

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA LITOLÓGICA E ESTRUTURAL A PARTIR DE MÉTODOS MORFOMÉTRICOS EM SEGMENTOS DE DRENAGEM NA PORÇÃO CIMEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA, MG

Fabício Antonio Lopes

Mestrando em Evolução Crustal e Recursos Naturais – Universidade Federal de Ouro Preto
fabricaoantoniolopes@gmail.com

Danielle Piuzana

Doutora em Geologia – Professora Adjunta da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
dpiuzana@yahoo.com.br

Valdiney Amaral Leite

Mestrando em Antropologia/Arqueologia – Universidade Federal de Minas Gerais
valdineyal@msn.com

Alcione Rodrigues Milagres

Mestranda em Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais
alcionemilagres@yahoo.com.br

Recebido em: 12/08/2015; Aceito para publicação em: 28/04/2016

RESUMO

O estudo do padrão de drenagem da porção cimeira da bacia hidrográfica do Jequitinhonha foi realizado neste trabalho tendo como objetivos: a) Correlacionar as direções dos canais fluviais e respectivas ordens hierárquicas às estruturas geológicas regionais; b) Verificar o grau de influência dos aspectos litológicos e estruturais no padrão de drenagem da bacia e c) Identificar estruturas que atuam como níveis de base locais em perfis longitudinais. Foram empregadas análises quantitativas de tratamento de direção dos canais fluviais e ordens hierárquicas, cálculo do índice RDE em segmentos pré-selecionados e análise de perfis longitudinais. Constatou-se significativa influência litológica e estrutural no padrão/direção dos canais fluviais identificadas como *Knickpoints* nos perfis longitudinais. Há segmentos de drenagem com anomalias de primeira e segunda ordem quanto ao índice RDE, o que reforça a influência das estruturas pré-cambrianas, reativadas no Cenozoico, no sistema hidrográfico da região. Acredita-se na potencialidade deste estudo como auxílio na caracterização, quantificação e fundamentação teórica de análises referentes ao processo evolutivo da paisagem e ao comportamento da rede de drenagem local.

Palavras-Chave: Hierarquização fluvial, Geologia Estrutural, índice RDE, Perfis Longitudinais.

LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL INFLUENCE ANALYSIS IN DRAINAGE SEGMENTS BY MORPHOMETRIC METHODS IN UPPER JEQUITINHONHA BASIN, MG

ABSTRACT

The study of the drainage pattern in the upper Jequitinhonha Basin was carried out in this paperwork regarding the following objectives: a) correlate the river directions and its hierarchical order channels to regional geological structures; b) assessing the influence of lithological and structural features in the drainage pattern of the basin and c) identifying structures that act as local background levels in longitudinal sections. Quantitative analysis of the fluvial channels and hierarchical orders, RDE index calculation in pre-selected segments and longitudinal section analysis were employed. The results show a significant lithological and structural influence in the pattern/direction of the fluvial channels identified as *Knickpoints* in the sections. Anomalies of first and second orders were observed in the drainage segments according to the RDE index, which reinforces the influence of Precambrian structures that were reactivated in the Cenozoic in the hydrographic system of the region. The importance of this study regards the possibility of aiding the characterisation, quantification and the theoretical foundation in the referred analysis of the landscape evolutionary process and the behaviour of the local drainage network.

Keywords: Fluvial hierarchy, Structural Geology, Stream Gradient Index, Longitudinal Profiles.

INTRODUÇÃO

Análises morfométricas em bacias hidrográficas são, normalmente, empregadas para avaliação de padrões de drenagem e deformações tectônicas crustais. Cursos d'água são considerados elementos muito sensíveis às deformações da crosta e por sua função relevante na geomorfologia, principalmente quanto à compreensão e elucidação de processos morfogenéticos ativos na esculturação da paisagem, tornam-se alvo de aplicações de índices numéricos. Estes, aliados às informações litológicas e estruturais de uma área, implicam em melhores interpretações do processo evolutivo da paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Consenso é de que o substrato rochoso é um fator determinante na simetria e geometria das bacias hidrográficas e conseqüentemente nas formas de relevo, porém, esta relação nem sempre tem sido fácil de ser estabelecida. Em meados de 1940, Robert E. Horton procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos d'água, utilizando uma abordagem quantitativa que lançou bases para trabalhos de cunho morfométrico e muito contribuiu para o entendimento da relação entre as bacias hidrográficas e os fatores que as condicionam, com destaque aos aspectos geológicos (TONELLO et al., 2006). A partir da década de 1950, novos parâmetros foram definidos e apresentados nos estudos de Freitas (1952), Strahler (1952, 1957), Schumm (1956), Tolentino et al. (1968), Christofolletti (1978, 1980) dentre outros.

Estudos utilizando parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas para detecção de deformações tectônicas crustais regionais são reconhecidos. Importantes contribuições foram Volkov et al. (1967), Hack (1973), Burnett e Schumm (1983), Seeber e Gornitz (1983), MeckKeown et al. (1988), Rhea (1989), Mayer (1992), Marple e Talwani (1993), Merritts e Hesterberg (1994), Boyd e Schumm (1995), Schumm e Spitz (1996) e Spitz e Schumm (1997) (ETCHEBEHERE et al., 2006, p. 271).

Contribuições similares às supracitadas são encontradas na literatura geológica e geomorfológica brasileira, como as de Björnberg (1969), um dos precursores dos estudos neotectônicos; Rodrigues e Suguio (1992) e Rodrigues (1993) voltados à região amazônica; Takiya (1997) na bacia sedimentar de São Paulo; e Etchebehere *et. al.* (2004), que empregou, na bacia do rio do Peixe, o índice relação declividade vs. extensão no intuito de identificar áreas de ocorrência de neotectônica (ETCHEBEHERE et al., 2006).

