem entre a cabeceira e isoípsa jusante. Δh = diferença de altitude entre duas isoipsas subsequentes; Δl = projeção horizontal do comprimento do segmento de drenagem entre duas isoipsas subsequentes (Modificado de: ETCHEBEHERE *et al.*, 2004).

Na análise deste parâmetro morfométrico é realizado ainda o índice de Declividade-Extensão para cada trecho (RDE_{trecho}), calculando-se os valores de RDE para isoipsas subsequentes da seguinte forma: faz-se a leitura dos valores da ‘Cota Superior’ e da ‘Cota Inferior’; cálculo da diferença entre estas duas cotas; valor em metros da distância entre as isoipsas convertida na escala da carta topográfica; valor em metros da distância da isoípsa que se está sendo mensurada ao valor da cabeceira,

devidamente convertida na escala da carta topográfica; e finalmente o cálculo do RDE por trecho/segmento, que será encontrado pela aplicação da seguinte expressão: $RDE_{\text{trecho/total}}$

Os dados encontrados para $RDE_{\text{trecho/total}}$ podem ser plotados em um gráfico e correlacionados ao perfil longitudinal do canal fluvial, permitindo uma análise integrada, possibilitando o reconhecimento de anomalias no perfil e traçar relações com mecanismos evolutivos do canal fluvial e, portanto, da própria bacia de drenagem. Seeber e Gornitz (1983) aplicaram este índice na região dos Himalaias procurando indicativos de atividades tectônicas, a partir da análise das anomalias do perfil dos canais de drenagem e da interpretação balizada com informações geológicas. As seguintes relações puderam ser apontadas: índices com valores menores que 2(dois) configuram-se como gradiente ideal (ou seja, segmentos dos rios que encontram-se bastante retrabalhados/erodidos, próximos ao que a literatura geomorfológica define como rio em estado de ‘equilíbrio’); valores que ficaram entre 2 (dois) e 10 (dez), configuram-se como anomalias de 2ª ordem, ou seja, com influência intermediária de controles tectônicos ou que já se encontram bastante dissecados por processos erosivos; e valores acima de 10 (dez), foram interpretados como anomalias de 1ª ordem, representando, no terreno, trechos de rios com forte influência de controles estruturais.

No Brasil, um dos trabalhos pioneiros na aplicação deste índice foi o de Andrades Filho (2010) que justifica a adaptação da interpretação dos valores encontrados para os índices de RDE pelos seguintes argumentos básicos: 1) a intensidade de intemperismo e erosão são muito mais intensos no Brasil devido ao clima tropical; e 2) a tectônica no território brasileiro é muito menos intensa que em áreas de encontro de placas tectônicas como na cordilheira dos Himalaias. Sendo assim, para este autor deve-se avaliar previamente os valores de RDE calculados para uma determinada área de estudo, de forma a definir classes de anomalias após plotagem em um histograma os valores encontrados, permitindo observar o agrupamento de valores e, assim, possibilitando uma interpretação do significado dos valores encontrados. Em seu trabalho realizado na porção central da bacia do rio Paraíba (PB), Andrades Filho (2010) classificou os resultados obtidos em quatro classes: 1) valores menores que 2 (dois); 2) valores maiores que 2 (dois) e menores que 4 (quatro); c) valores maiores que 4 (quatro) e

menores que 6 (seis); d) os maiores que 6 (seis), sendo alguns valores até bem maiores, mas de ocorrência isolada.

Para corroborar com as classes definidas foi associado todo o conhecimento de campo sobre as deformações geológicas da área (falhas, comumente, sub-verticais e com amplitude de rejeitos bastante variáveis) já reconhecidas em afloramentos no substrato arenítico neógeno, além de traçar relações com lineamentos morfoestruturais mapeados para a bacia. Como o RDE mostra-se bastante sensível a deformações expressas, principalmente, em falhas normais, e por considerar que este índice permite extrapolar a interpretação do comportamento de forma mais regional, o RDE auxilia bastante nesse sentido e, quando associados a outros índices morfométricos, é possível à identificação de áreas onde a intensidade das deformações tectônicas são mais intensas e áreas onde são menos intensas, considerando que em toda área havia registros de feições em afloramento indicativas de deformação. Assim, o autor conseguiu discriminar áreas intensamente influenciadas, áreas muito influenciadas e áreas pouco influenciadas por controles tectono-estruturais e, assim, demonstrando que o RDE é um índice de valor na investigação de áreas com conhecimento incipiente do papel da tectônica na evolução geomorfológica de uma bacia de drenagem.

COMO CALCULAR E INTERPRETAR ESSES PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA INVESTIGAÇÃO EVOLUTIVA DE UMA BACIA DE DRENAGEM?

Neste item vamos fazer um passo a passo de como realizar os cálculos dos parâmetros morfométricos supracitados, assim como tecer uma breve demonstração de como se podem analisar os resultados encontrados, a partir de exemplos de estudos já realizados.

Antes mesmo de iniciar a etapa de cálculo dos parâmetros morfométricos é importante que se faça uma análise dos aspectos geológico-geomorfológicos da área em estudo, procurando reconhecer e avaliar as diversidades existentes e que poderão ser úteis na análise conjunta dos resultados a serem coligidos. A bacia do rio Guapi-Açu que é contribuinte das águas da Baía da Guanabara (Figura 4) é constitui-se como exemplo de área que começou a ser investigada nos últimos anos por Paes e Silva (2012; 2017) e Silva e Paes (2013) onde foi observado que a organização das feições morfológicas de serras escarpadas e reafeiçoadas (diferenciadas por graus distintos de dissecação das encostas e, portanto, da

própria taxa de encaixamento fluvial), morros (formas convexas de relevo com presença de encosta bem íngremes e que ocorrem muitas vezes isoladas em meio de planícies fluviais), colinas (morfologias de topos suaves, localizadas em ambiente caracterizado por entulhamento de vales e/ou contíguas as reentrâncias de cabeceiras de drenagem) e planícies (feições de topografia plana - horizontal a sub-horizontal) (Figuras 4 e 5) mapeados estão significativamente alinhadas na orientação NE-SW. O contato abrupto entre serras e planícies é indicador de forte controle tectônico em seu arranjo morfológico. Ressalta-se ainda a correspondência de muitos trechos dos canais fluviais e alguns limites das feições morfológicas serranas a falhas já mapeadas na área, demonstrando que, para a área, o fator tectônico teria importância relevante nos mecanismos evolutivos e, portanto, a investigação a partir de parâmetros morfométricos poderia auxiliar na apreensão de onde e de quanto este fator está atrelado à evolução geomorfológica local.

