

**ESTUDOS DOS CONTROLES MORFOMÉTRICOS A FEIÇÕES
EROSIVAS E A IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS
SUSCEPTÍVEIS A MOVIMENTO DE MASSA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CONTAGEM/DF.**

**MORPHOMETRIC STUDY OF CONTROLS TO
EROSIONAL FEATURES AND IDENTIFICATION OF AREAS
SUSCEPTIBLE TO MASS MOVEMENT HAZARDS IN THE
CONTAGEM WATERSHED, DISTRITO FEDERAL.**

Raina Santos Ferreira¹ & Rogério Uagoda²

¹Departamento de Geografia (GEA), Programa de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade de Brasília (UnB), Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte,
70910-900, Brasília – DF, Brasil.

rainasanfer@gmail.com, rogeriouagoda@unb.br

RESUMO - O objetivo deste trabalho é realizar uma análise morfométrica orientada a bacias hidrográficas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF, por meio do cruzando dos dados resultantes com o mapeamento de feições erosivas confeccionados por Braga (2012), buscando-se, assim, identificar unidades com diferentes susceptibilidades à erosão, com a confecção de proposta de mapeamento hidro-geomorfológico da bacia. O mapa hidro-geomorfológico da bacia foi gerado a partir do mapa de Índice de Eficiência de Drenagem (das bacias de segunda e terceira ordem), declividade e de curvatura (côncavo, retilíneo e convexo). Os dados foram elaborados e cruzados em Sistema de Informações Geográficas (ArcGis 9.3). Com relação ao mapa de Índice de Eficiência de Drenagem (IED) gerado a partir das bacias de segunda e terceira ordem, observou-se que as bacias de segunda ordem possuem valores de IED (km/km²) que variaram entre 0,0225 e 27,723, com média de 4,515284 (IED médio), enquanto as bacias de terceira apresentaram valores de IED (km/km²) entre 0,04 e 18,56, com média de 2,48 (IED baixo). Pelo fato do mapa IED ser formado por bacias de segunda e terceira

ordens e essas estarem na escala dos processos geomorfológicos das encostas, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia. A partir do mapa de curvatura, observou-se que as feições erosivas ficaram mais concentradas nas áreas côncavas das encostas. Apesar das formas convexas possuírem uma maior expressividade na bacia (46% da bacia é formada por regiões convexas), as feições ficaram mais concentradas nas regiões côncavas do relevo, provavelmente porque nas regiões côncavas há uma grande concentração de fluxo, o que pode contribuir no acontecimento de processos, pois estas possuem uma fragilidade ambiental maior. O mapa hidro-geomorfológico mostrou áreas de potencialidade erosivas, com ênfase nos movimentos de massa. Observou-se que a bacia estudada possui, no geral, um baixo potencial erosivo, havendo, porém, áreas de escarpa e encostas limítrofes ao canal principal com alto potencial erosivo e processos que incluem movimentos de massa. Futuros projetos podem ser feitos para mapear e estudar tais processos na bacia.

Palavras-chave: Geomorfologia, Bacia hidrográfica, Morfometria, Índice de Eficiência de Drenagem, Mapa de formas, Mapa hidro-geomorfológico.

ABSTRACT - This work aims to create a morfometric analysis oriented to the catchment on the Contagem Basins/DF. We are trying to identify rates of erosion susceptibility from a hydro-geomorphological map proposal. The map were generate crossing the drainage efficiency index (DEI) and the morphological map (slope and curvature). We used the ArcMap 9.3 SIG to build Maps and create datas to made tables and graphs. Second order catchments have DEI (km/km²) values from 0,04to 18,56, with 4,51 of average. Third order catchments have values from 0,04to 18,56, with 2,48 of average. Near 80% of the features mapped by Braga (2012) were in the areas of DEI, because that map has covered the slope process mainly. The curvature map shows the concentration of the erosive features on the concave slopes, despite the fact that there are a majority of convex features, confirming expectations about the correlation of erosion and flow

concentration. The hydro-geomorphological map showed areas of erosive susceptibility emphasizing the possible landslides areas. There are a low erosion potential in average, despites the fact that 49% were divided in medium and high erosion potential, which was not expected to a basin in Brasília. Landslides were observed in fieldworks, even if they have not been systematically mapped. The next steps of the work in the Contagem basin will focus on the landslides mapping and geotechnical resistance of the material.

Keyword: Geomorphology, Watershed, Morfometry, Drainage efficiency index, Curvature, Hydro-geomorphological map.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma unidade essencial para a geomorfologia. Os estudos relacionados às drenagens fluviais e à análise da rede hidrográfica podem levar à compreensão de inúmeras questões geomorfológicas. Segundo Coelho Netto et al., (1994), a quantificação e localização do fluxo d'água nas encostas são de fundamental importância para a compreensão dos processos geomorfológicos que governam e modelam o relevo.

Os estudos geomorfológicos em uma bacia hidrográfica podem ser feitos de diversas formas. Além de análises qualitativas, podem-se fazer análises quantitativas. Inicialmente os estudos quantitativos foram desenvolvidos por Horton, na década de 1940, estabelecendo leis acerca do desenvolvimento dos canais de drenagem, bem como as suas respectivas bacias. Em estudos das interações entre os processos, do ponto de vista quantitativo, utilizam-se métodos de análise morfométricas, dentre os quais podem ser citados os seguintes parâmetros: densidade de drenagem, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e forma da bacia, índice de eficiência de drenagem, dentre outros. A combinação dos dados morfométricos nos permite fazer diferenciação de áreas e revela parâmetros e valores físicos específicos para cada local. Segundo

Christofoletti (1999), a análise morfométrica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram suas configurações espaciais.

O índice de eficiência de drenagem (IED) apresentado por Coelho Netto et al (2006), define um valor proporcional à capacidade do relevo de drenar a água de superfície de uma bacia e, por envolver parâmetros morfométricos de área e comprimento de drenagem, possui respostas diferentes quando assumidos os diferentes tipos de observações. O IED é apontado pelo produto entre gradiente da bacia e a densidade de drenagem, ($IED = Gt \times Dd$).

A região de estudo deste trabalho é a bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem DF. Essa área já vem sendo estudada por Braga (2012), juntamente com a equipe do Laboratório de Geografia Física da UnB (LAGEF/UnB). Nos primeiros momentos da pesquisa foram realizados os estudos das feições erosivas existentes na bacia e a reconstituição da rede de drenagem a partir do mapeamento feito pela Terracap em 2010. Atualmente os trabalhos estão migrando para o estudo da dinâmica de erosão dos solos nas encostas, com mensurações *in loco*. Tendo em vista os materiais já desenvolvidos e as demandas atuais, resta saber quais são as características morfométricas da bacia hidrográfica, visando o cruzamento com os outros dados já levantados e com as feições mapeadas para subsidiar a escolha de encostas que serão estudadas nas pesquisas do laboratório.