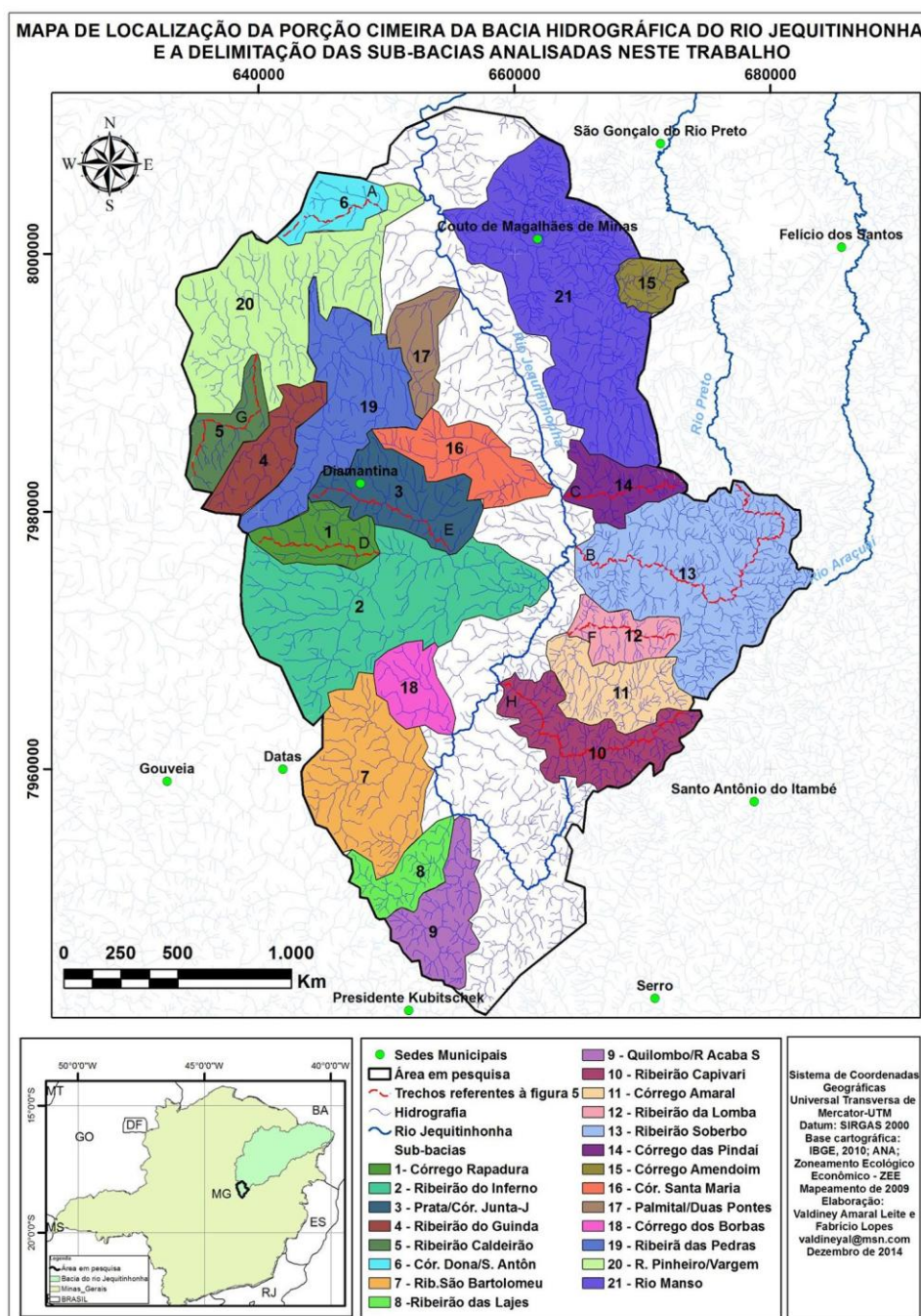
Na bacia do Alto Jequitinhonha, trabalhos de perfis longitudinais em redes de drenagem com o auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram realizados e indicam estreita relação entre a hidrografia e elementos lito-estruturais da região (FELIPPE et al., 2012; FONSECA et al., 2013; FONSECA e AUGUSTIN, 2014).

Neste trabalho, realizou-se uma análise detalhada na porção cimeira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e de suas sub-bacias por meio da hierarquização fluvial, obtenção de dados morfométricos e correlação de tais informações aos aspectos lito-estruturais regionais. Tais dados objetivam: a) Correlacionar as direções dos canais fluviais (das diversas ordens hierárquicas) com direções geológicas na forma de falhas, dobras, zonas de cisalhamento e alinhamentos estruturais; b) Verificar o grau de influência de aspectos litológicos e estruturais no padrão de drenagem da bacia pelo cálculo do índice "relação declividade vs. extensão" e c) Identificar os níveis de base locais através dos perfis longitudinais dos canais pré-selecionados.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA

A área deste estudo compreende a porção cimeira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais, e drena sobre territórios dos municípios de Diamantina, Datas, Couto Magalhães de Minas e Serro (Figura 1). Possui uma área total de dois mil quilômetros quadrados e é caracterizada como exorréica. Os cursos d'água possuem padrão de drenagem em treliça e retangular, quando drenam sobre rochas das formações basais do Supergrupo Espinhaço: São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Galho do Miguel e sobre diques e soleiras de rochas metabásicas (DOSSIN et al.,1990). Padrão dendrítico é comumente observado em cursos sobre rochas metapelíticas e metadiamicíticas do Grupo Macaúbas.

Figura 1. Mapa de localização da porção cimeira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e delimitação das sub-bacias analisadas neste trabalho. As letras correspondem aquelas da figura 5.



A extensão do rio Jequitinhonha no âmbito da área em pesquisa é de cerca de 100 quilômetros. Seus maiores afluentes na margem esquerda são o rio Pinheiro, ribeirões das Pedras e do Inferno enquanto que rio Manso, ribeirões Soberbo e Capivari encontram-se em sua margem direita. Do ponto de vista econômico, o rio Jequitinhonha concentra os aluviões portadores de diamante e ouro pelo fato de seccionarem extensivamente quartzitos e metaconglomerados diamantíferos da Formação Sopa-Brumadinho (FOGAÇA, 1997).

Para Saadi (1995), a Serra do Espinhaço Meridional compreende um grande conjunto de terras altas, com forma de bumerangue de direção N-S e convexidade para Oeste, resultado de processos tectônicos pré-cambrianos. Sua superfície apresenta falhas, fraturas e dobramentos. As falhas de empurrão possuem direção geral N-S e vergência para Oeste. Falhas normais e fraturas apresentam direções preferenciais ESE-WNW e ENE-WSW e dobramentos possuem eixos principalmente na direção N-S. Tais estruturas foram formadas em resposta ao esforço tectônico de sentido E-W relacionados à Orogenia Brasileira, no Neoproterozoico, e promovem o controle estrutural de drenagens na região (ROLIM, 1992).

A resistência diferenciada das diversas litologias frente aos processos denudacionais condicionam as formas de relevo na Serra do Espinhaço Meridional. Formações rochosas compostas predominantemente por quartzitos, tais como formações Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho sustentam as unidades de cristas e rochas mais friáveis, como metapelitos e gnaisses; comumente ocupam depressões que acompanham a direção geral da faixa serrana central (NNW-SSE) (REZENDE e SALGADO, 2011). Para estes autores, em trabalho realizado na porção sul da serra, o controle lito-estrutural só perde importância em sua borda Leste, onde o forte recuo erosivo dos afluentes do Rio Santo Antônio (Bacia do Rio Doce) criou uma série de reentrâncias e saliências topográficas discordantes do *trend* principal.

Segundo Augustin (1995 *apud* FONSECA e AUGUSTIN, 2014), a rede de drenagem da Serra do Espinhaço Meridional encontra-se intrinsecamente condicionada ao substrato geológico e suas estruturas pré-cambrianas. Os eixos dos dobramentos (anticlinais e sinclinais) são os principais organizadores da hidrografia regional, orientando os cursos d'água no sentido geral N-S. Demais estruturas geológicas como falhas transcorrentes, normais, fraturas e juntas de direção geral E-W também são relevantes na organização dos cursos fluviais. De forma subordinada, intrusões de rochas metabásicas tardi-tectônicas da Orogenia Brasileira e básicas do pós Brasileiro que, por serem mais friáveis, também são aproveitadas para o solapamento dos cursos d'água.

Evidências da influência neotectônica na geomorfogênese regional são explicitadas em vários trabalhos realizados na região. Rezende e Salgado (2011) afirmam que vales intensamente encaixados, terraços fluviais escalonados, gargantas e escarpas retilíneas na Serra do Cipó são feições geradas ao longo do Cenozoico por influência neotectônica. Neste sentido, a quantificação da concentração de isótopos cosmogênicos de ^{10}Be em sedimentos aluviais indica que no último 1,5 Ma o relevo na Serra do Espinhaço Meridional e suas proximidades tiveram a taxa de rebaixamento de 4,84 m/Ma podendo-se inferir que nos últimos 10Ma o relevo local rebaixou cerca de 48,4m (BARRETO, 2012). Para Fonseca e Augustin (2014) a influência cenozoica manifesta-se por meio da erosão linear acelerada tais como processos erosivos do tipo voçorocas na região de Gouveia que, ao atingir o lençol freático, passam a contribuir diretamente com água e sedimentos nos canais fluviais. Estudo do desenvolvimento de cavidades quartzíticas nas proximidades de Diamantina também indicam o controle morfotectônico recente (SOUZA e SALGADO, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho, além da revisão bibliográfica, consistiu em: (a) Tratamento das direções dos cursos d'água em ordens hierárquicas e correlação com direções de estruturas geológicas; (b) Cálculo do índice RDE (Relação Declividade vs. Extensão) em trechos de drenagem com extensão maior que 10 km e correlação com dados lito-estruturais regionais e; (c) Confecção de perfis longitudinais de canais fluviais com índices RDE elevados e inserção de curvas de melhor ajuste para identificação de anomalias. As etapas metodológicas serão detalhadas abaixo.