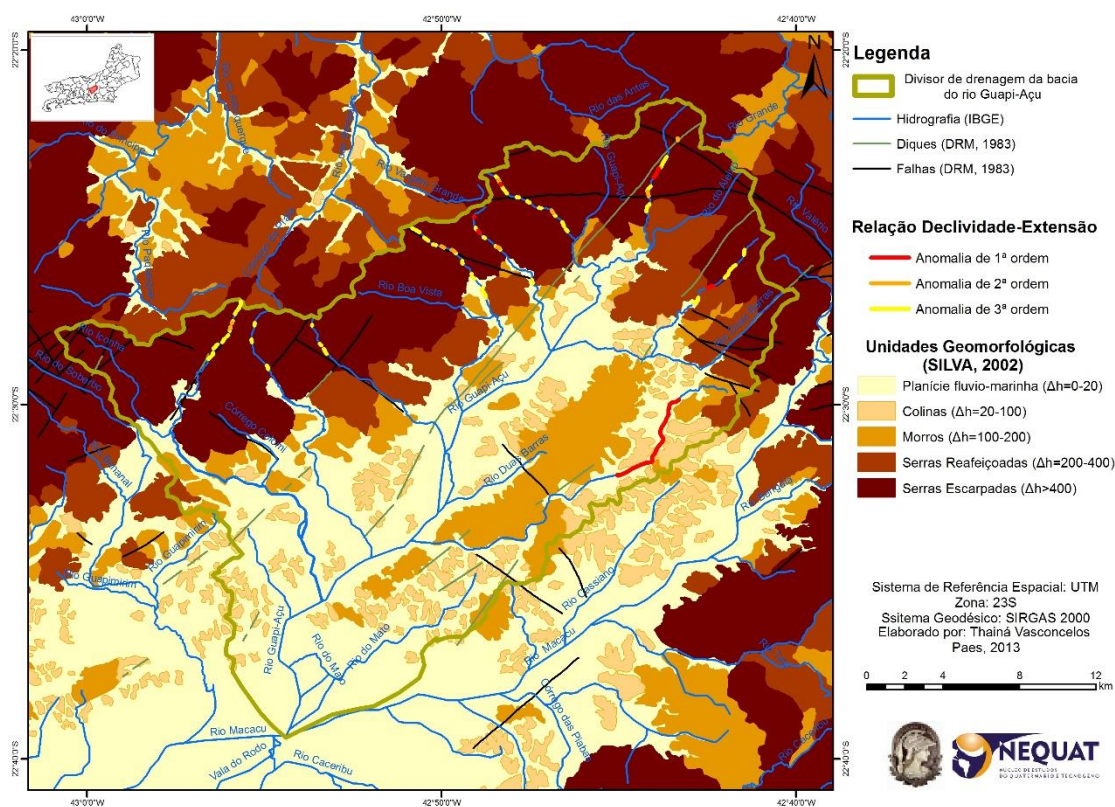


Figura 4. Mapa de feições geomorfológicas mapeados por Silva (2002) para a bacia do rio Guapi-Açu, com plotagem das principais estruturas geológicas mapeadas (Diques e Falhas) e das anomalias de 1ª. e 2ª. ordem do índice da Relação Declividade-Extensão. Fonte: PAES (2013).



Figura 5. Visão panorâmica do alinhamento das feições morfológicas encontradas na bacia do rio Guapi-Açu e reconhecidas na figura 4

Deve-se destacar as seguintes informações sobre as figuras anteriores: a) nota-se através da figura 4 que os rios afluentes da margem direita nascem todos em morfologias de serras escarpadas (Figura 5) e, em sua maioria, possuem elevadas declividades e contato abrupto com a morfologia suave das planícies fluviais; b) enquanto afluentes da margem esquerda têm rios mais suaves, com nascentes em morfologias de morros e serras reafileçadas, contornando feições morfológicas de colinas e morros no trecho de médio-baixo curso. Esta observação pode ainda ser corroborada através da observação da conformação dos perfis longitudinais de canais fluviais elaborados a partir de cartas topográficas apresentados posteriormente.

Considerados de mensuração mais simples e rápida, o FABD e FSTT, foi aplicado e encontrados os seguintes valores (Tabela 1) e as respectivas interpretações.

Os valores de FABD e de FSTT encontrados, tanto para o rio principal (rio Guapi-Açu) quanto para rios afluentes (Tabela 1), indicaram basculamentos de blocos do relevo significativos e não uniformes ao longo de uma mesma bacia (observado, principalmente, pelos valores de FSTT, que pode detalhar diferentes trechos de uma bacia). Desta forma, é possível perceber que há complementaridade entre estes parâmetros morfométricos, pois o valor de FABD pode mascarar características de não uniformidade em uma bacia, havendo necessidade de se realizar o cálculo do FSTT para melhor se conhecer o comportamento de uma bacia de drenagem como um todo, ou seja, se há ou não uma

possível influência de controles tectono-estruturais ao longo de toda a bacia. Vamos utilizar, como exemplo, o índice encontrado para a bacia do rio Guapi-Açu: o valor próximo de 39,45 para o FABD (Tabela 1), indicaria pouca ou nenhuma atividade tectônica (já que estaria abaixo de 50), porém, através dos valores de FSTT pode-se observar elevado índice de assimetria no alto curso (bem próximo a 1 (um)), baixo (FSTT = 0,12) no médio curso e valor intermediário (FSTT = 0,41) no baixo curso, demonstrando que a tectônica não seria tão inexpressiva para toda a bacia como parecia indicar o FABD encontrado.

