

CONDICIONAMENTO LITOLÓGICO E TECTÔNICO NA MORFOMETRIA DA BACIA DO RIO CONCEIÇÃO – QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG

Luiz Fernando de Paula Barros ¹; Pedro Henrique Corrêa de Araújo Barros ²; Antônio Pereira Magalhães Júnior ³

RESUMO – Localizada no Quadrilátero Ferrífero, a bacia do Rio Conceição apresenta ampla variedade litológica e um contexto estrutural complexo, tendo sido ainda pouco estudada. O presente trabalho objetiva discutir um controle litológico e tectônico na configuração desta bacia e em sua dinâmica fluvial. Para isso, foram calculados parâmetros morfométricos – Declividade Média (Dm), Densidade de Drenagem (Dd), Gradiente do Canal principal (Gcp), Índice de Sinuosidade (Is) e Índice de Rugosidade (Ir) – e construídos modelos digitais de elevação para bacias de terceira e quinta ordem hierárquica instaladas em diferentes grupos litológicos. Aplicou-se também o Índice de Hack (ou RDE) ao canal principal dessas bacias. Constatou-se que a morfometria das bacias e drenagens varia amplamente de um grupo geológico para outro. A bacia instalada no Grupo Itabira foi a que apresentou, em tese, maior potencial erosivo e maior capacidade e competência em seus canais, pois apresenta a maior Dd, baixo Is e elevado Gcp, além de valores relativamente elevados de Dm e Ir. Um forte controle litoestrutural foi observado na bacia do Ribeirão do Caraça, onde se encontram vários trechos com anomalia de 1ª ordem, tendo um deles atingido um desnível de 300 m em apenas 0,54 km. **PALAVRAS-CHAVE:** análise morfométrica; controle litoestrutural; Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT – Located at the Quadrilátero Ferrífero region, the Conceição River basin presents a wide geologic range and a complex structural context. However, this basin still was not studied in depth. This paper aims to discuss the lithological and the tectonic controls in the Conceição River basin configuration and in its fluvial dynamics. We calculate morphometrical parameters – Mean Slope (Ms), Stream Density (Sd), Stream Gradient (Sg), Sinuosity Index (Si), Roughness Index (Ri) – and build digital elevation models to third order basins and fifth order basins in different geological groups. We also apply the Hack Index to the main channel of these basins. The results show that the morphometric characteristics of basins and drainages range widely from one group to another. The watershed located at Itabira Group presents the major erosive potential, because it has a great Sd, low Si and high Sg, besides high Ms and Ri. A strong lithostructural control was observed at the Caraça River basin, where we found many reaches with first order anomaly. One of these presents a unevenness of 300 m in only 0,54 km.

KEY WORDS: morphometric analysis; lithostructural control; Quadrilátero Ferrífero.

INTRODUÇÃO

A aplicação de parâmetros morfométricos e índices geomorfológicos é uma das principais formas de se avaliar quantitativamente o comportamento das bacias hidrográficas diante os diferentes condicionantes geomorfológicos atuantes nas mesmas. Este tipo de análise tem por objetivo caracterizar os aspectos geométricos e de configuração das bacias hidrográficas e da rede de drenagem, estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição

¹ Mestrando em Geografia e Análise Ambiental (IGC/UFMG), *luizfpbarros@yahoo.com.br*, bolsista CNPq.

² Graduando em Geografia (IGC/UFMG), *emailedpedroca@hotmail.com*, bolsista FAPEMIG.

³ Professor Adjunto do Departamento de Geografia do IGC/UFMG, *magalhaesufmg@yahoo.com.br* – Instituto de Geociências (IGC), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Av. Antônio Carlos, nº 6.627, CEP: 31270-901. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

integrativa entre os elementos (CHEREM, 2008). A leitura de alguns índices (obtidos a partir de atributos tais como o número e o comprimento dos canais, a amplitude altimétrica da bacia, etc.) pode revelar anomalias na rede de drenagem, as quais decorrem de fatores tectônicos, estruturais, climáticos e/ou antrópicos.

Os primeiros parâmetros morfométricos foram definidos por Horton (1945). Este autor apresenta algumas Leis de composição das bacias hidrográficas, definindo um comportamento ideal para as mesmas. A partir destas Leis novos parâmetros foram definidos, principalmente na década de 1950, em trabalhos como Strahler (1952; 1958), Freitas (1952), Miller (1953), Schumm (1956), entre outros. Na década de 1970, Hack (1973) propõe um índice de gradiente para a determinação de “anomalias” na concavidade natural do perfil longitudinal, o *Stream-Gradient Index*, também conhecido como Índice de Hack ou RDE (Relação Declividade vs. Extensão). Estas anomalias podem estar associadas a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou à atividade neotectônica (ETCHEBEHERE *et al.*, 2006).

Em Minas Gerais vem crescendo o número de trabalhos que lançam mão da análise morfométrica. Destacam-se os trabalhos de Christofolletti (1970), Lana *et al.* (2001), Alves e Castro (2003), Tonello *et al.* (2006), Oliveira *et al.* (2007) e Feltran Filho e Lima (2007). No domínio do Quadrilátero Ferrífero se destacam ainda os trabalhos de Santos e Sobreira (2008) e Cherem (2008), ambos voltados à sua porção interiorana, a qual corresponde à bacia do alto Rio das Velhas (afluente do rio São Francisco).

Localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, a bacia do Rio Conceição (alto Rio Doce) apresenta ampla variedade litológica e um contexto estrutural complexo, tendo sido ainda pouco estudada. Isso justifica a elaboração do presente trabalho, que objetiva discutir o controle litológico e tectônico na configuração desta bacia e em sua dinâmica fluvial. Nesse sentido, o presente trabalho constitui uma primeira aproximação sobre a dinâmica erosiva e sedimentar moderna da bacia do Rio Conceição. Trata-se de uma investigação que orientará os trabalhos de campo, quando serão coletadas amostras de sedimentos e investigadas as anomalias e possíveis perturbações tectônicas indicadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os Parâmetros morfométricos – foram aplicados a seis sub-bacias de terceira ordem e a três de quinta ordem, segundo a ordenação dos canais proposta por Strahler (1952). Estas bacias estão localizadas em diferentes grupos litológicos, de acordo com a compilação digital elaborada por Lobato *et al.* (2005). A escolha de bacias de terceira ordem se justifica pelo fato de que as bacias de ordem superior abrangem mais de uma unidade geológica e as de ordem inferior não seriam representativas, pois são muito limitadas espacialmente. Não foi possível selecionar sub-bacias de terceira ordem nos grupos Conselheiro Mata e Quebra Osso, pois enquanto neste último se formam apenas bacias de primeira e segunda ordem, a de terceira ordem que se forma no primeiro não o tem como substrato

dominante. Como a maioria destas bacias não possui nome nas cartas topográficas do IBGE, optou-se por nomeá-las de acordo com o grupo litológico que representam.

A escolha de bacias de quinta ordem, por outro lado, se deu justamente por abarcarem diferentes grupos, buscando-se assim analisar o comportamento médio do relevo e da drenagem quando da variação litológica na bacia. As bacias de quinta ordem escolhidas foram as dos rios Barão de Cocais (ou São João) e Caraça, os principais afluentes da bacia, além da bacia referente ao trecho de quinta ordem do próprio Rio Conceição.

A delimitação de todas as bacias aqui analisadas foi feita a partir de bases digitais hipsométricas e hidrográficas, utilizadas também para a extração dos dados necessários aos cálculos dos parâmetros morfométricos. Essas bases são compatíveis com a escala de 1:50.000, ambas resultado do Projeto Geominas (digitalização de cartas topográficas do IBGE), tendo sido obtidas no Departamento de Cartografia da UFMG. No entanto, não há mapas em escala 1:50.000 para a porção nordeste da bacia, o que limitou a análise aos demais quadrantes, impedindo que bacias no embasamento cristalino, por exemplo, fossem analisadas. Todo o processamento dos dados foi feito no *software ArcView 9.2*, que possui ferramentas que permitem a extração dos atributos necessários aos cálculos dos parâmetros morfométricos escolhidos, o quais foram detalhados nas Tab. 1 e 2. Os MDE's (Modelo Digital de Elevação) também foram confeccionados no *software ArcView 9.2*, porém foram exportados para a extensão *ArcScene* para uma melhor visualização do relevo.

Tabela 1: Parâmetros morfométricos aplicados, sua fonte, equação e implicações.

Parâmetro	Fonte	Equação	Implicações
Declividade média (Dm)	----	Cálculo automático no <i>ArcGIS</i>	Expressa a energia e a intensidade dos processos morfogenéticos, incluindo o escoamento concentrado e difuso nas vertentes
Densidade de drenagem (Dd)	Horton (1945)	$Dd = Ct / A$	Ct – comprimento total dos canais (inclusive os intermitentes) A – área da bacia É definida pelo comportamento hidrológico das rochas (e regolito), sendo maior quanto menor a permeabilidade do substrato
Gradiente do canal principal (Gcp)	Christoforoletti (1980)	$Gcp = (Aac / C) \times 1000$	Aac – amplitude altimétrica do canal C – comprimento do canal Reflete o potencial de energia no canal fluvial
Índice de rugosidade (Ir)	Strahler (1958)	$Ir = Aab \times Dd$	Aab – amplitude altimétrica da bacia Dd – densidade de drenagem da bacia Valores elevados indicam maior potencial para a ocorrência de cheias na bacia e/ou pode indicar que as bacias apresentam alta transmissividade hidráulica
Índice de Sinuosidade (Is)	Schumm (1956)	$Is = C / Dv$	C – comprimento do canal Dv – distância vetorial entre os extremos do canal Is = 1 – canal retilíneo Is > 2,0 – canal meandrante Valores intermediários = formas transicionais

Tabela 2: Índice de Hack ou Índice RDE.

	Equações	Definição	Significado*
RED = RDEs / RDEt	SEGMENTO	ΔH – amplitude altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento do canal	RDE = 2 indica o limiar da faixa de anomalias
	$RDEs = (\Delta H / \Delta L) \times L$	ΔL – projeção horizontal da extensão do referido segmento L – distância entre o segmento e a nascente	$2 \leq RDE \leq 10$ é classificado como anomalia de 2ª ordem
	TOTAL	ΔH – amplitude altimétrica do curso d'água	$RDE \geq 10$ é classificado como anomalia de 1ª ordem
	$RDEt = \Delta H / \ln L$	$\ln L$ – logaritmo natural de toda sua extensão	

* Segundo Seeber e Gornitz (1983)⁴ *apud* Etchebehere *et al.* (2006).

Das bacias de quinta ordem, apenas a do Rio Conceição está completamente mapeada na escala de 1:50.000. Dessa forma, a bacia do Ribeirão do Caraça pôde ser analisada em 96% de sua área total e a do Rio Barão de Cocais em apenas 82%. A aplicação do Índice RDE também se restringiu às porções cobertas nesta escala. Os dados necessários aos cálculos dos Índices RDE foram extraídos das bases digitais anteriormente citadas e o perfil longitudinal dos cursos d'água foi elaborado no *software Microsoft Office Excel 2003*.

A Bacia do Rio Conceição – recebe diferentes delimitações pelos diversos órgãos federais e estaduais. No presente trabalho, o Rio Conceição foi considerado até a confluência com o Rio Una, logo à jusante da represa de Peti, sendo o Rio Santa Bárbara considerado como formado por esta confluência. Nesse sentido, a bacia do Rio Conceição abrange parte dos municípios de Santa Bárbara, Barão de Cocais, São Gonçalo do Rio Abaixo e Catas Altas, distando cerca de 100 km de Belo Horizonte (Fig. 1).

O vale do Rio Conceição se localiza no chamando Anticlinal de Conceição. Esta é uma estrutura antiformal invertida, de eixo NE-SW e caimento para SE (DORR, 1969), situada entre o Sinclinal Gandarela e o Maciço do Caraça, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Este é um domínio de reconhecida importância geológica e geomorfológica na região central do estado de Minas Gerais, sendo a evolução de seu modelado estudada desde meados do século passado (KING, 1956; BARBOSA e RODRIGUES, 1967; DORR, 1969; VARAJÃO, 1991; SALGADO, 2006). Atualmente sua complexa geologia é dividida em (Tab. 3): Grupo Itacolomi, Supergrupo Minas, Supergrupo Rio das Velhas e Embasamento Cristalino.