HIERARQUIZAÇÃO FLUVIAL E ANÁLISE DO CONTROLE LITOLÓGICO E ESTRUTURAL

Esta etapa consistiu no decalque da rede hidrográfica da área, compartimentada em sub-bacias, em papel *overlay*, utilizando as cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em escala 1:100.000 das folhas Diamantina, Rio Vermelho, Presidente Kubitschek e Serro, conforme Lopes et al. (2012) e Milagres et al. (2012; 2013).

A Hierarquização dos cursos fluviais seguiu a metodologia de Strahler (1957 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980). Direções de drenagem em cada ordem hierárquica da bacia foram levantadas, tratadas e plotadas na forma de diagramas de roseta no *software Stereonet*® versão 8.

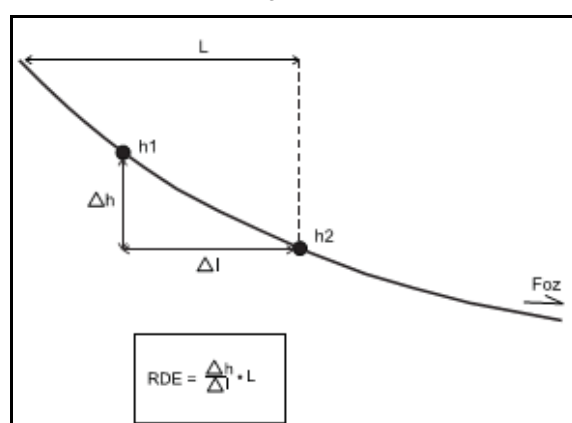
Houve a sobreposição do decalque da rede de drenagem aos mapas geológicos na mesma escala, folhas Diamantina, Rio Vermelho, Presidente Kubitschek e Serro (GROSSI SAD et al., 1997) a fim de correlacionar estruturas geológicas e/ou tipos de rochas e direções de drenagem nas diversas ordens hierárquicas.

CÁLCULO DO ÍNDICE RELAÇÃO DECLIVIDADE VS. EXTENSÃO (RDE)

O índice Relação Declividade vs. Extensão (RDE) relaciona a capacidade de erosão e transporte de carga sedimentar com a declividade e volume de água que, por sua vez, é proporcional ao comprimento da drenagem (ETCHEBEHERE et al., 2006). É possível, portanto, identificar alterações/anomalias no curso de um rio estabelecendo diferentes graus de influência de controles estruturais na paisagem (SILVA e PAES, 2013). Tal índice pode indicar rios com caudal expressivo, variações reológicas, controle estrutural e neotectônica. O índice aumenta quando o rio drena sobre rochas mais resistentes ou em áreas de falhas e diminui quando flui por rochas mais friáveis.

O índice RDE pode ser calculado para toda extensão de um rio considerando sua amplitude altimétrica e o logaritmo natural de sua extensão total (MCKEOWN et al., 1988 *apud* ETCHEBEHERE et al., 2006). O cálculo do índice RDE para segmento de um rio pode ser feito em estudos regionais, conforme figura 2.

Figura 2. Parâmetros utilizados no cálculo RDE para determinado segmento de um canal de rio. L é o comprimento entre a cabeceira e a parte inferior do segmento em análise; Δh é a diferença de altitude entre a cota superior e a cota inferior do segmento e Δl é a projeção do comprimento de drenagem do segmento.



Fonte: Etchebehere et al. (2004, p. 49).

A obtenção do índice RDE neste trabalho seguiu o procedimento metodológico no qual setores de anomalias são gerados pela divisão do RDE dos segmentos pelo RDE total (SEEBER e GORNITZ, 1983 *apud* SILVA e PAES, 2013). Assim, segmentos de anomalia de primeira

ordem apresentam índices RDE superiores a 10 indicando forte controle estrutural; segmentos de segunda ordem, ou médio controle estrutural, possuem valores entre 2 e 10 e segmentos sem anomalia com valores entre 0 e 1,99 são indicativos de ausência de controle estrutural.

Índices de RDE Total e dos Segmentos foram obtidos para trechos de drenagens das sub-bacias com extensão superior a dez quilômetros assim como para o rio Jequitinhonha. Extensões foram medidas com curvímeter digital *Oregon Scientific*, modelo MR380, a partir das cartas topográficas. Os valores obtidos foram transcritos em planilhas do *Microsoft Excel* e espacializados ao longo da área de estudo utilizando o *software ArcGis 9.3*[®]. Mapas geológicos correspondentes à área foram utilizados na interpretação dos índices.

CONFEÇÃO DE PERFIS LONGITUDINAIS

Perfis longitudinais seguiram metodologia proposta em Leopold et al. (1964) e foram feitos para trechos das sub-bacias que apresentaram índices RDE de primeira e segunda ordem. A elaboração dos perfis baseou-se nas cartas topográficas supracitadas. Dados altimétricos foram utilizados a partir das curvas de nível em intervalo de 2 km.

Perfis longitudinais assim como as curvas teóricas (representativas de perfil em equilíbrio dinâmico) foram confeccionados no *Software Origin 8.5*[®]. Curvas teóricas baseiam-se na relação entre a distância de um determinado ponto com relação à cabeceira e seu respectivo logaritmo (LEOPOLD et al., 1964). *Knickpoints* (níveis de base local) foram inferidos em pontos dos perfis naturais que apresentaram distanciamento considerável em relação às curvas teóricas. Os mapas geológicos da área também serviram de embasamento nessa etapa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

HIERARQUIZAÇÃO FLUVIAL E ANÁLISE DO CONTROLE LITOLÓGICO E ESTRUTURAL

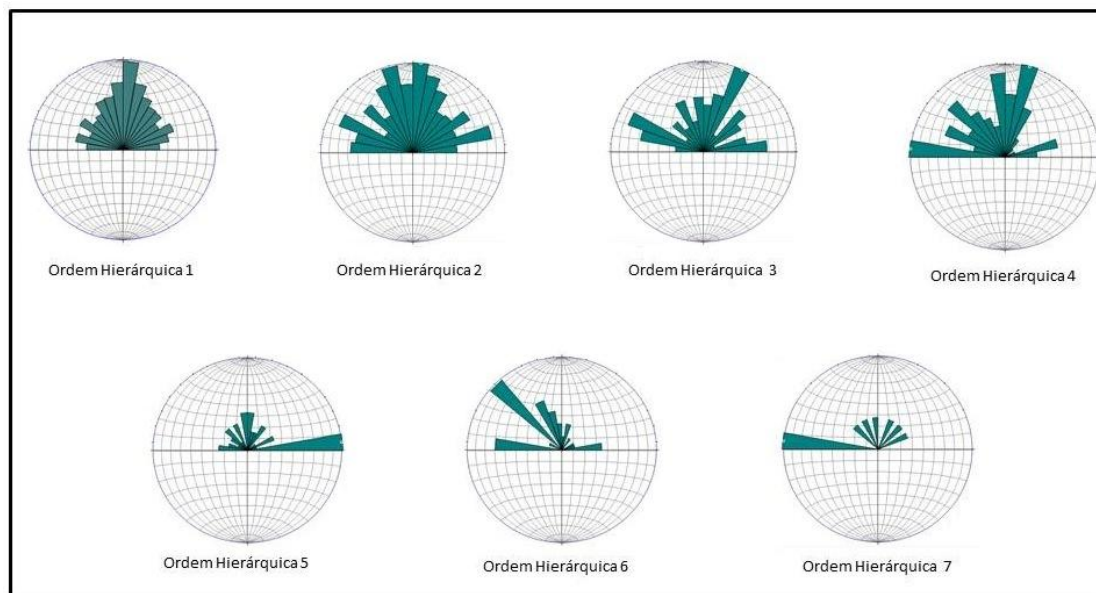
Considerando a linha geral do escoamento dos cursos de água, pode-se afirmar que os canais fluviais da porção cimeira da bacia do rio Jequitinhonha são subseqüentes pois suas direções são, na maioria das vezes, controladas por estruturas geológicas ou por zonas de fraqueza (CHRISTOFOLETTI 1980).