Bacias Hidrográficas		Trecho do rio	FSTT	FABD
Rio principal	rio Guapi-Açu	Alto curso	0,89	39,45
		Médio curso	0,12	
		Baixo curso	0,41	
	rio Iconha	Alto curso	0,8	39,45
		Médio curso	0,73	
Margem Direita	rio Boa Vista	Baixo curso	0,88	18,44
		Alto curso	0,23	
		Médio curso	0,91	
	rio Estreito	Baixo curso	0,19	29,24
		Alto curso	0,53	
		Médio curso	0,51	
	rio Duas Barras	Baixo curso	0,06	77,45
		Alto curso	0,86	
		Médio curso	0,62	
		Baixo curso	0,45	
Margem Esquerda	rio Manoel Alexandre	Alto curso	0,5	69,38
	rio Rabelo	Médio curso	0,57	
		Baixo curso	0,6	
	rio Rabelo	Alto curso	0,62	49,15
		Médio curso	0,63	
		Baixo curso	0,46	

Tabela 1. Parâmetros Morfométricos de algumas sub-bacias afluentes do rio Guapi-Açu. Modificado de: PAES e SILVA (2012).

A presença de basculamentos do terreno reconhecidos através dos resultados dos parâmetros morfométricos supracitados, e que podem ser ratificados pela realização de perfis transversais aos canais fluviais em diferentes trechos das sub-bacias estudadas, possibilitam também identificar a ocorrência de assimetria das vertentes dos vales fluviais. Estas informações são de extrema importância para o estudo da dinâmica de uma bacia, pois pode balizar à indicação da existência de uma predisposição à atuação de processos erosivos, devido, p.ex., ao aumento da declividade e,

consequentemente, aumento da velocidade de fluxos d'água nas encostas em diferentes trechos de uma bacia de drenagem.

Passa-se então para a realização dos perfis longitudinais dos canais fluviais e que podem também ser úteis na detecção de comportamentos distintos. Realizando-se perfis para rios situados em distintas localizações podendo-se observar que: a) enquanto o rio da margem esquerda apresenta desníveis acentuados ou variações bruscas definindo níveis de base locais (Figura 6), demonstrando que este estaria em pleno processo de reajustes fluviais: b) o perfil referente a um dos afluentes da margem direita apresenta conformação muito mais próxima a forma côncava, com desníveis ao longo do perfil mais suavizados (Figura 7), demonstrando perfis que estariam em uma condição de “mais ajustados”, ou seja, perfil considerado pela literatura geomorfológica como em ‘equilíbrio’. Em síntese, apesar do perfil representado pela figura 7 constituir um rio que drena a área serrana da bacia ele está atualmente em estágio de “maior equilíbrio”. Enquanto, o que rio localizado em segmento de relevo mais suave (serras reafeiçoadas, morros e colinas) encontra-se em pleno estágio de reajustes fluviais pela ocorrência ao longo do perfil de desníveis acentuados (ou níveis de base locais). Deste modo, pode-se concluir que mesmo em situação morfológica mais suavizada o papel da tectônica parece constituir fator importante na evolução local.

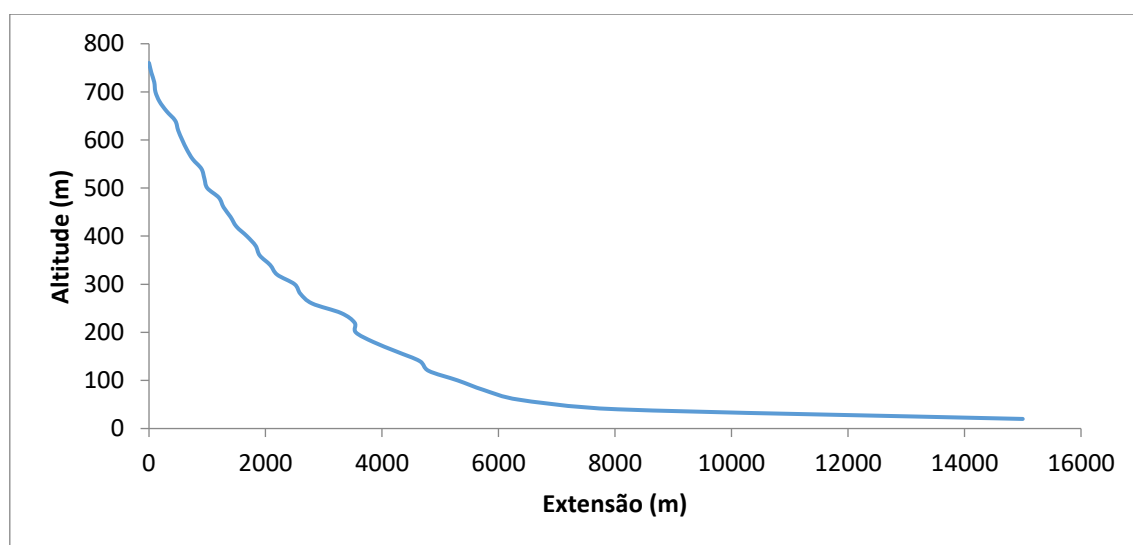


Figura 6. Perfil longitudinal de rio afluente da margem esquerda, que apesar de ter uma amplitude altimétrica menor observam-se desníveis acentuados ao longo da linha da curva do perfil.