A escolha desta bacia hidrográfica pela equipe do LAGEF se justifica pela pouca quantidade de estudos publicados sobre a área, principalmente no que se refere aos trabalhos sobre hidrologia de encosta, para os quais este trabalho oferece subsídios. A evolução dos métodos científicos de mensuração e análise é orientada pela necessidade de que resultados mais precisos sejam

obtidos na busca do melhor entendimento dos sistemas ambientais. Assim, é evidente a necessidade do uso de métodos quantitativos para estudos dessa natureza.

Diante do exposto, este trabalho tem por finalidade analisar as características morfométricas, confeccionando mapa de IED da bacia hidrográfica, além de mapeamento hidro-geomorfológico funcional, como consta em Coelho Netto et al., (2006). Esse mapeamento visa permitir identificar áreas susceptíveis a rastejos e movimentos de massa, feições que existem, mas que ainda não foram sistematicamente mapeadas na bacia do ribeirão da Contagem.

Este estudo estará mais focado na análise dos mapas gerados com as feições erosivas existentes na bacia, pois, como dito acima, ainda não foram localizados e delimitados os movimentos de massa presentes na mesma.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem (**Figura 1**) possui área de 146km², localiza-se ao norte do Distrito Federal na Região Administrativa de Sobradinho e tem uma pequena área de sua foz localizada na cidade de Planaltina- GO.

O Ribeirão Contagem é um dos principais afluentes do Rio Maranhão, que deságua nas bacias dos rios Tocantins e Araguaia. Os tributários das direções Norte-Nordeste da bacia drenam a Área de Proteção Ambiental de Cafuringa, que é bastante preservada, enquanto os rios da face Oeste–noroeste drenam as zonas urbanas de Sobradinho e Planaltina, tendo ainda intervenções de estradas, minerações e áreas de ocupação não regularizadas.

No que diz respeito à geologia, a bacia se localiza nos grupos Canastra, Bambuí e Paranoá, compreendendo as unidades: psamo-pelitocarbonatada; calcifilitos e metassiltito argiloso. A pedologia é representada basicamente por

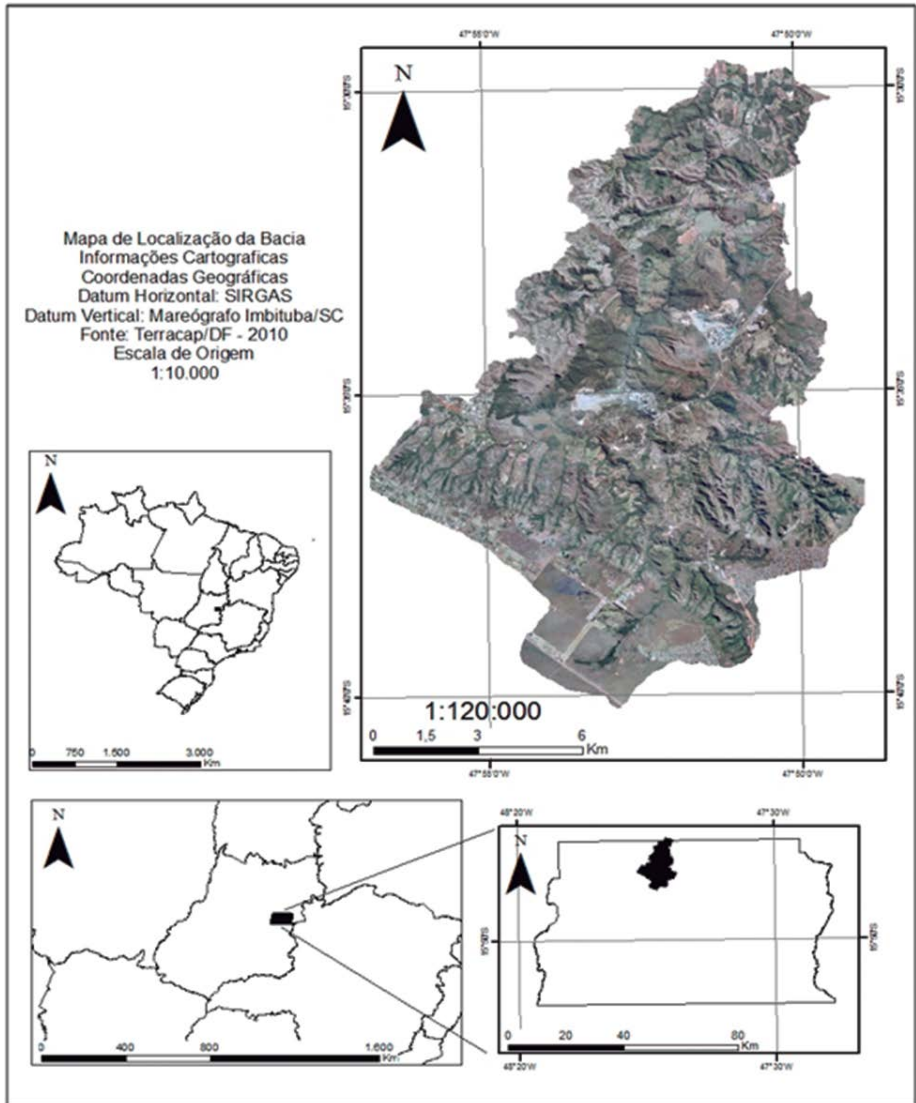


Figura 1: Mapa de localização da bacia do ribeirão contagem-DF.

latossolo, cambissolo háplico e nitossolo vermelho. Em relação à vegetação, a área compreende quase todas as fitofisionomias do Cerrado: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado *stricto sensu*, cerradão, Vereda, Mata de Galeria, além de Matas estacionais.

A área em questão apresenta considerável taxa de ocorrência de ravinas e voçorocas, conforme consta em recente mapeamento feito pela equipe do laboratório de Geografia Física – LAGEF - UnB. Segundo Braga (2012), em seu mapeamento de feições erosivas feitos na bacia do ribeirão da contagem, há 233 feições que representam 1,34% da área da bacia, a citar: voçorocas, ravinas, erosão superficial, áreas e mineração e elementos não identificados. A localização e delimitação das feições foram feitas com base no mapeamento da Terracap (2010), que abrange toda a área do Distrito Federal e dispõe de 244 ortofotocartas com resolução de 2m. A delimitação das feições na bacia foi feita manualmente (digitalização) na escala de 1:10.000. A identificação de cada classe de feição, na imagem aérea seguiu os seguintes critérios:

-Voçoroca feições incisas e de característica retilínea, onde parte do solo é exposto; conexão com a rede de canais;

-Ravinas: áreas de solo exposto; processo inicial de voçorocamento, sem forte incisão de canais, portanto sem contato com a rocha;

-Erosão superficial: Desgastes leves da superfície, onde se visualizou a formação de sulcos; menor escala em relação às demais feições mapeadas;

-Mineração: buracos provocados por atividade humana, de formato arredondado, típicas de crateras ou pequenas áreas de retirada de material para uso.

-Elementos não identificados: Não foi possível identificar apenas com a

ortofoto.