Os diagramas de roseta contêm dados referentes às direções dos segmentos de drenagem da porção cimeira da bacia do rio Jequitinhonha em suas diversas ordens hierárquicas (Figura 3). Tendo por base tais direções e sua correlação com os mapas geológicos pode-se afirmar:

- a) A ordem hierárquica 1 é representativa de três direções preferenciais: N1W a N10W, N1E a N10E e N11E a N20E, as quais correlacionam-se a falhas normais, de empurrão e eixos de caimento das anticlinais e sinclinais de direção preferencial N-S.
- b) A ordem hierárquica 2 caracteriza-se por drenagens nos intervalos de direções N1E a N10E e N11W a N20W, também condicionadas a falhas normais, de empurrão e a eixos de caimento das anticlinais e sinclinais de direção preferencial N-S.
- c) Canais fluviais de ordem hierárquica 3 possuem direção preferencial N21E a N30E, relacionados a falhas normais e de empurrão de direção SW-NE.
- d) A hierarquia dos trechos de ordem 4 apresenta intervalos as direções preferenciais de N81W a N90W e N11E a N20E. O primeiro é influenciado por falhas normais e de empurrão de direção E-W enquanto o segundo correlaciona-se a falhas de empurrão, falhas normais e zonas de contato litológico de direção N-S.
- e) A ordem hierárquica 5 é representada pelo intervalo N81E a N90E como direção preferencial, condicionada pelas falhas normais e de empurrão de direção E-W.
- f) Os trechos de ordem hierárquica 6 condicionam-se no intervalo de direção N41W a N50W indicando forte influência das falhas normais e de empurrão de direção SW-NE.
- g) Os trechos de ordem hierárquica 7 apresentam maior representação no intervalo de direção N81W a N90W, condicionados diretamente a elementos estruturais E-W (assim como trechos de ordem 4, importante direção regional da Serra do Espinhaço Meridional).

Pela sobreposição do mapa de segmentos de drenagem e mapa geológico é possível constatar que para todas as ordens hierárquicas analisadas a maior parte dos trechos apresenta-se em áreas de falhamentos.

Figura 3. Diagramas de Rosetas com as direções dos canais fluviais em suas diversas ordens hierárquicas para porção cimeira da Bacia do rio Jequitinhonha.



Evidencia-se, portanto, a influência litológica e estrutural regional na rede de drenagem da bacia. As influências identificadas neste trabalho se encaixam naqueles citados por Augustin (1995 *apud* FONSECA e AUGUSTIN, 2014) tais como captura por sinclinais e anticlinais (N-S) nos trechos de ordem hierárquica inferior (1, 2 e 3) e, por falhas normais, transcorrentes e fraturas (E-W), nos canais fluviais de ordem hierárquica superior (4,5, 6 e 7). Estudo em feições cársticas na Serra do Espinhaço Meridional realizado por Souza e Salgado (2014) corrobora a importância da geologia estrutural da região: direção preferencial dos condutos (NE-SW) é concordante principalmente com a direção dos planos de fratura (NE-SW) e com a direção e mergulho dos planos de acamamento (NW-SE).

Fonseca e Augustin (2014) equiparam, ainda, a direção de lineamentos estruturais aos comprimentos dos principais canais, também evidenciado neste trabalho. Para os autores há maior correlação da rede hidrográfica aos lineamentos morfoestruturais quando são retiradas da análise drenagens de ordens hierárquicas inferiores; neste trabalho há nítida correlação também para os canais de ordem hierárquica 1, principalmente pelos eixos das sinclinais, anticlinais e lineamentos estruturais (mapeados como falhas normais) de direção N-S.

CÁLCULO DO ÍNDICE RELAÇÃO DECLIVIDADE VS. EXTENSÃO (RDE) E CORRELAÇÃO LITO-ESTRUTURAL

Trechos de drenagens na área de estudo com extensão igual ou superior a 10 km foram analisados e compartimentados em 21 sub-bacias (Tabela 1).

Índices RDE com valores abaixo de 2 indicativos de inexistência de controle litológico e/ou estrutural foram encontrados nos trechos das sub-bacias dos córregos São Bartolomeu e Piçarras assim como do rio Manso.

Várias anomalias com índices RDE de primeira e segunda ordem foram identificadas e espacializadas na figura 1 e 4.

Na figura 5 são representados gráficos de valores de RDE Segmento/RDE Total cotejados às unidades litológicas e estruturais sulcadas por cursos d'água, pré-indicados na figura 1. Trechos de cursos foram levantados em sub-bacias dos ribeirões Capivari, Lomba, Soberbo e córregos das Pindaibas, Rapadura, Caldeirão, da Prata e da Dona/Santo Antônio.

Tabela 1. Sub-bacias da porção cimeira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha com extensão superior a 10 km e suas respectivas variáveis utilizadas no cálculo do índice Relação Declividade Extensão.