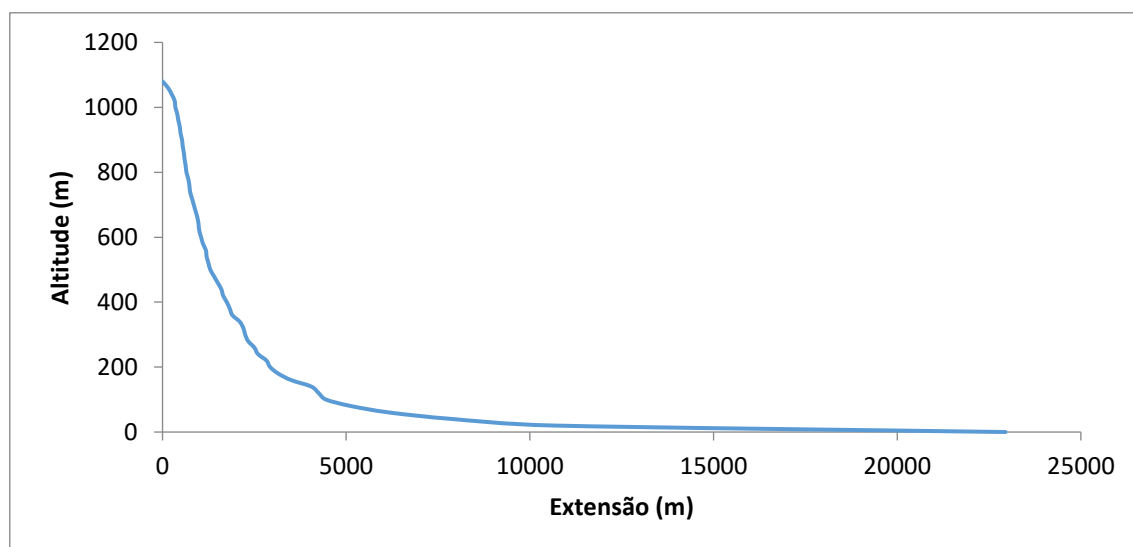


Figura 7. Perfil longitudinal de rio afluente da margem direita com amplitude altimétrica acentuada, mas com conformação mais côncava e com desníveis no perfil mais suavizados.

Esta etapa de elaboração dos perfis longitudinais aos rios é essencial para a realização dos cálculos das demais métricas a serem trabalhadas. E, assim, passa-se para a etapa seguinte de realização do cálculo do índice de Relação Declividade-Extensão (RDE) a partir dos dados da planilha dos valores de distância e de altitude de cada ponto mensurado na construção dos perfis.

Para realização do cálculo dos valores de RDE_{total} para um determinado rio, segue-se a sequência apresentada na tabela 2: mensuração do valor da extensão total do rio (a); cálculo do Logaritmo em base 10 do valor de extensão total (b), em que pode-se utilizar o cálculo automático disponibilizado pelo site www.gyplan.com/pt/logar_pt.html; extração das cotas altimétricas das isoípsas correspondentes a nascente (c) e a foz (d) do rio; valor da amplitude entre estas cotas altimétricas (e) e, por fim, cálculo do valor de RDE_{total} (f) aplicando-se a expressão:

$$RDE_{total} = \frac{(e)}{(a)} \times (b).$$

Nome do rio	Extensão (m) (a)	Logaritmo (L ₁₀) (b)	Cota Cabeceira (c)	Cota da Foz (d)	Amplitude (m) = (c) – (d) (e)	RDE_{total} (f)
Rio do Anil	11.700	4.1	900	20	880	308
Rio Boa Vista	17.500	4.2	1260	20	1240	298
Rio Estreito	10.000	4.0	1089	20	1069	428
Rio Iconha	22.950	4.4	1080	20	1060	203
Rio Paraíso	17.750	4.3	1100	20	1080	261

Tabela 2. Exemplos de valores utilizados no cálculo do índice RDE_{total} para os rios afluentes da margem direita da bacia do rio Guapi-Açu (Figura 4).

Em seguida, são calculados os valores de RDE por segmento de drenagem (RDE_{trecho}) (Tabela 3) sendo realizados cálculos para cada intervalo existente entre as curva de nível, a partir do cálculo da seguinte sequência: leitura dos valores da ‘Cota Superior’ (B) e da ‘Cota Inferior’ (C); diferença entre estas duas cotas (Δ cota) (D); valor em metros da distância entre as curvas convertidas na escala da carta topográfica (E) e o valor em metros da distância da curva que está sendo mensurada até o valor da curva correspondente a nascente do rio (F), devidamente convertida na escala da carta topográfica; cálculo do $RDE_{trecho} = D/E \times F$, onde D é o valor da Δ cota, E é o comprimento do trecho e F é a extensão da isoípsa até a nascente do rio (G); e o valor final de RDE obtido pela relação entre RDE_{trecho} e RDE_{total} ($RDE = trecho/total$) (H), sendo esta a relação que irá possibilitar identificar trechos sugestivos de drenagem anômalos.

Trecho	Cota Superior	Cota Inferior	Δ cota	Comp. trecho	Extensão cabeceira	$RDE_{trecho} = \frac{D}{E} \times F$	$\frac{RDE_{trecho}}{total}$
A	B	C	D	E	F	G	H
1	900	880	20	50	50	20	0,06
					(30+50)=		
2	880	860	20	30	80	53	0,17

Tabela 3. Exemplo da tabela de dados utilizados para o cálculo do valor de RDE_{trecho} e da relação entre RDE_{total} e RDE_{trecho} para dois trechos iniciais de um determinado canal fluvial que tem valor de RDE_{total} = 308.