O Grupo Conselheiro Mata pertence ao Supergrupo Espinhaço e é representado na bacia pela Formação Cambotas (quartzito e quartzito sericítico mesoproterozóicos). Além das rochas pré-

⁴ SEEBER, L.; GORNITZ, V. Rivers profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, v.92, p.335-367, 1983.

cambrianas, são comuns na bacia do Rio Conceição coberturas recentes, em sua maioria depósitos aluviais e cangas (PARRA *et al.*, 2007), além de diques de diabásio.

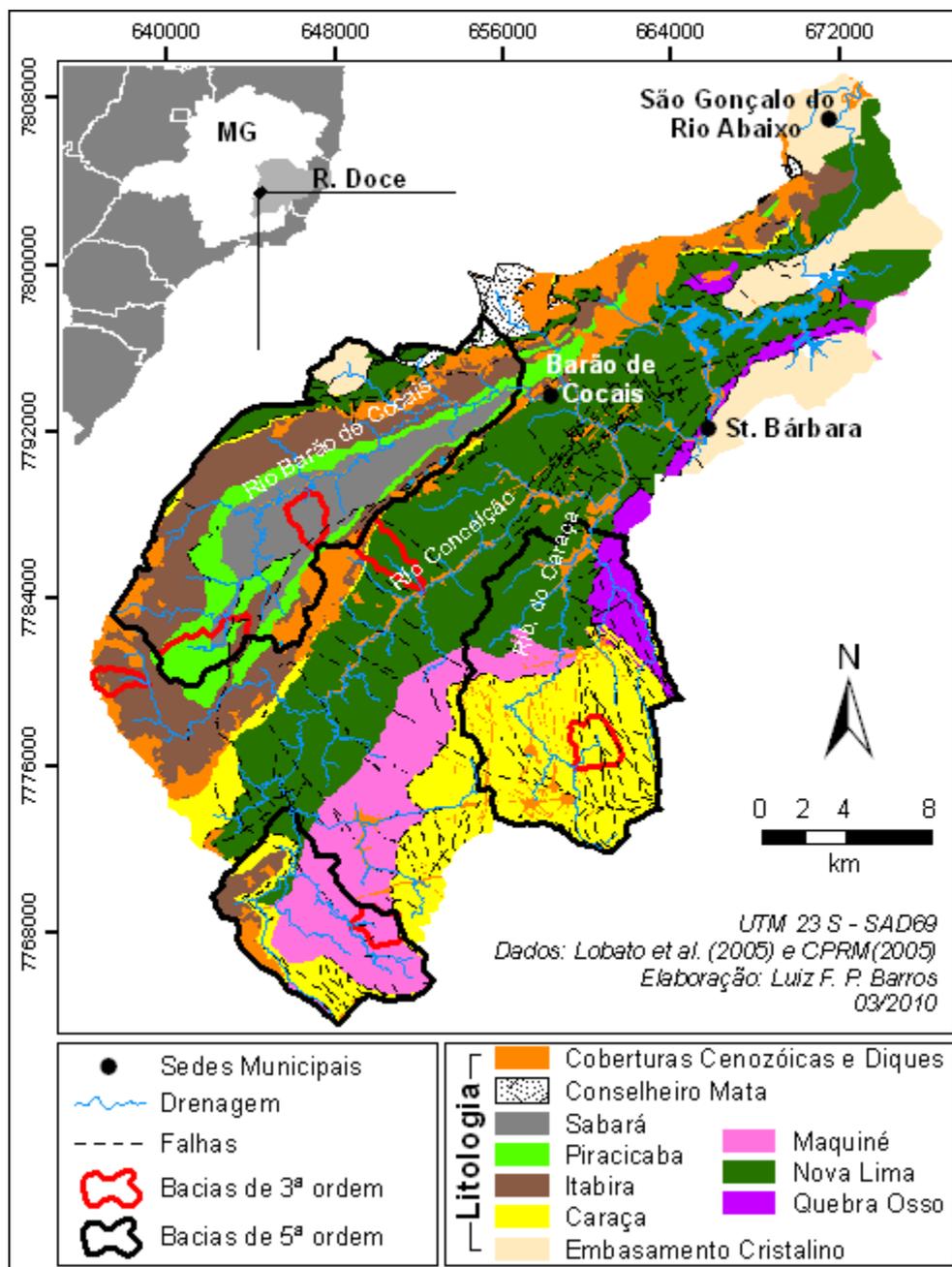


Figura 1: Localização e Geologia da Bacia do Rio Conceição.

Apesar de se localizar numa região de ocupação muito antiga – relacionada ao ciclo do ouro – e apresentar várias cavas de mineração, a bacia encontra-se ainda relativamente bem preservada, com grande cobertura de matas e campos rupestres. O clima da região é caracterizado como tropical semi-úmido, de verões quentes e úmidos e de invernos secos com temperaturas amenas, além de variações locais condicionadas pela altitude.

Tabela 3: Geologia do Quadrilátero Ferrífero.

	SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOTIPOS	
Paleoproterozóico		Itacolomi	Indiviso	ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos e conglomerados com seixos de itabirito	
	Minas	Sabarará	Indiviso	Clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados, quartzitos, diamictitos, turbiditos e itabiritos	
		Piracicaba	Barreiro Taboões		filitos e filitos grafitosos
			Fecho do Funil		ortoquartzitos
			Cercadinho		filitos, filito dolomítico e dolomito silicoso
			Gandarela		quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos
			Itabira	Cauê	dolomito, filito dolomítico e calcário itabirito, itabirito dolomítico, hematita, lentes de xistos e filitos
		Caraça	Batatal	filito e filitos grafitosos, metachert e formação ferrífera	
Arqueano		Maquiné	Indiviso	Metaconglomerado, quartzitos e filitos	
	Rio das Velhas	Nova Lima	Indiviso	quartzitos, conglomerados, xistos e filitos	
		Quebra Osso	Indiviso	filitos, xistos, formações ferríferas, dolomitos, quartzitos, metacherts, rochas máficas e metaultramáficas	
	Complexos Metamórficos	Indiviso	Indiviso	metakomatiito peridotítico, metakomatiito, serpentinito, formação ferrífera bandada, metachert, turmalinito e filito carbonoso	
				gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, augen-gnaisses e granitos	

Fonte: Modificado de Almeida *et al.* (2005) com a inserção do Grupo Quebra Osso segundo Schorscher (1979).