A alta ocorrência dessas feições, onde voçorocas e ravinas somam 0,9 km², ainda se integra a movimentos gravitacionais de solo, que também são observados na área, ainda que não tenham sido mapeados, promovendo um aumento da vulnerabilidade da bacia à erosão. Esses resultados mostram que atualmente a região passa por um quadro de instabilidade morfodinâmica.

MATERIAL E MÉTODO

A metodologia utilizada na elaboração do presente trabalho foi dividida em duas etapas principais (**Figura 2**). Na primeira fase, foi feita a confecção dos mapas de IED de segunda e terceira ordem, mapa de declividade e mapa de curvatura. Na geração do mapa do IED só foram utilizadas as bacias de segunda e terceira ordem, por estarem mais associadas aos processos geomorfológicos de encostas, sendo as outras áreas mais relacionadas a processos de deposição.

Na segunda fase, foram utilizados os mapa de IED de segunda ordem e o mapa de IED de terceira ordem para gerar o mapa de IED final da bacia. Para fazer o mapa de formas da bacia, foi usado os mapa de curvatura e o mapa de declividade. Por fim, para chegar no mapa hidro-geomorfológico foi utilizado o mapa IED final e o mapa de formas.

A primeira e a segunda etapa da metodologia estão relacionadas com as análises morfométricas e com cruzamento dos mapas gerados (IED e de formas) com os dados de feições erosivas da bacia. Já a terceira etapa (resultado final), está mais associada à identificação de áreas susceptíveis a rastejos e movimentos de massa, pois, como dito anteriormente, ainda não existem muitos estudos feitos na bacia com relação a dinâmica de erosão dos solos nas encostas.

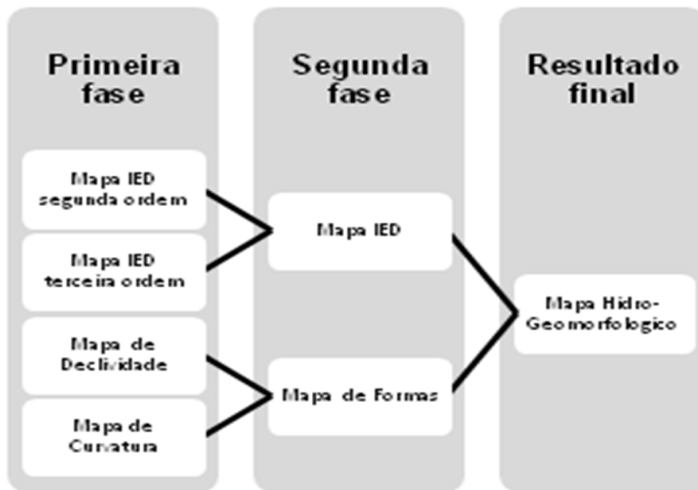


Figura 2: Fluxograma metodológico.

Organização e busca da base de dados

Para a realização desse trabalho foi preciso reunir os mapeamentos de feições, altimetria, hidrografia e de delimitação da bacia hidrográfica, organizando-os em uma mesma base de dados georreferenciadas, utilizando o *software* ArcMap 9.3.

Os mapeamentos de feições erosivas, a delimitação da bacia hidrográfica e a hidrografia dos canais restituídos utilizados neste trabalho foram feitos por Braga (2012), sendo a base altimétrica feita pela Terracap (2010). Todos esses dados são vetoriais (feições erosivas, altimetria, hidrografia e limite da bacia) e estão na escala de 1:10.000, estando no sistema de projeção cartográfica UTM zona 23S e Datum SIRGAS.

Construção do Mapa do Índice de eficiência de drenagem

A delimitação automática das sub-bacias é feita por meio da extensão ArcHydro do *software* ArcMap 9.3. O processo de delimitação de bacias hidrográficas se dá por meio de um Modelo Digital de Terreno (MDT) no formato *raster*. Nesse processo são gerados as seguintes informações: a) direção de fluxo, b) fluxo acumulado c) definição da rede de drenagem no formato *raster*, d) segmentação da drenagem e) delimitação das bacias e f) Conversão das Bacias por trecho de formato *grid* para formato vetorial.

No processo de geração da direção do fluxo, utilizou-se o método D8. O algoritmo D-8 introduzido por O'Callaghan e Mark (1984) apud Tarboton (1997) define que, a partir de uma célula central envolvida por oito células vizinhas, a direção do fluxo da célula central terá que se descolar para somente uma célula vizinha que apresentar a maior declividade em relação às outras.

Para o preparo do MDE, foi primeiramente gerado um modelo digital de terreno em formato TIN (triangulação) com os dados de referência: curvas de nível, linha de rios e córregos e limite da bacia. Após a geração do TIN, foi feita a conversão do MDE em formato TIN. Para a geração do MDE fixou-se o valor de 5 metros para a célula.

Posteriormente a esse processo, foram geradas as áreas de contribuição da bacia, porém a delimitação automática em muitos casos não seguiu os divisores de água com precisão, principalmente próximo à foz da bacia, e não houve a delimitação de todas as bacias. Foram corrigidos manualmente os problemas com as delimitações das bacias. Após os ajustes, as bacias de primeira ordem foram agrupadas em bacias de segunda ordem; posteriormente, estas foram agrupadas em bacias de terceira ordem.

Para cada bacia foi gerado um vetor (linha) para o cálculo da extensão do

eixo côncavo principal. O vetor gerado é traçado com relação à cota de cada sub-bacia, da cota maior para a cota menor (**Figura 3**). Além disso, foram efetuados os cálculos de desnivelamento para todas as bacias geradas. Também foram calculadas as extensões dos canais de drenagem por bacia a partir da intersecção entres as bacias e a rede de canais homogênea, além das áreas de cada bacia. Com estes parâmetros definidos, foram feitos os cálculos de gradiente topográfico, densidade de drenagem e índice de eficiência de drenagem para as bacias de segunda e terceira ordens.