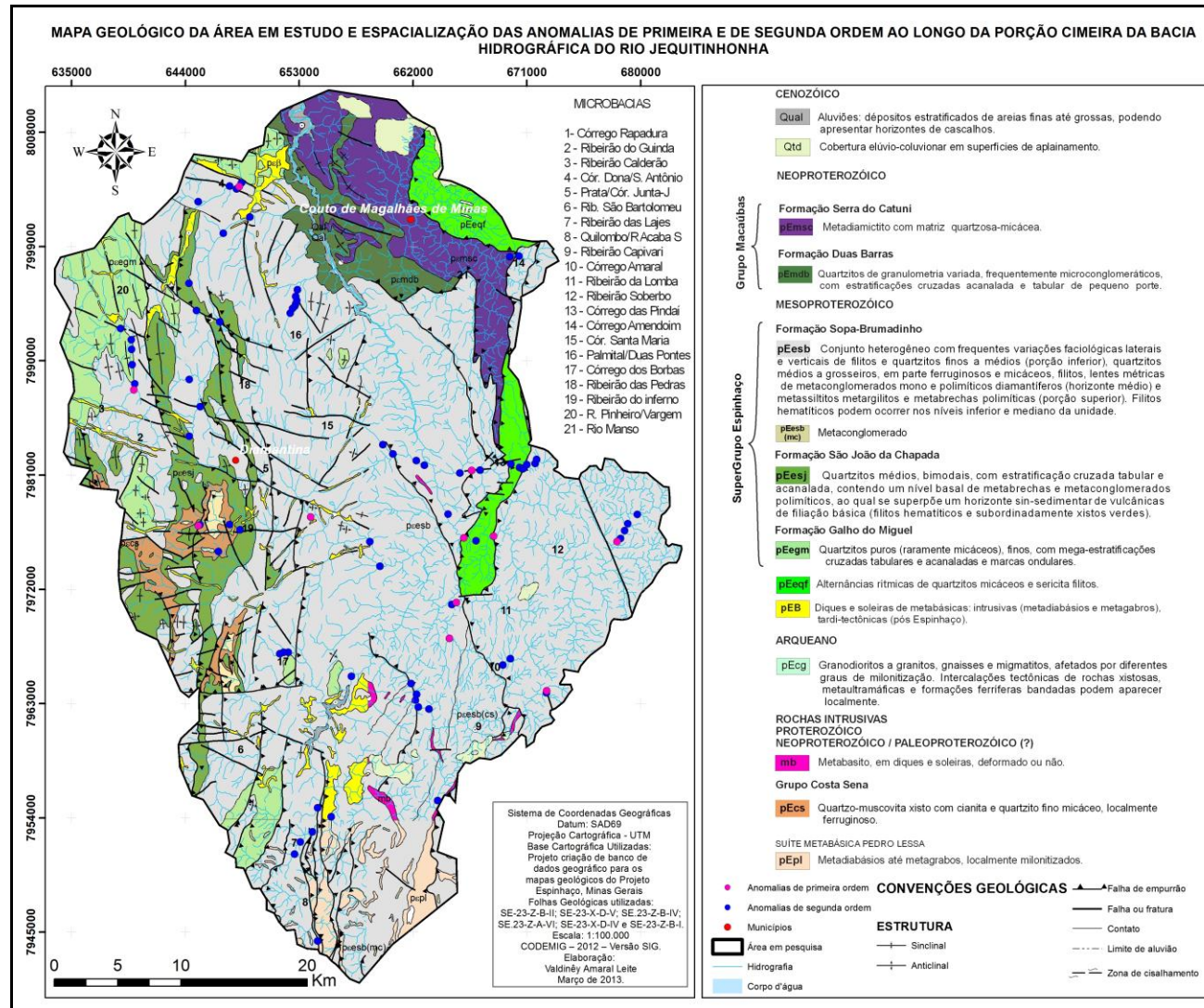
Sub-bacias	Extensão (m)	Cota da Cab.**	Cota da foz**	Amplitude**
Córregos da Dona e Santo Antônio	11,59	1.250	700	550
Rio Pinheiro/Vargem Pombas	33,60	1.300	700	600
Ribeirão das Pedras	25,78	1.400	900	500
Ribeirão Caldeirão	16,14	1400	950	450
Ribeirão do Guinda	13,40	1.400	1.100	300
Córrego Rapadura	10,88	1.400	950	450
Ribeirão do Inferno	28,60	1.400	750	650
Córregos Prata e Junta-Junta	15,00	1.350	950	400
Ribeirão São Bartolomeu	15,50	1.250	900	350
Ribeirão das Lajes	15,00	1.300	900	400
Córrego Quilombo e Rio Acaba Saco	18,00	1.250	950	300
Ribeirão Capivari	22,80	1.600	850	750
Córrego Amaral	13,20	1.600	800	800
Ribeirão da Lomba	13,33	1.300	800	500
Ribeirão Soberbo	40,00	1.650	750	900
Córrego das Pindaibas	15,00	1.600	730	870
Córrego Amendoim	12,00	1000	750	250
Rio Manso	32,20	1.150	700	450
Córrego Santa Maria	17,00	1.400	700	700
Córregos. Palmital e Duas Pontes	12,48	1.300	700	600
Córrego dos Borbas	10,82	1.300	900	400

* Medidas em quilômetros

** Medidas em metros

Análise da Influência Litológica e Estrutural a Partir de Métodos Morfométricos em Segmentos de Drenagem na Porção Cimeira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, MG.

Figura 4. Mapa geológico da área em estudo e espacialização das anomalias de primeira e de segunda ordem ao longo da porção cimeira da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha



No trecho córrego da Dona/córrego Santo Antônio, Norte da área de estudo (Figuras 1 e 4), valores de RDE aumentam progressivamente de 1,79 até alcançar 19,64, indicando um forte grau de controle estrutural, quando o córrego passa a drenar em área de lineamento estrutural (falha normal) (Figura 5a).

O ribeirão Soberbo, localizado a Leste da área de estudo, possui três segmentos delimitados por anomalias de primeira ordem (Figura 5b). A primeira anomalia ocorre quando a drenagem percorre área de falha normal, com índice RDE de 10,12, indicando forte controle estrutural. As demais anomalias ocorrem em trechos que o ribeirão drena por litotipos diferenciados: de rochas da Formação Sopa-Brumadinho (mais resistentes) para rochas alternadas por quartzitos micáceos e filitos sericíticos (mais friáveis). O índice RDE alcança o valor de 10,32 no referido contato geológico. A jusante, o ribeirão passa a drenar novamente sobre litotipos da Formação Sopa-Brumadinho ponto em que o índice RDE alcança 67,22, o maior registrado para área em estudo.

Importante ressaltar que a porção mais a Leste da área de estudo possui maiores evidências em campo de deformação das rochas (ROLIM, 1992).

Trechos do córrego das Pindaíbas (Figura 5c) e ribeirão da Lomba (Figura 5f), também localizado a Leste da área de estudo, apresentam anomalias de primeira ordem, com índices RDE de 12,80 e 16,61 respectivamente, em pontos nos quais drenam sobre estruturas do tipo falha normal e zona de cisalhamento em rochas da Formação Sopa Brumadinho, o que implica em forte controle estrutural.

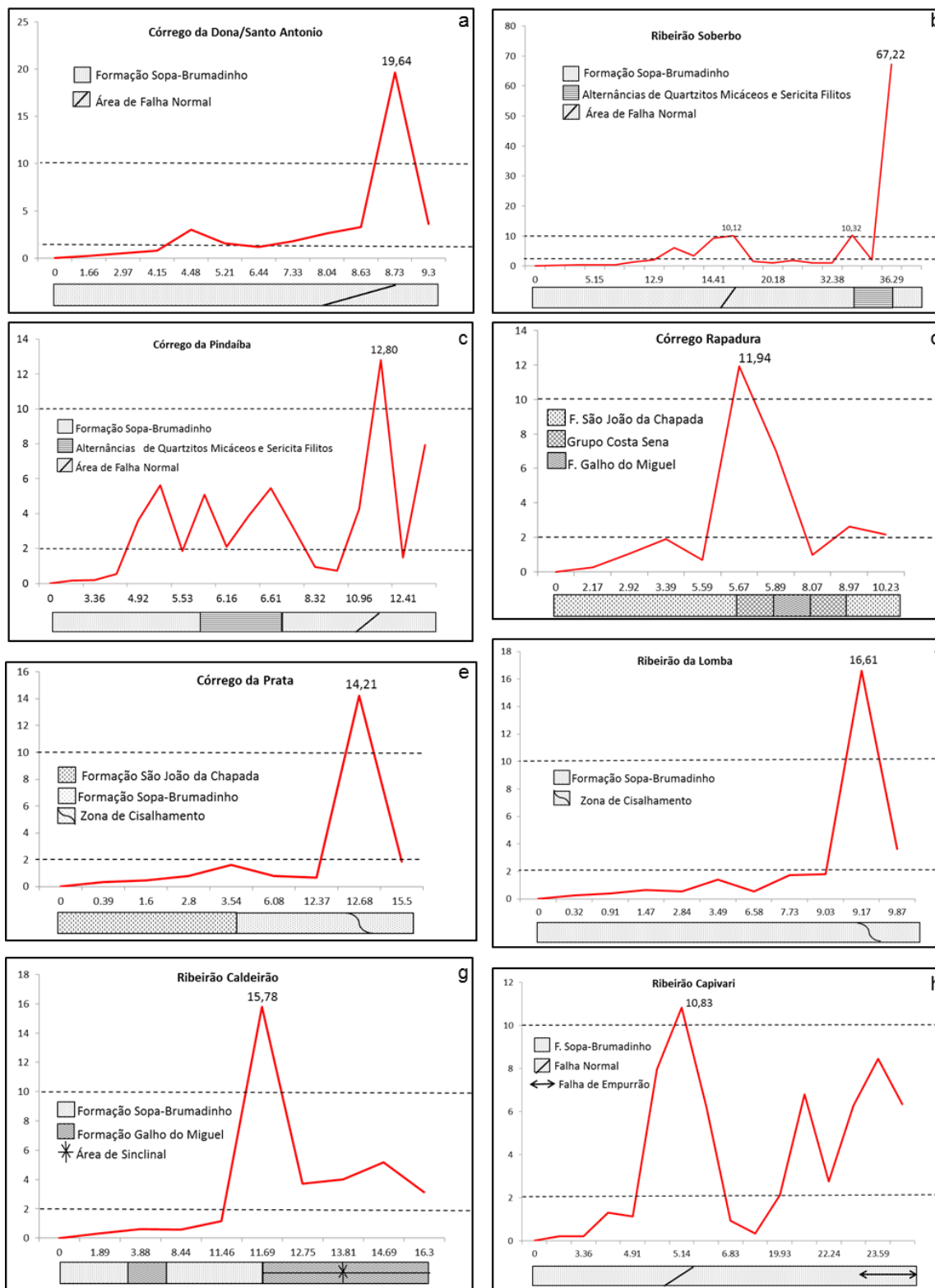
Os trechos do córrego Rapadura (Figura 5d) e córrego da Prata (Figura 5e), localizados a Oeste da área, apresentam anomalias de primeira ordem, com índices RDE de 11,94 e 14,21 respectivamente, que podem ser explicados pelo solapamento em áreas mapeadas como zonas de cisalhamento, indicando o componente estrutural como mais relevante.