RESULTADOS

Após a aplicação de rotinas de geoprocessamento nas bases digitais anteriormente descritas foi possível extrair os atributos (Tab. 4) necessários aos cálculos dos parâmetros morfométricos aplicados neste trabalho. Os resultados dos cálculos destes parâmetros estão dispostos nas Tab. 5 e 6 e serão discutidos comparativamente entre si.

Tabela 4: Atributos das bacias e das drenagens de terceira e quinta ordem analisadas.

ORDEM	GRUPO/BACIA	ATRIBUTOS					
		A (km ²)	Aab (m)	Aacp (m)	Ccp (km)	Ct (km)	Dv (km)
Terceira	Caraça	4,5	700	560	3,9	16,9	2,6
	Itabira	2,1	440	380	2,9	10,1	2,5
	Maquiné	3,0	620	340	3,1	13,3	2,4
	Nova Lima	4,6	540	340	4,1	17,1	3,6
	Piracicaba	7,7	520	400	4,8	31,2	2,9
Quinta	Ribeirão do Caraça	115,26	1340	1220	24,13	366,87	14,62
	Rio Barão de Cocais	150,38	880	820	36,70	429,33	22,05
	Rio Conceição	52,75	1060	860	15,27	167,92	10,27

A: Área; Aab: Amplitude altimétrica da bacia; Aacp: Amplitude altimétrica do canal principal; Ccp: Comprimento do canal principal; Ct: Comprimento total dos rios; Dv: Distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.

Dentre as sub-bacias de terceira ordem, a que se desenvolve sobre rochas do Grupo Itabira (itabiritos e itabiritos dolomíticos) apresenta a maior Dd, sendo seu valor 23% maior que a bacia de menor Dd – Grupo Sabará (Clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados, etc.). A Dd relativamente baixa da bacia do Grupo Caraça pode estar relacionada ao intenso falhamento e fraturamento das rochas nesta área, onde também estão presentes diversos diques de diabásio. Esse contexto controla fortemente o arranjo da drenagem, que tende a apresentar o padrão retangular e o paralelo, diferente das demais bacias, de modo geral, dendríticas.

Tabela 5: Resultados dos parâmetros morfométricos extraídos das bacias de terceira ordem.

	Caraça	Itabira	Maquiné	Nova Lima	Piracicaba	Sabará
Dd (km/km ²)	3,76	4,83	4,38	3,75	4,03	3,72
Dm (%)	44,9	37,7	34,4	40,4	33,4	30,2
Gcp (m/km)	142,89	133,05	108,56	81,71	83,82	81,93
Ir	2632	2125,2	2715,6	2025	2095,6	1785,6
Is	1,49	1,14	1,32	1,16	1,65	1,14

Os demais parâmetros analisados estão mais diretamente ligados à energia disponível para os processos geomorfológicos nas vertentes e nos canais fluviais. Dividindo as sub-bacias em dois grupos, em termos gerais, verifica-se que as de maior energia são as dos grupos Caraça, Nova Lima e Itabira, com Dm entre 37 e 45%; e as de menor energia estão nos grupos Maquiné, Piracicaba e Sabará, com Dm entre 35 e 30%. Quando se analisa a Dm em relação ao desvio padrão dos valores de declividade se pode perceber o grau de homogeneidade do relevo. No caso da bacia do Grupo Caraça (Dm = 44,9%), por exemplo, o valor do desvio padrão é igual a 39%, o que revela que nesta bacia alguns valores de declividade muito elevada aumentam o valor médio de sua declividade, apesar da maior recorrência de valores mais baixos que a média. A bacia de maior variação da declividade em torno da média é a do Grupo Piracicaba, com Dm igual a 33,4% e desvio padrão de 21,9%.

É de se esperar que bacias de elevada declividade média apresentem um índice de rugosidade também elevado, pois vertentes íngremes tendem a ser curtas, o que se reflete em uma elevada transmissividade hidráulica, ou seja, os fluxos de vertente se convertem mais facilmente em fluxos fluviais. As bacias dos grupos Itabira e Sabará seguem essa relação, apresentando o terceiro e sexto maior valor, respectivamente. As bacias que mais variam nesse sentido são as dos grupos Maquiné (maior Ir e quarta maior Dm) e Nova Lima (quinto maior Ir e segunda maior Dm). O elevado Ir da bacia do Grupo Maquiné se deve a sua amplitude altimétrica e Dd relativamente elevadas, sendo o segundo maior valor para ambas.

Os valores do Gradiente do Canal Principal (Gcp) das sub-bacias também não acompanham diretamente a Dm das mesmas. Enquanto a bacia do Grupo Caraça apresenta o maior valor de Gcp (142,89 m/km), assim como a maior Dm, a bacia do Grupo Nova Lima tem o menor Gcp encontrado (81,71 m/km), apesar de apresentar a segunda maior Dm. Isso pode ser resultado do fato de o canal

principal, representado na carta topográfica, não se prolongar até a parte mais elevada da bacia, onde se encontram os maiores valores de declividade.

O canal principal das bacias dos grupos Itabira, Nova Lima e Piracicaba apresentaram valores muito próximos de I_s , sendo os mais baixos encontrados. Ao contrário do que se esperava, o I_s dos canais não está intimamente relacionado ao gradiente dos mesmos, exceto na bacia do Grupo Itabira, que apresenta o menor valor de I_s e o segundo maior gradiente. A bacia de valor mais discrepante nesse sentido é a do Grupo Sabará, com o segundo menor I_s e o segundo menor G_{cp} . Já a bacia do Caraça apresenta o maior G_{cp} e o segundo maior I_s .