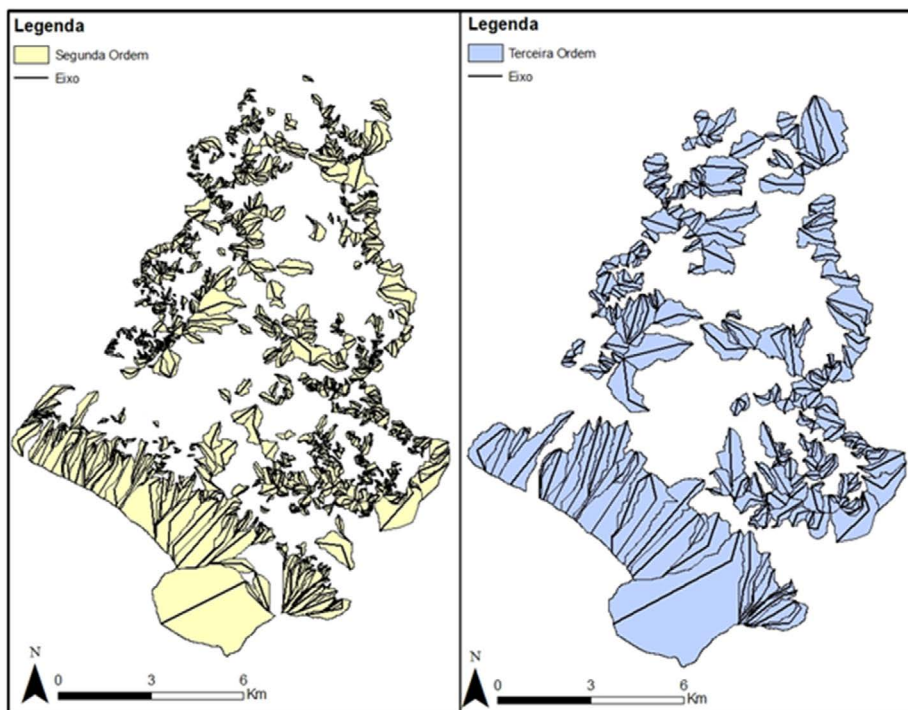


Figura 3: bacias de segunda e terceira ordem com o eixo côncavo principal.

Geração do mapa hidro-geomorfológico

a) Mapa de curvatura

A curvatura foi gerada através do *software* ArcMap 9.3, com a ferramenta *Curvature*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. O MDT foi gerado através da ferramenta *Topo To Raster*.

A amplitude de valores foi de -842,967 a 1109,85. O *raster* foi reclassificado em 3 classes: superfície côncava, convexa e retilínea. Foi utilizada a classificação de Valeriano (2003) para curvatura vertical, onde: Côncavo: -0,175 °/m até -0,010°/m; Retilíneo: -0,010°/m até +0,010°/m e Convexo: +0,010°/m até +0,173 °/m (**Figura 4a**).

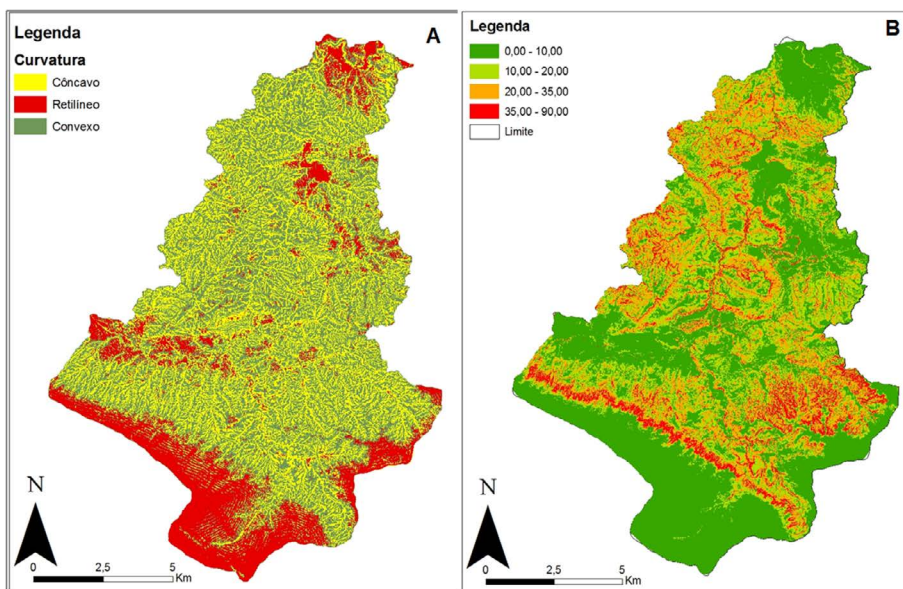


Figura 4a: Mapa de curvatura da bacia da Contagem/DF; b) Mapa de declividade da bacia da Contagem/DF.

b) Mapa de Declividade

A declividade foi gerada com a ferramenta *Slope*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. Os valores variaram entre 0 e 90% (**Figura 4b**). O *raster* foi reclassificado em 4 classes (0° a 10°), (10° a 20°), (20 a 35°), (10° a 20°) e (>35°). As classes foram definidas a partir dos valores referência do trabalho feito por Coelho Netto et al., (2006)

c) Mapa de Formas

Foi gerado mapa de formas segundo os critérios de Coelho Netto et al., (2006). Áreas com declividade >10° foram consideradas com potencial deposicional. Áreas côncavas com declividade de 10-20° correspondem a áreas de fundo de vale, onde depósitos coluviais permanecem estáveis, entre 15 ° e 17° os lençóis freáticos rasos tendem a favorecer a ocorrência de rastejamento. Encostas convexo-retilíneo >35° também estão associadas com alto potencial de deslizamentos de terra (**Tabela 1**).

Tabela 1: Relação forma do relevo e declividade (potencial erosivo).

	0° - 10°	10° - 20°	20° - 35°	>35°
Côncavo	Baixo	Alto	Alto	Alto
Retilíneo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Convexo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto

A partir desses parâmetros foi feito a classificação do mapa hidrogeomorfológico em áreas de alto, médio e baixo potencial erosivo. Juntou-se a classificação do IED (alto, médio e baixo) à classificação feita entre a declividade e a curvatura (baixo e alto), o que resultou em seis classificações: Alto-alto, Alto-baixo, Médio-alto, Médio-baixo, Baixo-alto e Baixo-baixo, (**Figura 5**). A partir disso, gerou-se outra classificação, onde foram agrupadas em apenas

três classes: Alto, Médio e Baixo. As áreas em branco foram consideradas regiões de deposição.