O ribeirão Caldeirão, em segmento entre as cotas altimétricas 1200-1150 metros, apresenta índice RDE de 15,78 no momento em que seu curso inflete no sentido de eixo de um sinclinal. Os demais segmentos contidos entre as cotas 1150-950 apresentam anomalias de segunda ordem, implicando em um importante controle estrutural (sinclinal) no padrão de drenagem do trecho analisado (Figura 5g).

Para o ribeirão Capivari o índice RDE alcança valor máximo de primeira ordem de 10,83 e valor de segunda ordem de 8,45 quando perpassa por lineamento estrutural e uma falha de empurrão, respectivamente (Figura 5h).

A quantificação por meio do índice RDE resultou em dados indicativos de controle estrutural e litológico para vários dos trechos analisados. Esta influência ocorre por falhas, dobras e contatos litológicos existentes na área que, por se tratarem de zonas de fraqueza pré-cambrianas, foram áreas reativadas no Cenozoico.

Figura 5. Gráficos de valores da relação entre RDE Segmento/RDE Total (eixo das ordenadas) e extensão a partir da cabeceira (eixo das abscissas) de trechos selecionados com anomalias de primeira e segunda ordem. Abaixo do eixo de ordenada foram representadas unidades litológicas e estruturas sulcadas pelo curso d'água; a linha horizontal auxiliar demarca os limiares para anomalias de primeira ordem (RDE segmento/RDE total > 10) e segunda ordem (2 ≤ RDE segmento /RDE total ≥ 10).



CONFEÇÃO E ANÁLISE DOS PERFIS LONGITUDINAIS

O perfil longitudinal de um curso d'água é uma importante característica morfométrica que leva em consideração sua declividade, uma relação entre a altitude e o seu comprimento a partir da cabeceira até o ponto onde deságua, seja no oceano ou em um nível de base local (ETCHEBEHERE et al., 2004, p.47). De forma geral, perfis longitudinais apresentam-se em equilíbrio quando o transporte e deposição de sedimentos encontram-se em uma relação de sinergia; caso contrário diz-se que o rio possui anomalias ou está em desequilíbrio (muitas vezes representadas por níveis de base locais).

Quando em desequilíbrio é possível identificar em perfis longitudinais níveis de base locais, conhecidos como *knickpoints* (BJORNBERG, 1969; 1992 *apud* GUEDES et al., 2006. Estes ocorrem principalmente devido à: a) confluência com trechos de caudal forte; b) variação da resistência litológica; c) variação eustática (erosão remontante por modificação forte no nível de base) e d) deformações tectônicas ou neotectônicas; características de mudanças no entalhamento da talvegue sugerindo a busca por um equilíbrio dinâmico. Dada sua importância em estudos geológicos e geomorfológicos, confeccionou-se perfis longitudinais que configuraram trechos com anomalias de primeira e segunda ordem. Foram selecionados, para esta análise: a) o rio Jequitinhonha; b) ribeirão Soberbo; c) córrego Pindaíba e d) córrego da Prata/ribeirão Junta-Junta (Figuras 6, 7, 8 e 9).

O perfil longitudinal do rio Jequitinhonha reflete um estado de forte reajuste, evidenciado pela nítida distância entre os perfis natural e teórico de equilíbrio (Figura 6).

O ribeirão Soberbo (Leste da área de estudo) apresenta anomalias de primeira e segunda ordem em função de contatos geológicos entre rochas quartzíticas da Formação Sopa Brumadinho, quartzitos micáceos e filitos sericíticos assim como em função de lineamentos estruturais (Figura 5b). Seu perfil longitudinal é marcado por acentuados *Knickpoints*, o que implica em distanciamento do equilíbrio dinâmico (Figura 7). Semelhante ao ribeirão Soberbo, o perfil longitudinal do córrego Pindaíba (Figura 8) também configura-se distante do perfil de equilíbrio com características semelhantes a do ribeirão Soberbo, no qual há ocorrência de *knickpoints* em função de áreas de contato litológico (cota 1000) e falha normal (cota 800).

Segmentos do córrego da Prata e ribeirão Junta-Junta apresentam um distanciamento do atual canal fluvial com relação à curva teórica de equilíbrio em áreas nas quais passam a drenar zonas de cisalhamento, o que implica em influência estrutural do canal (Figura 9).

Parte dos resultados deste trabalho corroboram resultados de Fonseca et al. (2013) no qual análise dos perfis dos afluentes das duas margens do Rio Jequitinhonha apresentam intensa dissecação atual, principalmente na borda Leste. Dados físico-químicos em águas superficiais (BARRETO et al., 2012) apontam a existência de um processo de denudação diferencial entre as bordas Leste (3,72 ton/km²/ano) e Oeste (2,41 ton/km²/ano) da Serra do Espinhaço Meridional, explicadas pelo maior desnível nas sub-bacias do rio Jequitinhonha que atinge 450 metros, como também pela tectônica recente. Para os autores, a maior capacidade erosiva encontrada na bacia do Jequitinhonha em função de um maior desnível é conhecida e também foi verificada por Salgado et al. (2004) no Quadrilátero Ferrífero que identificou potencial erosivo mais agressivo em bacias com maior desnível topográfico e mais elevadas em relação a seu nível de base.

A análise dos perfis longitudinais permite fazer de forma simples um estudo importante e necessário das características litológicas e estruturais de uma determinada bacia. A inserção das curvas teóricas de equilíbrio propostas por Leopold et al. (2006) tornaram o trabalho mais interessante, uma vez que acrescentam um parâmetro comparativo do perfil do rio em seu equilíbrio dinâmico.

Figura 6. Perfil longitudinal natural do rio Jequitinhonha e o perfil teórico de equilíbrio com nítida distância entre o perfil natural e o perfil teórico de equilíbrio dinâmico.