Quanto à aplicação do Índice RDE, pode-se dizer que a bacia que apresenta um controle litoestrutural mais acentuado é a do Grupo Caraça. Nesta bacia foi identificado um expressivo *knick-point*, um desnível de 300 m em apenas de 0,54 km (Fig. 2). Este trecho, com anomalia de primeira ordem, está localizado entre duas falhas de empurrão. Isso sugere que ou a movimentação de blocos nessas falhas, ainda no Brasiliano, foi preservada pela grande resistência dos quartzitos ou que pode estar ocorrendo movimentações pós-cretáceas nessas falhas. A bacia do Grupo Maquiné também apresenta um *knick-point* bem marcado, também relacionado a uma falha de natureza tectônica, porém, o desnível apresentado é bem menor, 80 m em 0,37 km. As anomalias de primeira ordem observadas próximo à foz das bacias dos grupos Itabira e Sabará também podem estar associadas a um ajustamento, em termos de nível de base, do canal principal dessas bacias com aqueles dos quais são tributários. Saadi (1991), Magalhães Júnior e Saadi (1994), Lipski (2002), Santos (2008), entre outros, apontam para uma importante atividade tectônica durante o Cenozóico na configuração do relevo no Quadrilátero Ferrífero.

Ao observar o MDE das bacias notam-se morfologias muito diversificadas, apesar da maior parte delas se localizar em um contexto de cabeceiras de drenagem. A bacia do Grupo Caraça apresenta rupturas mais abruptas no relevo, controladas por um intrincado arranjo de falhas. As bacias dos grupos Itabira e Nova Lima também apresentam um relevo mais dissecado, contrastando nitidamente com as bacias dos Grupos Maquiné e Sabará, de vales bem mais amplos e gradientes suaves para as vertentes. Para estas duas bacias, a morfologia observada está relativamente de acordo com a D_m mais baixa, porém contradiz o I_r no caso da bacia do Grupo Maquiné. Isso reforça que o I_r nesta bacia é controlado mais por sua amplitude altimétrica, o que pode estar ligado a uma movimentação recente das áreas de topo (ou à preservação da última movimentação), controladas por uma falha de empurrão (Falha do Caraça), que marca o contato litológico entre os grupos Caraça e Maquiné.

Os resultados dos parâmetros morfométricos das bacias de quinta ordem estão expostos na Tab. 6. Para correlacionar estes resultados com o quadro litológico, foi calculado também o percentual de área das bacias referente a cada grupo geológico (Tab. 7).

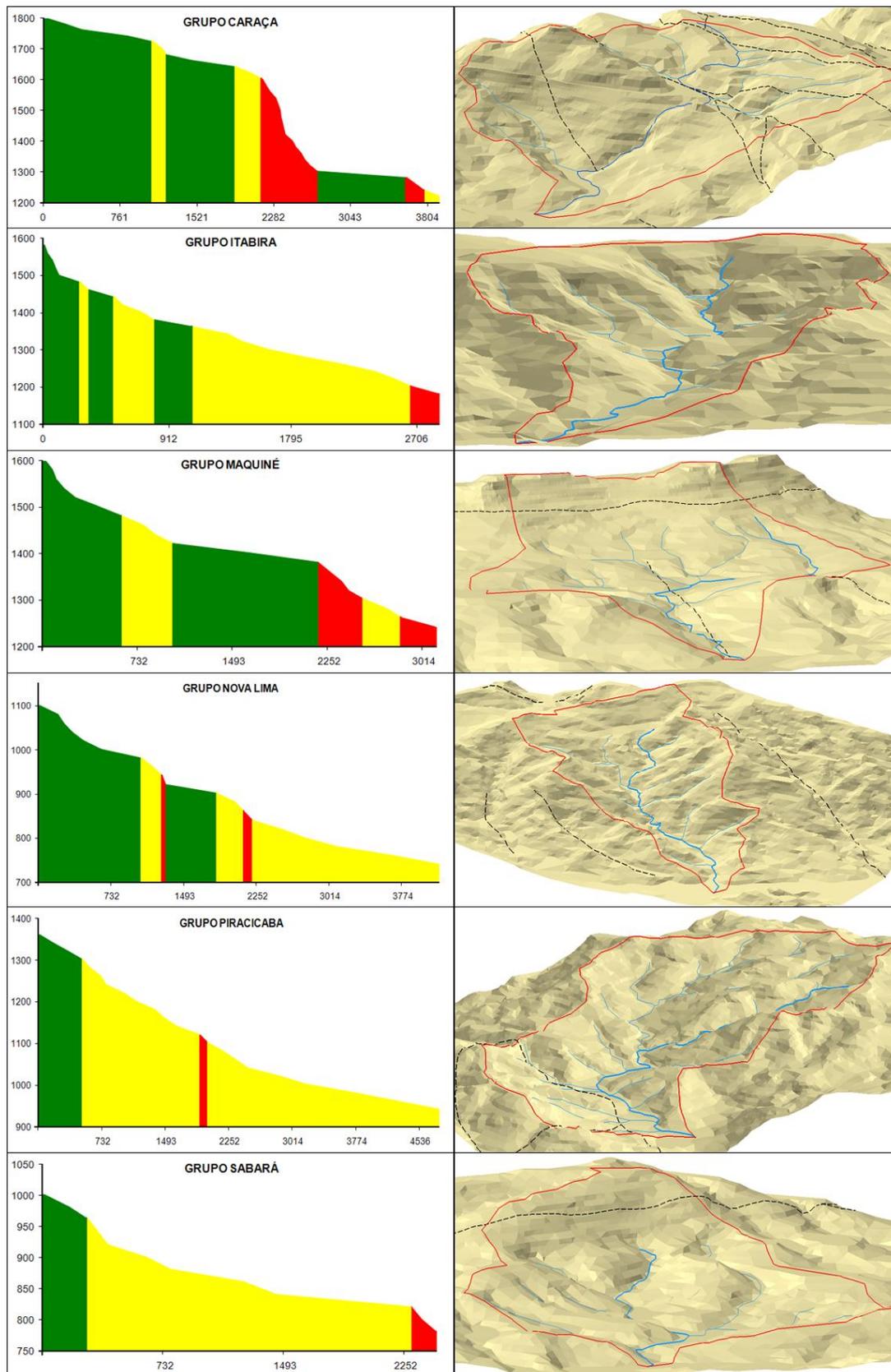


Figura 2: Perfil longitudinal do rio principal e MDE das sub-bacias de terceira ordem. Observações: (1) Verde: trecho sem anomalias; Amarelo: anomalia de 2ª ordem; Vermelho: anomalia de 1ª ordem; (2) As linhas pontilhadas representam falhas.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros morfométricos extraídos das bacias de quinta ordem.