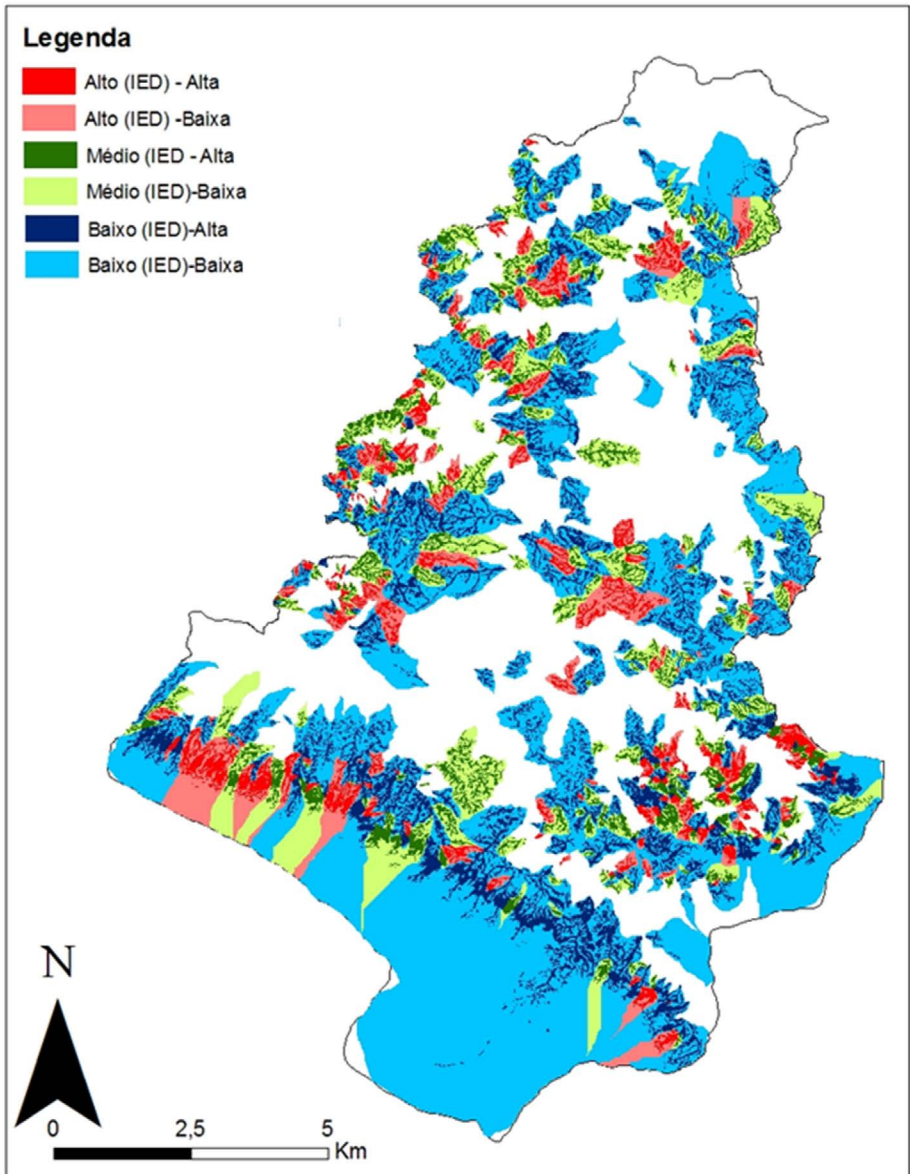


Figura 5: Classificação do IED e potencial erosivo da bacia do ribeirão contagem

RESULTADO E DISCUSSÃO

Análises linear e areal da bacia do ribeirão contagem-DF

A bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem possui uma área de 146 km², 17,8 km de comprimento. A bacia possui 4812 canais, sendo que 179 (4%) são desconectados da rede de drenagem. Na análise do comportamento da bacia, constatou-se uma hierarquia fluvial de sétima ordem.

A bacia estudada apresenta uma densidade de drenagem de 5.7 Km/Km² e uma densidade de canais de 32,9 canais/km². A tabela abaixo (**Tabela 2**) mostra a quantidade de canais existentes da bacia para cada ordem hierárquica e suas respectivas extensões em km. Apesar dos canais de primeira ordem serem de menores comprimentos, a soma total deles foi de 436 km, isso se deve ao elevado número de canais de primeira ordem mapeados na região (3658). Os canais de primeira ordem representam 76% dos canais existentes, isso mostra que é uma bacia bastante dissecada.

Tabela 2: dos canais com seus respectivos números de canais e extensão.

Ordem dos Canais	Nº de Canais	Extensão (km)
1 ^a	3658	436,5
2 ^a	846	163,2
3 ^a	209	114,4
4 ^a	49	48,1
5 ^a	26	33,3
6 ^a	4	16,13
7 ^a	1	20,7
Total	4811	832,6

A **figura 6** mostra a relação entre o número total de canais e a soma total de suas extensões em quilômetros. É possível observar que há uma grande diferença entre o número de canais e a extensão, principalmente com relação

aos canais de primeira e segunda ordem (**Tabela 2**). Segundo Christofolletti (1980), há uma relação inversa entre a quantidade de canais e o comprimento deles, isso explica o porquê da quantidade de número de canais de primeira ordem ser muito superior a sua extensão (km).

Mapa de Índice de eficiência de drenagem (IED)

Para as bacias de segunda ordem, os valores de índice de eficiência de drenagem (km/km^2) variaram entre 0,02 e 27,72 (**Figura 7**), com média de 4,515284. Percebe-se que as bacias estão concentradas no IED baixo e médio, ficando poucas bacias no IED alto.

De acordo com o gráfico (**Figura 8**), nota-se que as bacias de segunda ordem, em sua maioria, são de IED baixo, seguido do IED alto e depois do médio. Ou seja, a maioria das bacias de segunda ordem se encontra em áreas com pouca densidade de drenagem, com pouca declividade e/ou são bacias mais alongadas (comprimento do eixo côncavo principal).

As bacias de terceira ordem apresentaram valores de índice de eficiência de drenagem (km/km^2) entre 0,04 e 18,56 (**Figura 8**), com média de 2,48. Na **figura 9**, observa-se que as bacias estão concentradas no IED baixo e médio, ficando poucas bacias no IED alto.

Com relação ao gráfico (**Figura 10**), percebe-se que as bacias de terceira ordem, em sua maioria, são de IED baixo, seguido do IED médio e depois do alto. Ou seja, a maioria das bacias de terceira ordem se encontra em áreas com pouca densidade de drenagem, com pouca declividade e/ou são bacias mais alongadas (comprimento do eixo côncavo principal).

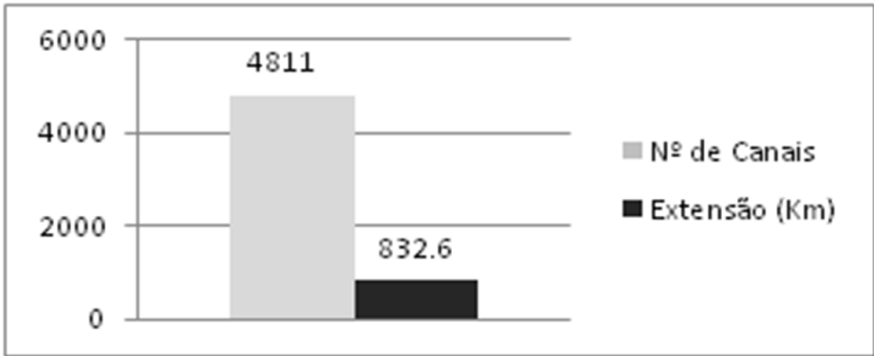


Figura 6: Relação entre numero de canais e sua extensão (km).