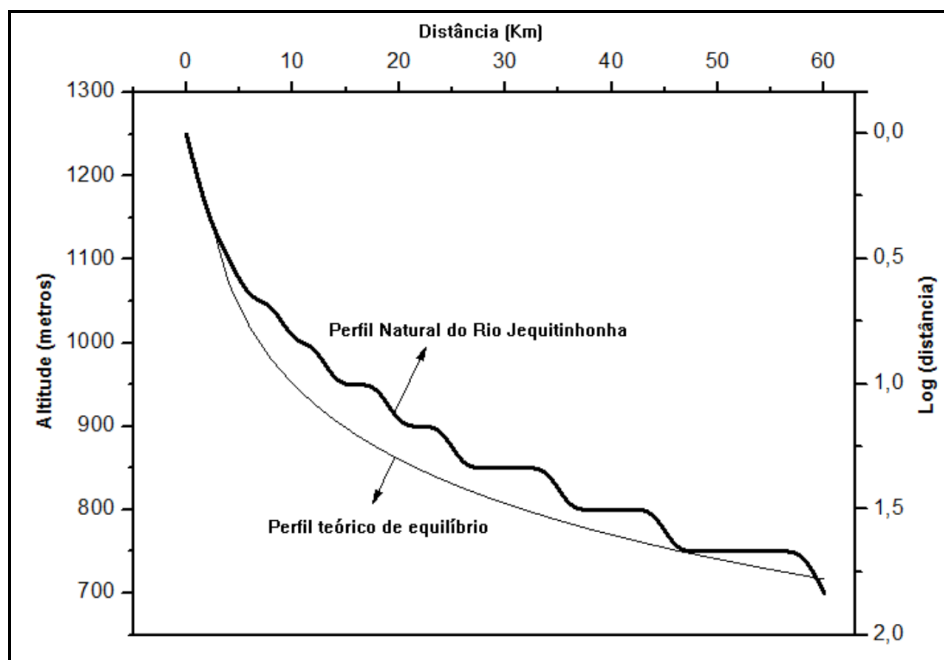


Figura 7. Perfil longitudinal do ribeirão Soberbo com discrepâncias entre seu perfil natural e o perfil teórico de equilíbrio.

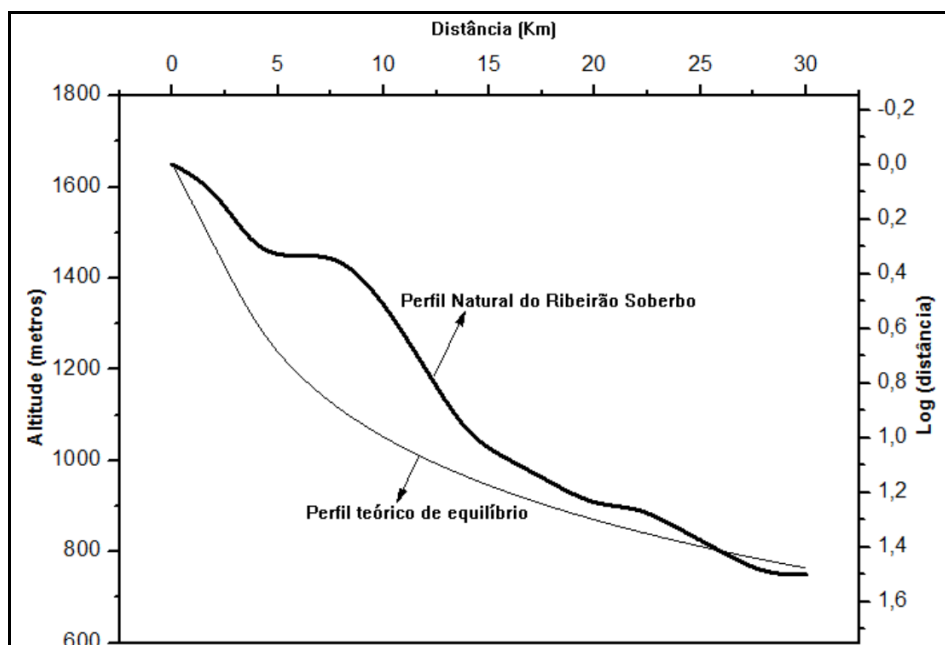


Figura 8. Perfil longitudinal do Córrego Pindaíba com níveis de base locais (*knickpoint*) gerados pela busca de equilíbrio.

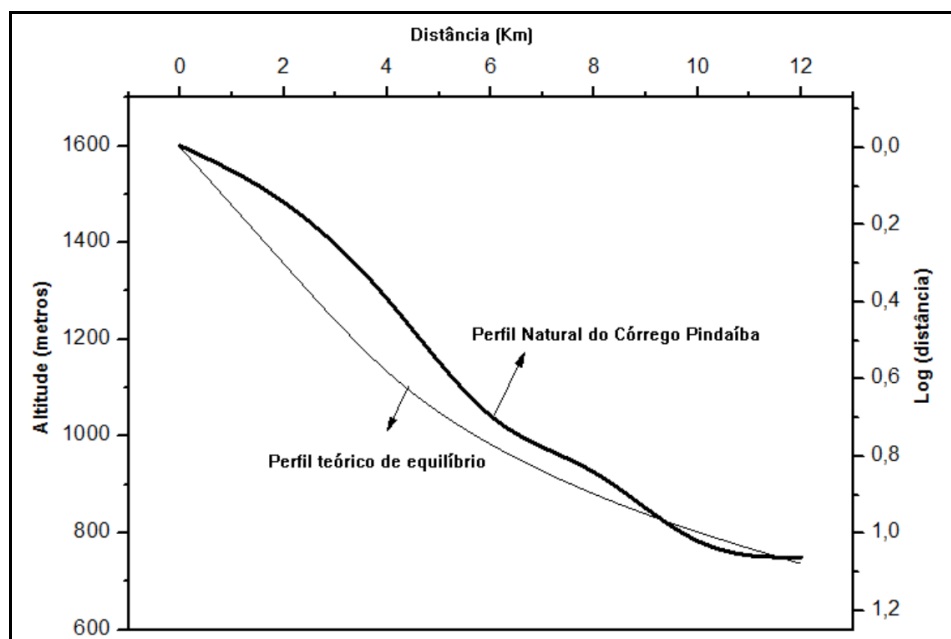
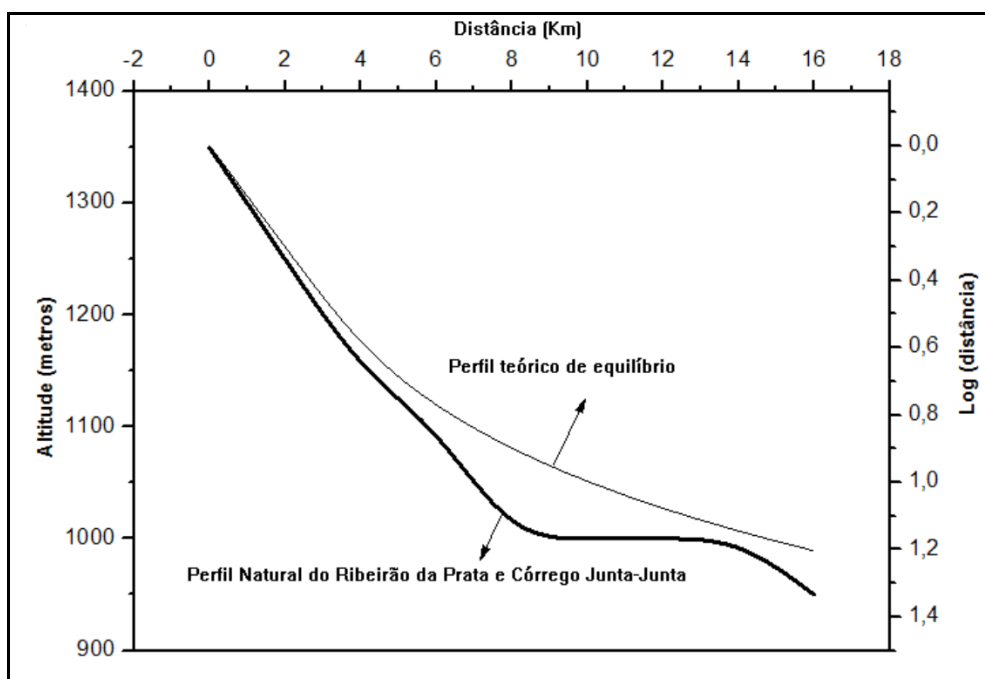