BACIA	Dd (km/km ²)	Dm (%)	Gcp (m/km)	Ir	Is
Ribeirão do Caraça	3,18	35,88	50,56	4265,29	1,65
Rio Barão de Cocais	3,42	29,40	22,35	3013,06	1,66
Rio Conceição	3,18	33,99	56,33	3374,08	1,49

Os resultados mostram que a bacia do Rio Conceição se destaca nos parâmetros mais ligados ao potencial erosivo do canal principal das bacias (Is, Gcp), enquanto a bacia do Ribeirão Caraça é a que se destaca nos parâmetros relacionados à bacia como um todo (Dm, Ir). O Is relativamente elevado do Ribeirão do Caraça, no entanto, é uma resposta às frequentes mudanças de direção do canal, controladas pelos falhamentos na bacia. A bacia do Rio Barão de Cocais, por sua vez, apresenta sempre os menores valores, destacando-se apenas com uma maior Dd. Esta marcada diferença morfométrica pode estar diretamente ligada à configuração atual da bacia do Rio Conceição. Segundo Fabri *et al.* (2008), existem indícios de que o Rio Conceição teria capturado o Rio Gandarela (antigo afluente do Rio Barão de Cocais), que se encaixou ao longo de uma falha de empurrão, escavando um cânion nas terras altas que constituem o limite entre a Sinclinal Gandarela e a Anticlinal de Conceição. Esse processo pode ter sido facilitado pelo maior potencial erosivo das bacias que se encontram no interior da anticlinal escavada em relação àqueles que drenam o interior da sinclinal. A captura também foi facilitada pela existência dos frágeis dolomitos da Formação Gandarela (Grupo Itabira).

Tabela 7: Área relativa a cada grupo geológico para as bacias de quinta ordem.

BACIA	DC	CM	SB	PC	IT	CR	MQ	NL	QO	EC
Ribeirão do Caraça	6,4	-	-	-	0,05	56,6	5,6	21,2	10,6	-
Rio Barão de Cocais	11,4	1,5	23,6	19,1	32,1	0,9	-	7,8	-	3,6
Rio Conceição	6,3	-	-	-	8,4	26,7	52,3	6,3	-	-

DC: Depósitos Cenozóicos e Diques; CM: Conselheiro Mata; SB: Sabará; PC: Piracicaba; IT: Itabira; CR: Caraça; MQ: Maquine; NL: Nova Lima; QO: Quebra Osso; EC: Embasamento Cristalino.

A bacia do Ribeirão do Caraça é dominada por rochas do Grupo Caraça (Tab. 8). Assim como a bacia de terceira ordem instalada apenas em rochas deste grupo, a bacia do Ribeirão do Caraça apresenta valores elevados de Dm, Ir e Gcp. Já a bacia de quinta ordem do Rio Conceição apresenta domínio das rochas do Grupo Maquiné, com destaque também para áreas sobre o Grupo Caraça. Esses grupos contêm rochas resistentes como quartzitos e formações ferríferas que preservam os topos em patamares elevados, o que pode explicar os indicativos de elevada energia (Is e Gcp) para o Rio Conceição. Fabri *et al.* (2008), ao classificarem trechos de poços e corredeiras na bacia do Conceição como um todo, afirmam que os trechos encachoeirados situam-se em afluentes localizados nas áreas próximas ao contato entre os quartzitos e itabiritos, muito resistentes à erosão, com xistos e filitos, pouco resistentes.

A análise dos perfis longitudinais das bacias de quinta ordem (Fig. 3) reforça o controle litoestrutural sobre a drenagem, sendo o Ribeirão do Caraça o mais anômalo. Isso está relacionado ao

fato de que, no trecho mais à montante, o rio corre sobre uma falha de empurrão, fato que também ocorre no trecho mais à jusante, criando dois patamares bem marcados, visíveis tanto no perfil longitudinal como no MDE da bacia. É interessante observar que Cherem *et al.* (2008) constataram o recobrimento do nível de terraço mais recente por depósitos de várzea na bacia do Ribeirão do Caraça. Isso pode estar relacionado não só ao encouraçamento da calha fluvial, observado por estes e outros autores em diversos vales do Quadrilátero Ferrífero (MAGALHÃES JÚNIOR, *et al.*, 2008), como também a um controle litoestrutural e/ou tectônico, que cria soleiras que atuam na retenção dos sedimentos.

Outro ponto interessante a se observar na Fig. 3 é o MDE da bacia do Rio Barão de Cocais, que se encontra topograficamente mais elevada que as áreas vizinhas, ilustrando uma sequência típica no Quadrilátero Ferrífero de sinclinais suspensas e anticlinais escavados. As anomalias de 1ª ordem observadas no alto curso do Rio Barão de Cocais estão relacionadas ao contato do Grupo Itabira (Formação Gandarela) com o Grupo Piracicaba (Formação Cercadinho). Por fim, vale observar que, apesar de se aproveitar de falhas (indiscriminada e de empurrão aproximada), o trecho superior do Rio Conceição apresenta-se sem anomalias, ou apenas com anomalias de 2ª ordem. As anomalias de 1ª ordem, no entanto, estão associadas aos mesmos tipos de falhamentos, porém com orientação transversal ao curso d'água.