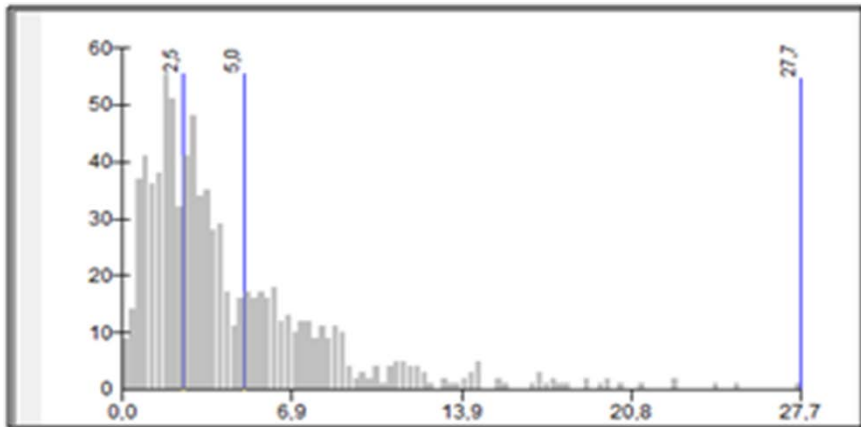


Figura 7: Histograma de frequência de valores de IED para bacias de segunda ordem.

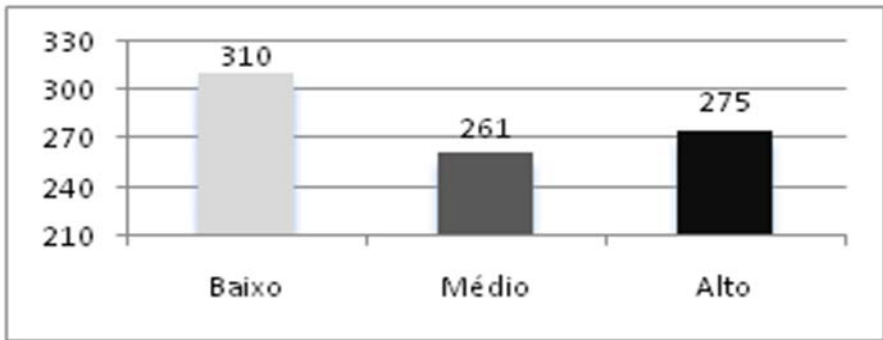


Figura 8: Número de bacias de segunda ordem por classe de IED.

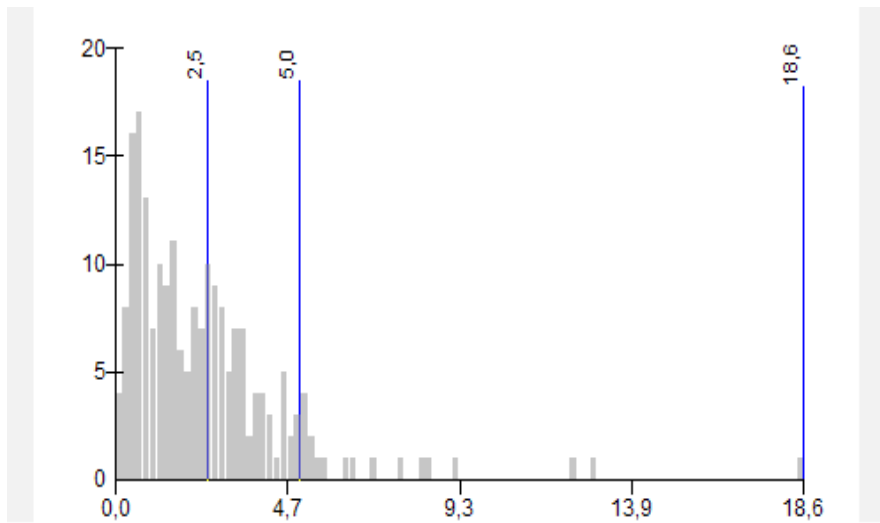


Figura 9: Histograma de frequência de valores de IED para bacias de terceira ordem.

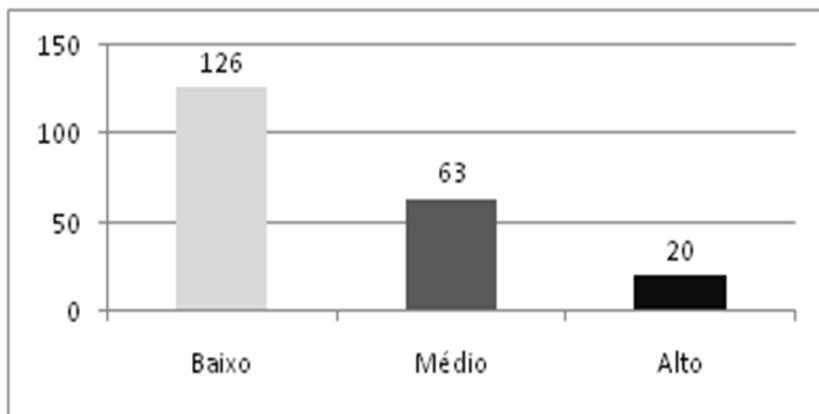


Figura 10: Número de bacias de terceira ordem por classe de IED.

A sobreposição do mapa de IED de bacias de segunda ordem com o mapa de IED de bacias de terceira ordem (com os mesmos valores para as classes) gerou um mapa de IED final com a junção das bacias de segunda e terceira ordens, abrangendo, assim, mais regiões da bacia. **(Figura 11)**.

Índice de Eficiência de Drenagem e feições erosivas

Foram mapeadas por Braga (2012) as feições erosivas existentes na bacia do ribeirão da Contagem, onde foi encontrado um total de 233 feições, dentre elas: 90 voçorocas, 57 ravinas, 42 erosões superficiais, 29 minerações e 15 elementos não identificados. Foi observado que existem 87 feições erosivas em 37,92 km² das bacias de IED baixo, 58 feições erosivas em 16,69 km² das bacias de IED médio e 23 feições erosivas em 12,53 km² das bacias de IED alto.

Foi verificado um controle geológico em relação às feições erosivas e à geologia da bacia. Observou-se uma correlação entre voçorocas e a litologia clorita filitos. Apesar da litologia clorita filitos representar apenas 3% da bacia, há uma forte ocorrência de feições erosivas por km². **(Tabela 3)**.