Figura 9. Perfil natural do córrego da Prata e ribeirão Junta-Junta apresentando maior distanciamento do perfil teórico de equilíbrio na cota altimétrica 1000.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas metodológicas e consequentes resultados deste trabalho foram de grande valia no levantamento de informações que correlacionam aspectos lito-estruturais e controle neotectônico ao padrão de drenagem na porção cimeira da bacia do rio Jequitinhonha. Foi possível elencar, quantificar e localizar os segmentos direcionados/condicionados pelos aspectos estruturais e litológicos da área.

De modo geral, ao correlacionar as ordens hierárquicas dos segmentos de drenagem aos aspectos litológicos e estruturais, constatou-se influências na organização espacial da calha principal do rio Jequitinhonha (representado pelas ordens hierárquicas superiores) e suas sub-bacias (representadas pelas ordens hierárquicas inferiores). O condicionamento se dá, principalmente, por parte de estruturas na forma de lineamentos estruturais tais como falhas de empurrão reativadas e eixos de caimento de sinclinais e anticlinais. Tais estruturas pré-cambrianas constituem zonas de fraqueza e são áreas prioritárias de controle morfotectônico ao longo do Cenozoico pela neotectônica.

Quanto ao índice RDE e sua relação com o substrato geológico verificou-se a presença de anomalias de primeira ordem principalmente em áreas de contato litológico e anomalias de segunda ordem onde há solapamento por estruturas geológicas.

Na análise dos perfis longitudinais constatou-se para a área de uma forma geral diversos *knickpoints* e fortes discrepâncias entre perfis naturais dos cursos de drenagem e suas respectivas curvas teóricas de equilíbrio, sugerindo forte reajuste dos cursos fluviais.

O levantamento de índices numéricos configura uma metodologia simples, prática e barata para classificação das redes de drenagem e contribui para interpretações acerca do real papel do substrato geológico na organização dos canais fluviais de uma bacia hidrográfica. Acredita-se ainda que o conjunto de informações aqui levantadas da porção cimeira da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha é de grande relevância na análise do processo evolutivo da paisagem.

AGRADECIMENTOS

Fabrizio Antonio Lopes e Alcione Rodrigues Milagres agradecem à bolsa de iniciação científica do REUNI/UFVJM concedida no período de realização desta pesquisa. Fabrizio Antonio Lopes, Alcione Rodrigues Milagres e Valdinêy Amaral Leite agradecem a CAPES pela atual bolsa de mestrado. Os autores agradecem ao Rommel Machado, responsável pela biblioteca Reinhardt Pflug da Casa da Glória, IGC/UFMG, pelo apoio com materiais consultados. Os autores agradecem ao professor Marcelino Santos de Moraes pelas contribuições científico-metodológicas durante todo período de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AUGUSTIN, C.H.R.R. et al. Análise de perfis longitudinais na bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha-Serra do Espinhaço Meridional/MG. **Revista Territorium Terram**, v. 1, n. 2, p. 2-8, 2013.

BARRETO, H.N. et al. Estudo das taxas de denudação química da Serra do Espinhaço Meridional (MG), com base na carga catiônica dissolvida. **Geociências**, v. 31, n. 4, 2012.

BARRETO, H.N. et al. Denudation rates of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil, determined by in situ-produced cosmogenic beryllium-10. **Geomorphology**, v. 191, n. 1, p. 1-13, 2013.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 188p. 1980.

DOSSIM, I.A. et al. Compartimentação Estratigráfica do Supergrupo do Espinhaço em Minas Gerais – Os Grupos Diamantina e Conselheiro Mata. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 178-186, 1990.

ETCHEBEHERE, M.L.C. et al. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. São Paulo, USP, **Geol. USP Sér. Cient.**, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

ETCHEBEHERE, M.L.C. et al. Detecção de Prováveis Deformações Neotectônicas no Vale do Rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, Mediante Aplicação de Índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em Segmentos de Drenagem. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 25, n. 3, p. 271-287, 2006.

FOGAÇA, A.C.C. **Geologia da Folha Diamantina**. In: GROSSI-SAD, J.H. LOBATO, L.M. PEDROSA-SOARES, A.C. SOARES-FILHO, B.S. (coordenadores e editores). PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais. p. 1575-1665, 1997.

FONSECA, B.M.; AUGUSTIN, C.H.R. Análise Morfométrica de Bacias de Drenagem e sua Relação com a Estrutura Geológica na Serra do Espinhaço Meridional - MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 2014.

GROSSI-SAD, J.H. et al. **Projeto Espinhaço em Cd-Rom**. Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1997.

GUEDES, I.C. et al. Análise de Perfis Longitudinais de Drenagens da Bacia do Rio Santo Anastácio (SP) para Detecção de Possíveis Deformações Neotectônicas. **Revista UnG, Geociências**, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.

KING, L.C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro. v.18, n. 2, p. 147-256, 1956.

LEOPOLD, L.B. et al. **Fluvial processes in geomorphology**. Freedman, San Francisco, p. 319, 1964.

LOPES, F.A. et al. Análise da Influência Litoestrutural no Padrão de Drenagem das Bacias Hidrográficas da Porção Oriental da Folha Diamantina, MG. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia, **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.

LOPES, F.A. et al. Análise Morfométrica de Perfis Longitudinais: Um Estudo de Caso das Microbacias dos Ribeirões do Inferno e das Varas, Serra do Espinhaço Meridional, MG. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** Vitória, p. 746-752, 2013.

MILAGRES, A.R. et al. Análise do condicionamento Litoestrutural da hidrografia da Porção Oeste da Folha Diamantina, MG. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia, **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.

MILAGRES, A.R. et al. Análise do condicionamento Litoestrutural da hidrografia da Folha Corinto, MG. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** Vitória, p. 894-901, 2013.

REZENDE, E.A.; SALGADO, A.A.R. Mapeamento de Unidades de Relevo na Média Serra do Espinhaço Meridional- MG. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, n. 30, p. 45-60, 2011.

ROLIM, V.K. Uma Interpretação das Estruturas Tectônicas do Supergrupo Espinhaço, baseadas na Geometria dos Falhamentos de Empurrão. **Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 45, p. 75-77, 1992.

SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas Margens. Belo Horizonte, **Geonomos**, v. 1, n. 3, p. 41-63, 1995.

SALGADO A.A. et al. O Papel da Denudação Geoquímica no Processo de Erosão Diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n.1, p.55-69, 2004.

SILVA, T.M.; PAES, T.V. Perfis Longitudinais de Canais Fluviais na Análise Evolutiva da Paisagem. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** Vitória, p. 276-285, 2013.

SOUZA, F.; SALGADO, A. Caracterização das Feições Exocársticas e Fluvicársticas Desenvolvidas em Quartzitos na Região Sudeste de Diamantina/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, América do Norte, v.7, n.1, p. 55-65, 2014.

TONELLO, K.C. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.