Após a finalização dos cálculos são elaborados gráficos dos valores da relação entre RDE_{total} e RDE_{trecho} (correspondentes aos dados da coluna H da tabela 3), e correlacionado ao perfil longitudinal do canal fluvial, como apresentado pela figura 8, através do traçado de linhas pontilhadas. Pode-se observar que na figura os valores de RDE plotados no perfil (Figura 8B) correspondem às quebras na linha contínua do perfil do rio (Figura 8A), marcados pela ocorrência de desníveis, ou seja, correspondendo aos níveis de base locais, e, assim, corroborando com a detecção de provável existência de influência tectônica na evolução do canal fluvial. Cabe ressaltar, no entanto, que há uma “atemporalidade” desta influência tectônica, pois inferências quanto à idade da movimentação do terreno só poderão ser definidas com análises em campo, através do reconhecimento e de medidas estruturais em afloramentos dos desníveis encontrados pelas análises dos parâmetros morfométricos realizadas, além de consulta às informações geológicas existentes para a área.

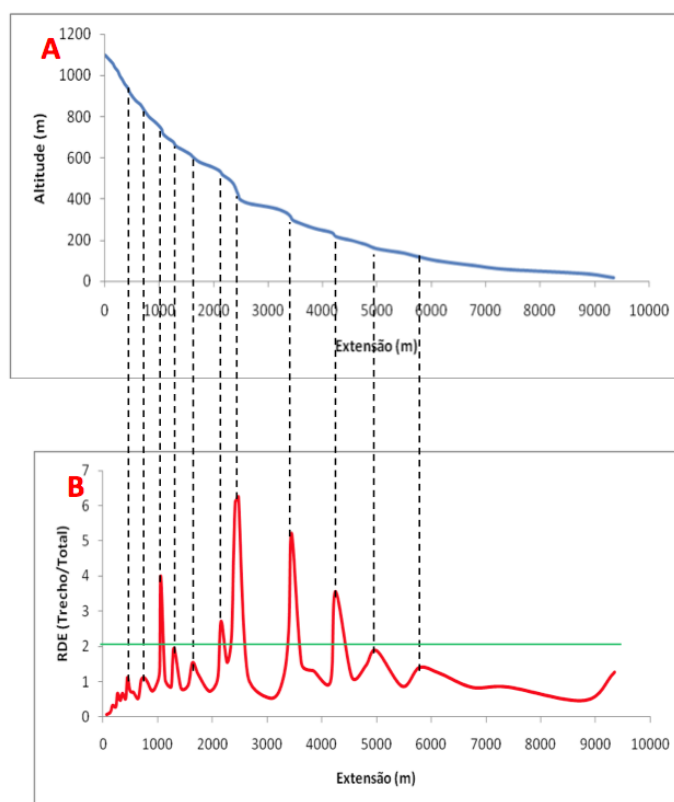


Figura 8. A - Perfil longitudinal do rio; B - Valores de $RDE_{\text{trecho/total}}$. A linha contínua na cor verde corresponde ao valor limite considerado como marco para anomalias de RDE para o caso da bacia do rio Guapi-Açu.

Na construção da figura 8B foi ainda inserida uma linha na altura do valor 2,0 que corresponde ao limite inferior de ocorrência de anomalias considerado para a bacia. As classes interpretadas como de graus diferenciados do papel de atividades tectônicas foram estabelecidas a partir da análise da distribuição dos dados encontrados para os índices de RDE da bacia (avaliando como se dava o agrupamento destes índices), e tomando como base os argumentos trazido por Andrades Filho (2010) para adaptação do significado das anomalias em território brasileiro. Sendo, portanto, considerada quatro: $< 2,0$ = trechos que se encontram bastante retrabalhados/erodidos; trechos com influência intermediária de controles tectônicos sendo diferenciados os com valores que variam de 2 a 4 e os de 4 a 6, respectivamente, de anomalias 3a. e 2a. ordens; e valores > 6 = interpretados como anomalias de 1ª ordem, ou seja, trechos de rios com forte influência tectônica, mas, normalmente, com ocorrência isolada.

O índice RDE permitiu apreender o comportamento dos canais fluviais, sendo considerado que a maioria dos valores encontrados para as sub-bacias pertence às classe de anomalias de 2ª e 3ª. ordens,

demonstram que, em geral, os canais fluviais podem ser caracterizados por um estado atual de ‘relativo desequilíbrio’, ou seja, em que ainda estão presentes em seu quadro evolutivo atual (re)ajustes fluviais. E como já colocado pela análise dos perfis, os afluentes da margem esquerda apresentaram, no geral, valores mais elevados de reajustes, como pode ser exemplificado pela única anomalia de 1ª ordem encontrada para toda a bacia com valor de RDE de 20,17.

Uma tentativa de integração dos gráficos elaborados às informações geológicas disponibilizadas pelo DRM (1983) é apresentada pela figura 9, onde nota-se possíveis controles locais (NBL) em que há associação entre a anomalia identificada e controle litológico e outra associada a controle tectônico.