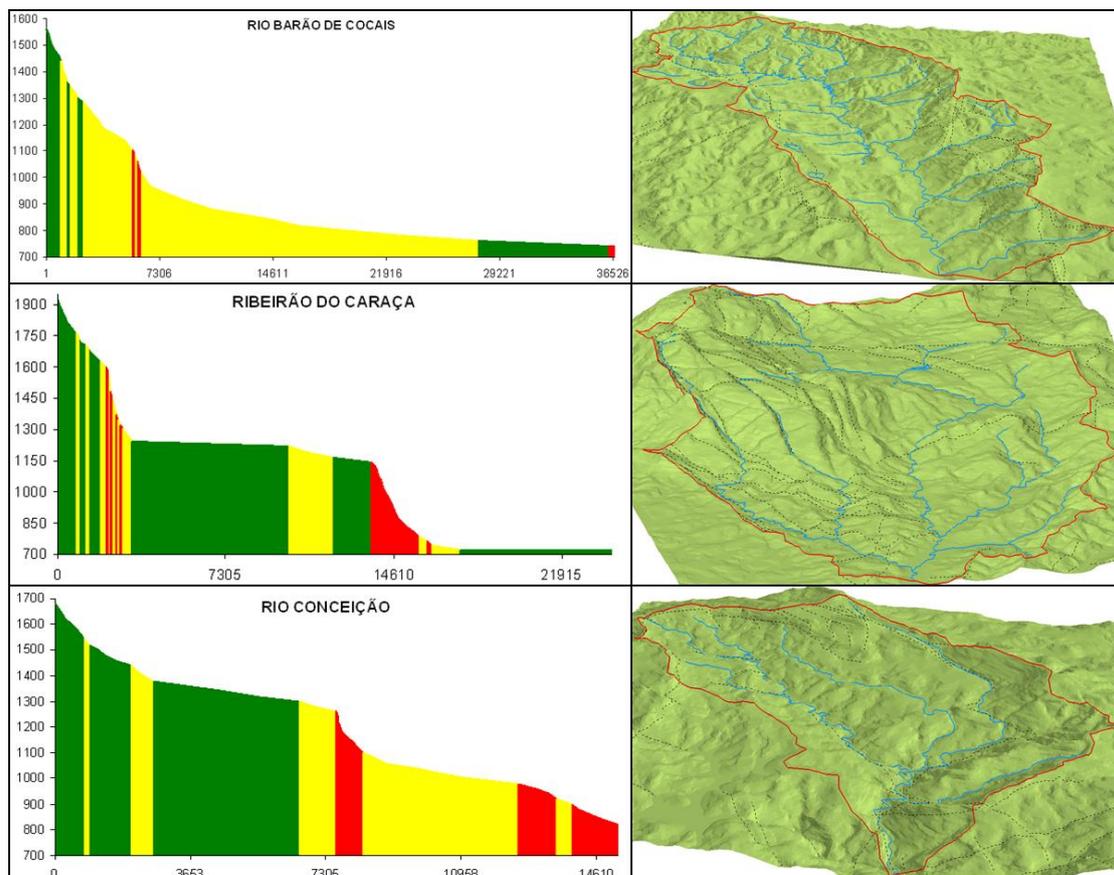


Figura 3: Perfil longitudinal do rio principal e MDE das bacias de quinta ordem. Observações: (1) Verde: trecho sem anomalias; Amarelo: anomalia de 2ª ordem; Vermelho: anomalia de 1ª ordem; (2) As linhas pontilhadas representam falhas.

DISCUSSÃO

Durante décadas a presença de prováveis vestígios de antigas superfícies de aplainamento no Quadrilátero Ferrífero foi associada às superfícies propostas com base em cotas altimétricas por King (1956) para a porção oriental do relevo brasileiro. Entretanto, estudos mais recentes (VARAJÃO, 1991; VALADÃO, 1998; SALGADO, 2006) desmistificam a correlação dessas superfícies no Quadrilátero. Nesta região seriam encontradas apenas superfícies de erosão, resultantes do controle litoestrutural e da erosão diferencial.

A partir da mensuração da produção do isótopo cosmogênico ^{10}Be na bacia do alto Rio das Velhas, Salgado *et al.* (2007) fazem importantes considerações sobre a evolução do relevo no Quadrilátero Ferrífero. Estes autores mostram que as terras altas desta bacia – sustentadas por quartzitos, itabiritos e cangas cenozóicas (Supergrupo Minas) – são extremamente resistentes ao rebaixamento vertical do relevo – taxas de erosão entre 1,71 e 2,58 m/Ma – mas apresentam certa fragilidade frente o processo de retração lateral das escarpas – taxas de erosão entre 12,71 e 14,60 m/Ma. Esta fragilidade pode estar associada à erosão dos litotipos mais frágeis – xistos-filitos e granitos-gnaisses – que geralmente constituem a base destas escarpas. Isso confirma que um dos principais processos modeladores do relevo no Quadrilátero Ferrífero é a erosão diferencial (SALGADO *et al.*, 2007).

No caso do presente trabalho, as bacias dos grupos pertencentes ao Supergrupo Minas apresentam valores que seguem uma tendência entre si, mas que, no entanto, variam amplamente em relação às demais bacias, pois são por vezes os mais elevados e outras os mais baixos. Como exemplo, a bacia do Grupo Sabará apresenta os menores valores de Ir, Dm e Dd e o segundo menor valor de Gcp. A bacia do Grupo Itabira, no entanto, está sempre entre os três maiores valores, apresentando a maior Dd, o segundo maior Is e Gcp e o terceiro maior de Ir e Dm. Dessa forma, não é possível marcar tendências para as bacias de grupos pertencentes a um mesmo Supergrupo, o que mostra que controle geológico é bastante local.

Quanto ao condicionamento tectônico sugerido, vale destacar que as evidências mais claras de neotectônica na região são as bacias terciárias de Gandarela e Fonseca. Essas bacias são resultado de um soerguimento epirogenético concomitante a uma fase tectônica distensiva, com formação de estruturas “horst/graben” e consequente formação de bacias no período Eoceno (VARAJÃO *et al.*, 2009). Segundo Lipski (2002), três eventos neotectônicos podem ser identificados no Quadrilátero Ferrífero: um no Oligoceno e os demais no Plioceno, estando o primeiro relacionado à geração de grabens – descrito também por Maizatto (2001)⁵ *apud* Varajão *et al.* (2009) para o fechamento das bacias Gandarela e Fonseca.