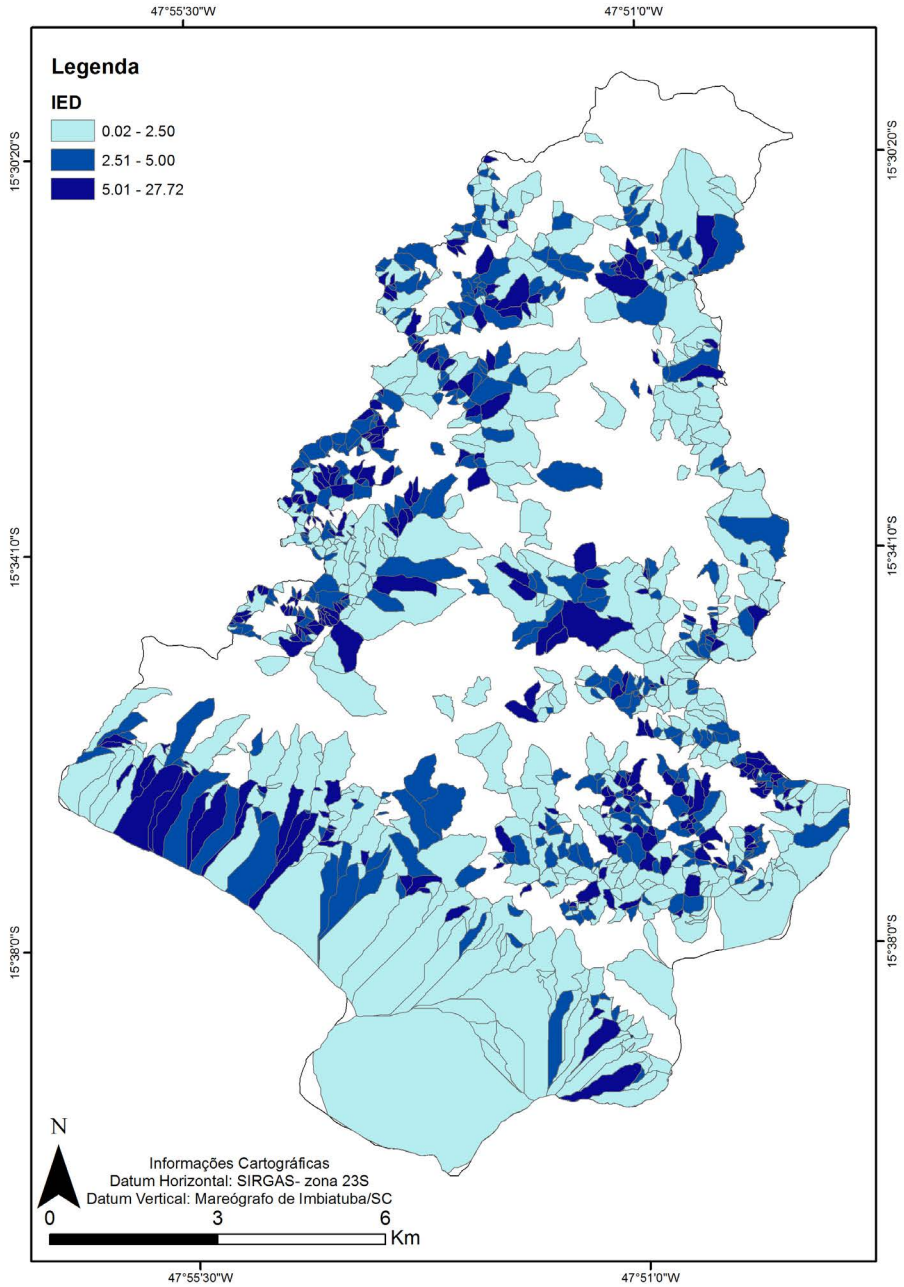
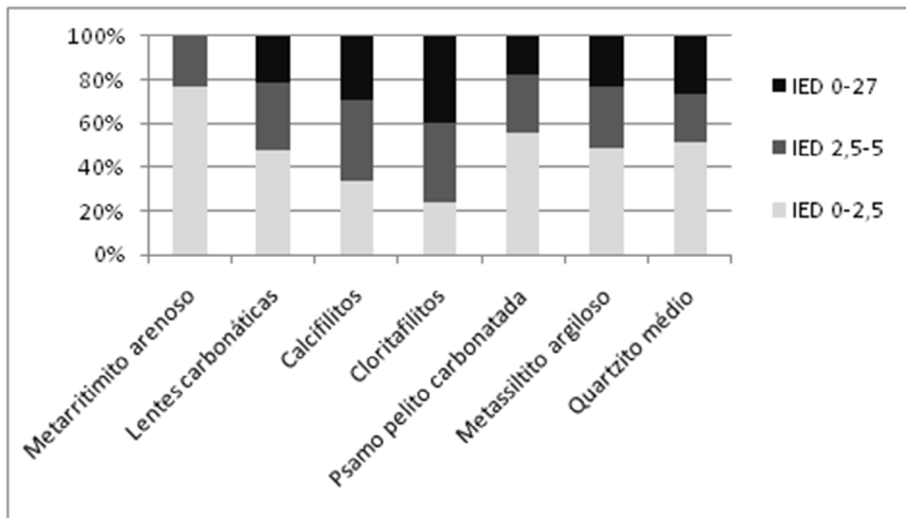


Figura 11: Mapa do IED da bacia do ribeirão contagem.

Tabela 3: Ocorrência das feições erosivas em cada litologia por Km². (Braga, 2012).

Litologia/Feições	Voçoroca	Ravi- na	E.Su- perf.	Minera- ção		Total
PsamoPelitoCarbonatada	45	26	17	24	6	118
Metassilito Argiloso	24	11	14	3	4	56
Calcifilito	7	12	3	1	3	26
Clorita Filitos	9	6	3	0	1	19
Quartzito Médio	5	1	1	1	1	9
Lentes Carbonáticas	0	1	4	0	0	5
Metarritmito Arenoso	0	0	0	0	0	0
Total	90	57	42	29	15	233

Ao fazer o cruzamento entre a geologia e o mapa de IED da bacia, foi possível perceber que a participação da litologia clorita filito cresce ao passo que o IED aumenta e que aproximadamente 80% dessa litologia encontram-se no IED médio e alto, estando sua maior parte no IED alto (5-27) (**Figura 12**).

**Figura 12:** Distribuição da geologia por classe IED.

O índice de eficiência de drenagem integra parâmetros morfométricos relativos à densidade de drenagem e gradiente topográfico em vales de cabeceiras de drenagem, áreas onde os processos hidrológicos e erosivos de encostas prevalecem sobre os processos fluviais na denudação do relevo, como proposto por Coelho Netto et al., (2006).

Ao cruzar as feições erosivas com o mapa de IED da bacia, foi verificado que 180 das 233 feições erosivas ficaram dentro da área do IED gerado, sendo 90 (50%) feições erosivas no IED entre 0-2,5; 58 (32%) feições no IED entre 2,5-5 e 33 (18%) feições no IED entre 5-27.

Pelo fato do mapa IED ser formado por bacias de segunda e terceira ordens, que por sua vez estão na escala dos processos geomorfológicos das encostas, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia.

Pela classificação e fórmula do IED segundo Coelho Netto et al., (2006), $IED = G \times Dd$, percebe-se que a maioria das feições erosivas ficaram em regiões de baixo IED, ou seja, ficaram em áreas onde o gradiente é baixo e/ou a densidade de drenagem é baixa. Pode-se dizer também que são áreas onde o comprimento da bacia (eixo côncavo principal) é maior que o desnivelamento, já que a fórmula do gradiente é: $G = \text{Desnivelamento} / \text{Eixo côncavo principal}$. Em suma, as feições erosivas ficaram em regiões em bacias mais alongadas (maior comprimento) e pouco declivosas. Apesar das feições erosivas estarem no geral em áreas de baixo IED, a média de todas as feições erosivas ficou com um IED médio, isso se deve ao fato de ter alguns índices bastante elevados.