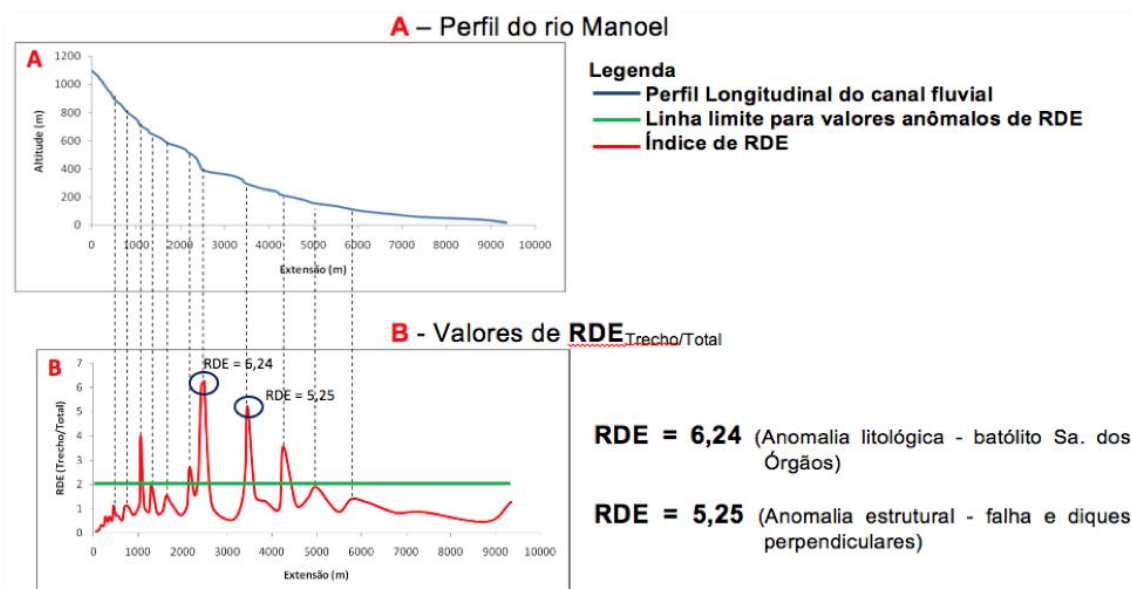


Figura 9. Exemplo de correlação entre os gráficos realizados e a indicação do aspecto geológico correspondente para os valores de RDE mais elevados do rio denominado Manoel Alexandre. **A** - Perfil longitudinal do rio e em **B** valores de **RDE** obtidos para o rio em questão. Observa-se que os valores mais elevados de **RDE** (6,24 e 5,25), marcados por um círculo em azul em **B**, possuem vínculo com as informações geológicas, extraídas das cartas geológicas realizadas pelo DRM (1983).

Como forma de espacializar estas informações de RDE foram plotados os trechos correspondentes as classes de anomalias identificadas nos mapas geomorfológicos (Figura 4) e geológico (Figura 10), através do auxílio do software ArcGIS, permitindo, esta espacialização, constatar: a) a existência de um alinhamento das classes de anomalias de 2ª. e 3ª. ordens no trecho mais a montante dos afluentes da margem direita e que, em suas correspondências, orientados para NE-SW; b) alinhamentos E-W nas bacias localizadas mais à jusante da margem direita; e c) alinhamento NW-SE para as bacias dos

rios Manoel Alexandre (margem direita) e rio Duas Barras localizados na margem esquerda. Observa-se também que em termos de extensão das anomalias a dos trechos de RDE mais significativos encontram-se nos rios localizados na margem esquerda e, portanto, considerada como o local que possui controle tectônico mais acentuado.

Ressalta-se ainda que, ao espacializar este parâmetro morfométrico, pode-se identificar alinhamento das anomalias que permitem sugerir prováveis lineamentos na área, complementando assim as informações dos mapas geológicos existentes (Figura 10).

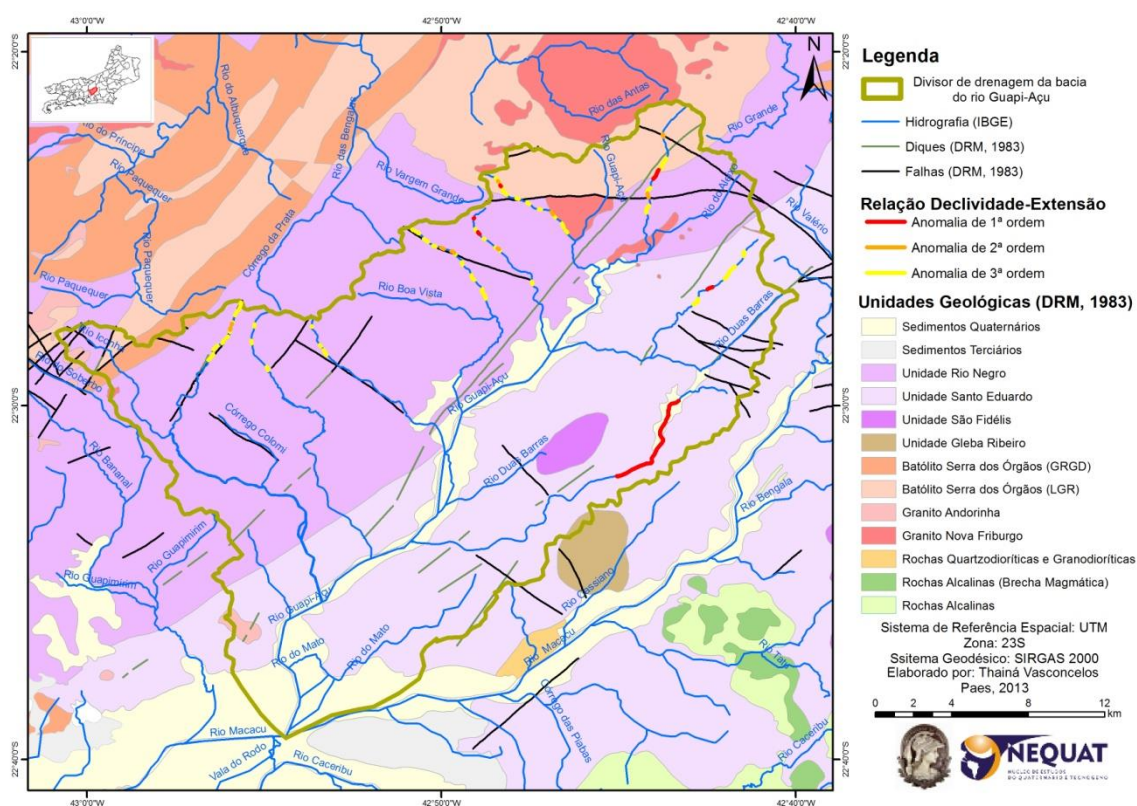


Figura 10. Mapa das unidades geológicas reconhecidas mapeadas pelo DRM (1983) para a bacia do rio Guapi-Açu, com plotagem das principais estruturas geológicas mapeadas (Diques e Falhas) e das anomalias de 1ª, 2ª e 3ª ordens do índice da Relação Declividade-Extensão. Fonte: PAES (2013).