⁵ MAIZATTO, J.R. *Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias de Fonseca e Gandarela – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares*. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2001. 249p. (Tese de Doutorado)

Certamente as características morfológicas de uma bacia e de sua drenagem não dependem unicamente de seu substrato geológico, mas sim do tipo e evolução dos processos geomorfológicos (associados a fatores tectônicos, climáticos, pedológicos e biológicos) que ocorrem nesse substrato. Entretanto, os resultados obtidos mostram que numa área de contrastes geológicos marcantes, como o Quadrilátero Ferrífero, a variação do substrato certamente está ligada a uma variação também da conformação do relevo.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussões apresentados neste trabalho, conclui-se que: (i) dentre as seis bacias de terceira ordem analisadas, a bacia do Grupo Itabira é a que apresenta, em tese, um maior potencial erosivo e maior capacidade e competência em seus canais, pois apresenta a maior Dd, um canal de elevado gradiente e pouco sinuoso, além de valores intermediários de Dm e Ir; (ii) as bacias total ou parcialmente instaladas em rochas do Grupo Caraça apresentam um forte controle litoestrutural, tanto na organização da drenagem como no elevado poder erosivo nas vertentes e nos canais, tendo sido observadas ainda consideráveis anomalias de 1ª ordem; (iii) a bacia do Rio Conceição, por sua vez, segue as tendências apontadas pelas bacias de terceira ordem dos grupos Maquiné e Caraça, enquanto a bacia do Rio Barão de Cocais não tem uma litologia dominante e apresenta o menor potencial erosivo em relação às demais, o que está ligado ao modelado mais suave da porção interior do Sinclinal Gandarela; (iv) não é possível traçar uma tendência de comportamento para bacias de um mesmo Supergrupo, pois o controle litológico está ligado a uma escala de mais detalhe, embora os diferentes grupos geológicos do Quadrilátero Ferrífero apresentem, por vezes, litologias semelhantes (recorrência de xistos-filitos, quartzitos, e formações ferríferas em vários grupos).

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Recursos Hídricos (CNPq) – IGC/UFMG e ao CNPq e à FAPEMIG pela concessão de bolsas e financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. G.; CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; FONSECA, M. A. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 2005. v. 35, n. 2, p. 177-186.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfológicos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.

BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: 1967. 130 p.

CHEREM, L. F. S. *Análise morfológica da bacia do alto Rio das Velhas: comparação de metodologias e dados*. 2008. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHEREM *et al.* Níveis e Seqüências Depositionais Fluviais no Médio e Baixo Vale do Ribeirão do Caraça borda oriental do Quadrilátero Ferrífero/MG. In: Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2, e Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, Belo Horizonte. *Anais...*, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 186p, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas*. 1970. 215p. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1970.

CPRM (2005). *Mapa geológico do Brasil ao milionésimo*, Rio de Janeiro, 41 CDs, 1 DVD.

DORR, J.V.N. *Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero*, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Prof. Pap. 641 - A, Washington, 1969, 110 p.

ETCHEBEHERE *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. *Geociências*, v.25, p.271-287, 2006.

FABRI *et al.* Classificação dos Trechos dos Cursos Fluviais da Bacia do Rio Conceição Quadrilátero Ferrífero/MG: resultados preliminares. In: Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2, e Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, Belo Horizonte. *Anais...*, 2008.

FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. *Sociedade E Natureza*. Uberlândia:UFU. v. 19. n. 1, p.65-80, jun. 2007.

FREITAS R.O. 1952. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. São Paulo, *Boletim Paulista de Geografia*. 11:53-57.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal Research of the U. S. Geolo. Survey*, v.1, p.421-429, 1973.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

KING, L. C. Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geog.* 18(2): 147-266, 1956.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. *Revista da Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121- 126, 2001.

LIPSKI, M. *Tectonismo cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - DEGEO/EM/Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002, 171 p.

LOBATO *et al.* *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM.

MAGALHÃES JÚNIOR; SANTOS, G. B.; CHEREM, L. F. S. Processos de encouraçamento da calha do alto Rio das Velhas e seus reflexos na dinâmica fluvial moderna, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2, e Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, Belo Horizonte. *Anais...*, 2008.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.P.; SAADI, A. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 42-54, 1994.

MILLER, V.C. *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area*, Project Report, Columbia University, New York, 1953.

OLIVEIRA, T. A. S.; CASTRO, P. T. A.; BRAGA, S. C. M. Caracterização do sistema fluvial do rio do Carmo, bacia do rio Doce, com base em análises morfométricas sobre mapas topográficos. In: SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15, 2007, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: UFOP, 2007.

PARRA *et al.*. Influência antrópica na geoquímica de água e sedimentos do rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 21(1)036 – 049, 2007.

SAADI, A. *Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais (Tensões Intra-Placa, Descontinuidades Crustais e Morfogênese)*. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 1991. (Tese para o Concurso de Professor Titular do IGC/UFMG).

SALGADO, A. A. R. *Estudo da Evolução do Quadrilátero Ferrífero, MG-Brasil, através da quantificação de processos erosivos desnudacionais*. 2006. Tese. (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

SALGADO, et al. Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, n.2, p.3-10, 2007.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. *Revista Escola de Minas*, vol.61, nº1, Jan./Mar. p.77-85, 2008.

SCHORSCHER, H. D. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Academia Brasileira de Ciências, Anais*, 1979. 51(4), 767–768 p.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, N. Jersey, v.67, p.597-646, 1956.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. *Geological Society of America Bulletin*, v.69, p.279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. *Geological Society of America Bulletin*, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

TONELLO *et al.* *Hidrologia aplicada*. São Paulo: MacGraw-Hill do Brasil, 1975.

VALADÃO R. C. Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. 1998. 243p. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 1998.

VARAJÃO *et al.*. Estudo da Evolução da Paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) Através da Mensuração das Taxas de Erosão (¹⁰Be) e da Pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)*, v. 33, p. 1409-1425, 2009.

VARAJÃO, C. A. C. A Questão da Correlação das Superfícies de Erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2):138-145, junho de 1991.