Um outro exemplo de aplicação e interpretação deste parâmetro em estudos sobre análise tectônica pode ser visto em Santos et al. (2011; p. 500), que associaram a ocorrência de anomalias de RDE de 2ª ordem encontradas no pontal de Paranapanema (SP) (Figura 11) aos seguintes condicionantes: zona de falhas ativas, confluência com drenagens de porte expressivo, ou mudança de substrato geológico, configurando uma soleira lítica em substrato mais resistente à erosão, como pode ser o caso

da ocorrência de basaltos na área, ou ainda estar ligado à ação de eventos neotectônicos. Estes autores interpretaram ainda a conformação de todo o perfil longitudinal do canal fluvial com uma outra análise que não foi discutida neste artigo que se refere a “linha de melhor ajuste”, e que possibilita à identificação de trechos do canal que estariam em ascensão ou em subsidência (Figura 11), sendo que muitos dos trechos identificados coincidiram com anomalias RDEtrecho/total. Destacaram que a maior concentração de segmentos em subsidência situava-se próximos à grande alça do rio Paranapanema, onde há ocorrência e preservação de depósitos aluviais mais expressivos e, pelo caráter subsidente do trecho do canal, onde haveria o predomínio do processo de agradação frente ao de dissecação dos fundos de vale.

Segundo Santos et al. (2011), o levantamento sistemático de parâmetros fluviomorfométricos (perfis longitudinais de canais e índices de RDE), em associação às zonas de solos mais espessos e dos lineamentos de drenagem e do relevo identificados por fotointerpretação, auxiliam na análise morfoestrutural regional, como pode ser representada na figura 11. Tais informações permitem apreender aspectos interpretativos locais, como, p. ex.: a) localização de anomalias de RDE e de trechos de drenagem com talvegues ora indicando subsidência, ora ascensão tectônica, sugerindo processos neotectônicos ativos; b) área de maior destaque de ocorrência de trechos subsidentes e em que ocorre solos espessos e depósitos aluviais e coluviais expressivos oriundos de blocos alçados adjacentes. Estes autores colocam ainda que a presença de feixe de lineamentos N-S parece ser o elemento rúptil que condicionou o desvio do rio Paranapanema para sul (p. 504). Tais aspectos corroboraram com a hipótese de movimentos verticais tectônicos recentes diferenciados atuando na conformação do relevo, traduzidos por comportamentos diferenciados de blocos morfotectônicos. E, para finalizar, destacam que investigações de campo são necessárias para certificar a intensidade das deformações registradas, principalmente, aquelas que se referem aos depósitos sedimentares mais recentes, bem como suas implicações em termos de riscos de caráter geológico.

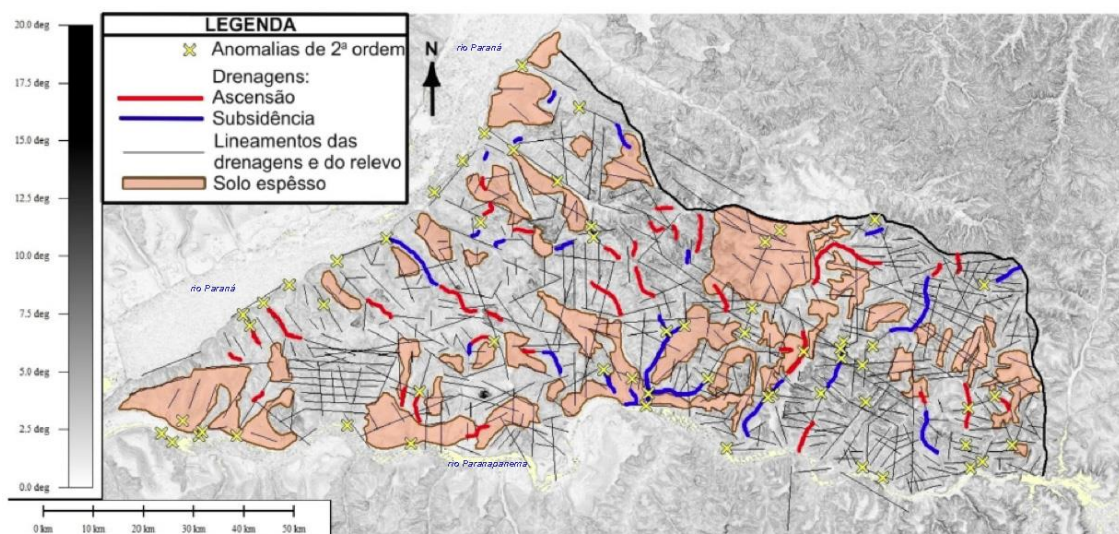


Figura 11. Mapa integrado de informações morfotectônicas. Fonte: SANTOS *et al.* (2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que através de análises morfométricas pode-se extrair importantes informações na investigação do mecanismo evolutivo de uma bacia de drenagem. A conformação de um perfil longitudinal ao canal fluvial permite avaliar se a bacia encontra-se em estágio mais avançado de evolução, quando o perfil se aproximar da forma côncava, ou se encontra com uma dinâmica evolutiva mais ativa, dada pela apresentação de um perfil com variação significativa ou quebras ao longo de seu curso. O índice de RDE, por sua vez, mostra-se também favorável à análise de anomalias ao longo do perfil longitudinal, constituindo um parâmetro que permite associar às informações geológicas existentes de forma a corroborar na sugestão de controles estruturais na dinâmica evolutiva de uma bacia de drenagem.

Pelos dados coligidos, tanto para os exemplos da bacia do rio Guapi-Açu (RJ) quando para o trecho do Pontal do rio Paranapanema (SP), foi possível observar significativo controle estrutural no (re)arranjo da rede de drenagem pela constatação da presença de perfis longitudinais de canais fluviais que mostram intenso processo de ajuste fluvial. Também foi evidenciado, mesmo que de forma preliminar, controles litológicos e/ou tectônico-estruturais identificados segundo as indicações dos valores de RDEs e de outros parâmetros associados.

Sendo assim, acreditamos que o uso dos parâmetros aqui discutidos constitui importante procedimento na produção e reunião de informações que subsidiem a investigação inicial de movimentação neotectônica de uma dada área, bem como são importantes na orientação e preparação das investigações a serem realizadas em campo.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A.E.; SILVA, T.M. **Como a drenagem dos rios interfere nas formas de relevo (parte 1)**. In: *Geomorfologia Geral*. Curso de Licenciatura em Geografia/Instituto de Geografia/UERJ.
- CEDERJ – Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro, 2013.
- ANDRADES FILHO, C.O. **Análise morfoestrutural da porção central da bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. Dissertação (Mestrado)**. Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 177p. 2010.
- BARBOSA, M.E.F.; VITAL, S.R.O.; LIMA, J.C.F.; FREITAS, G.M.A.; SANTOS, M.S.;
- FURRIER, M. **Aplicação do índice Relação Declividade-Extensão na bacia hidrográfica do rio Gurugi para detecção de deformações neotectônicas sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil**. *Geologia Colombiana*. v.36, n.1, p.123-133, 2011. Disponível em: www.revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/. Acessado em: 24.10.2013.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Perfil longitudinal de cursos de água**. In: CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial, v. I – O canal Fluvial*. Rio Claro: Edgard Blücher, p. 93-144, 1981.
- COX, R.T. **Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tiltblock tectonics: an example from the Mississippi Embayment**. *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.
- ETCHEBEHERE, M.L.; SAAD, V.J.; 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*. São Paulo. v. 4, p.43-56, 2004.
- FUJITA, R.H.; GON, P.P.; STEVAUX, J.C.; SANTOS, M.L.; ETCHEBEHERE, M.L. **Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR**. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 41, n. 4, p. 597-603, 2011.
- GUEDES, I.C.; SANTONI, G.C.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; STEVAUX, J.C.; MORALES, N.; SAAD, A.C. 2006. **Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Inácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas**. *Revista UNG – Geociências*. v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.
- HACK, J.T. **Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland**. *U.S.Geol.Survey Prof. Paper*. v. 259-b, p. 45-97, 1957.
- HACK, J.T. **Stream-profile analysis and stream-gradient index**. *U.S.Geol.Survey, Jour. Research*. v. 1, n. 4, p. 421-429. 1973.

- HARE, P.W; GARDNER, I.W. **Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins.** Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J.T (eds.) *Tectonic Geomorphology: Proceedings 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp.* Boston: Unwin, p. 76-104, 1985.
- LAURE, J.P. **Effects of tectonics and lithology on long profiles of 16 rivers of the southern Central Massif border between Aude and Ord (France).** *Geomorphology*. v. 93, p. 343-367, 2008.
- MELO, O.A.G.; DOUHI, N.; FRANÇA JR., P.; SANTOS, M.L. **Verificação da influência litoestrutural sobre a drenagem da bacia hidrográfica do Rio Baiano/Assis Chateaubriand-PR a partir da aplicação de variáveis morfométricas.** *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 3, p. 7-13, 2010.
- MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal.** Dissertação (mestrado). Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, 96p. 2005.
- MONTEIRO, K. A.; MISSURA, R.; SILVA, H. A.; CORREA, A. C. B. **Aplicação do índice de Hack – ou Relação Declividade Extensão (RDE) – na bacia do rio Traçunhaém, Pernambuco, Brasil.** *Revista de Geociências*, São Paulo, 2010, vol. 29, nº 4. Disponível em: http://ppegeo-local.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822010000400009&lng=es&nrm=iso. Acessado em: 10.abril.2014.
- MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M.S. **Mapa de dinâmica de erosão de bacias de drenagem: uma proposta metodológica de avaliação ambiental.** In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada. Curitiba, PR. vol. II. (cd-rom). 7p, 1997.
- PAES, T.V. **Indicadores geomórficos de controles litológicos e/ou estruturais a partir da análise de perfis longitudinais de canais fluviais - bacia do rio Guapi-Açu.** Monografia de final de curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 54p. 2013.
- PAES, T.V.; SILVA, T.M. **Parâmetros morfométricos e evidências de controles estruturais na história evolutiva da bacia do rio Guapi-Açu (Cachoeiras de Macacu, RJ).** In: *Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, RJ, cd-rom, p. 1-5, 2012.
- RECKZIEGEL, E.W.; ROBAINA, L.S. de S. **Estudo de parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da área situada entre os rios Jaguari e Ibicuí no município de São Vicente do Sul – RS.** In: *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Goiânia, GO, cd-rom, 11p., 2006.
- SALAMUNI, E.; EBERT, H.D.; HASUI, Y. **Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba.** *Revista Brasileira de Geociências*. v.34, p.469-478, 2004.
- SANTOS, L.F.F.; GUEDES, I.C.; ETCHEBEHERE, M.L.de C. **Análise neotectônica do pontal do Paranapanema (SP) mediante aplicação de parâmetros fluviomorfométricos.** *Geociências*. v.30, n.4, p. 491-507, 2011.
- SEEBER, L.; GORNITZ, V. **River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics.** *Tectonophysics*. v. 92, p.335-367, 1983.
- SILVA, T.M.; SANTOS, B.P. **Sistemas de drenagem e evolução da paisagem.** *Revista Geográfica Acadêmica*. v.4, n.1, p.5-19, 2010.
- SILVA, T.M.; PAES, T.V. **Perfis longitudinais de canais fluviais na análise evolutiva da paisagem.** In: *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Vitória, ES, cd-rom, p. 276-285, 2013.