Mapa de formas

O mapa de formas (**Figura 13**) foi gerado segundo os critérios de Coelho Netto et al., (2006), onde as áreas com declividade $> 10^\circ$, foram consideradas com potencial deposicional; áreas côncavas com declividade de $10-20^\circ$ correspondem

a áreas de fundo de vale, onde depósitos coluviais permanecem estáveis; áreas entre 15-17° apresentam lençóis freáticos rasos e tendem a favorecer a ocorrência de rastejamento; e regiões de encostas convexo-retilíneo >35° também são áreas que estão associadas com um alto potencial de deslizamentos de terra. No mapa de formas, a maioria das feições (55%) ficou em áreas de alto potencial erosivo e 45% ficou em áreas de baixo potencial erosivo.

A declividade é um fator que interfere de maneira direta no escoamento superficial, sendo função inversa da infiltração da água no solo, ou seja, quanto maior a declividade menor a taxa de infiltração e quanto mais inclinada uma vertente, maiores são os riscos de processos erosivos se acentuarem (Cunha, 1991). Na bacia do Ribeirão da Contagem, a declividade varia de 0 a 90 graus, sendo sua média de 15 graus. De acordo com a classificação usada por Fernanda Xavier (2010), a bacia do Ribeirão da contagem tem um potencial erosivo forte.

Segundo Blaszczyński (1997), a forma da superfície terrestre é fundamental para o entendimento dos processos e transformações que ocorrem em um terreno, influenciando o fluxo d'água e o transporte de sedimentos. Para entender o processo de aceleração ou desaceleração do fluxo de água é importante identificar as formas do tipo côncavo, retilíneo e convexo do relevo.

Na bacia estudada, 36% da geometria do relevo é formada por áreas côncavas, 19% por retilíneas e 46% por formas convexas. As feições erosivas ficaram mais concentradas nas áreas côncavas das encostas 62%, tendo 36% nas áreas convexas e apenas 2% nas regiões retilíneas. Apesar das formas convexas possuírem uma maior expressividade na bacia (46% da bacia), as feições erosivas ficaram mais concentradas nas regiões côncavas do relevo, que são regiões onde há uma grande concentração de fluxo. Tal característica contribui para que processos erosivos aconteçam, uma vez que essas regiões possuem uma fragilidade ambiental maior.

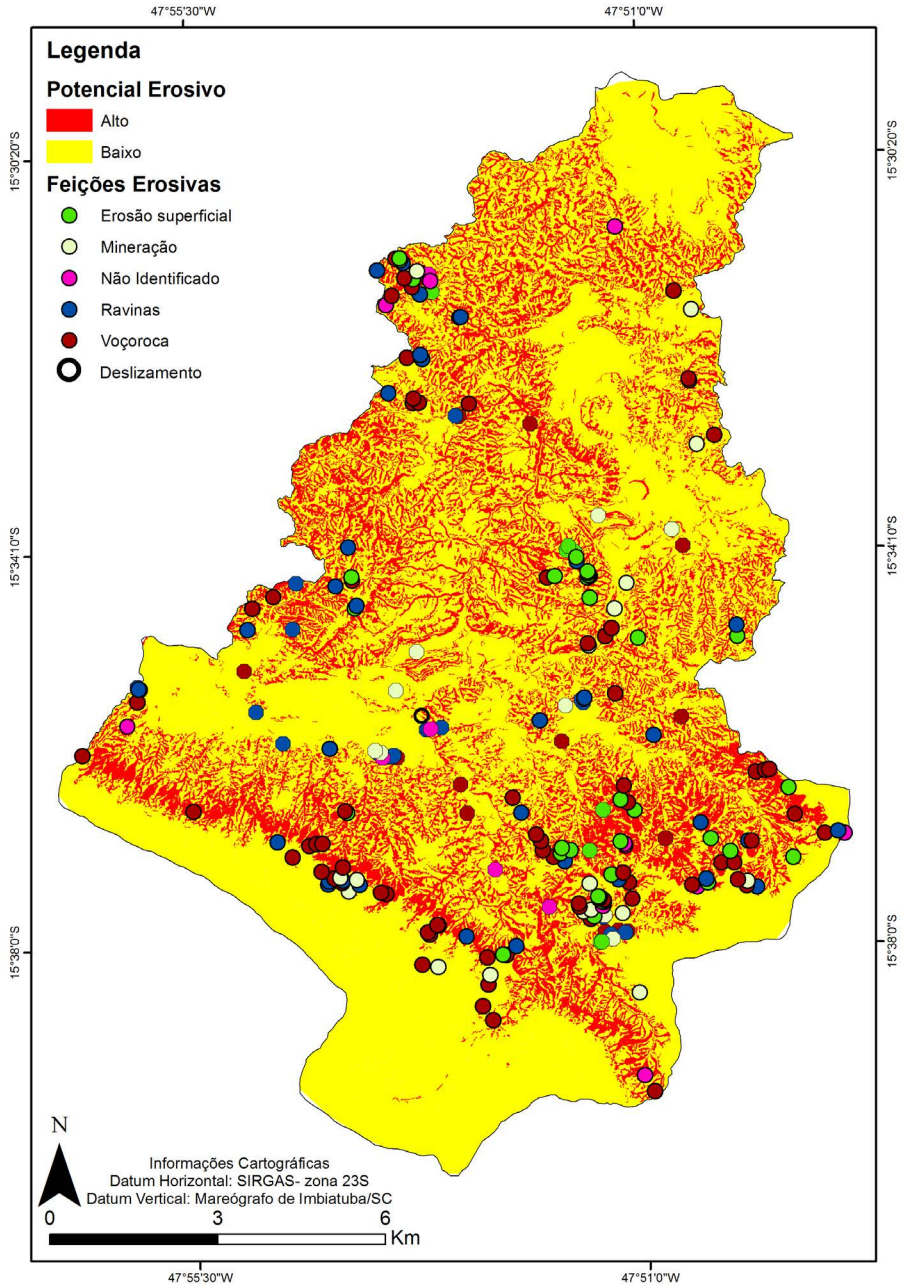


Figura 13: Mapa de formas da bacia do ribeirão contagem com feição erosivas.

As regiões côncavas ou depressões topográficas são amplamente reconhecidas como um importante controle geomorfológico dos principais caminhos de fluxo de água, pois os fluxos tendem a divergir em topografias convexas e a convergir nas côncavas. Em zonas de cabeceiras, os canais menores tendem a alimentar outro canal maior até atingir o canal principal. Isto significa que tanto os fluxos superficiais quanto subsuperficiais tenderam a convergir para região mais baixa do eixo côncavo principal, aumentando, assim, a eficiência da drenagem. Esse mecanismo oferece condições favoráveis para incisão de canal e seu crescimento a montante de modo a criar ambientes propícios a deslizamentos (Coelho Netto, 2003).

Mapa Hidro-Geomorfológico da Bacia do Ribeirão Contagem

O mapa hidro-geomorfológico (**Figura 14**), leva em conta o caminho de fluxos de água. Ele sintetiza relevantes parâmetros morfométricos que podem afetar o potencial de iniciação aos movimentos de massa e outros processos erosivos, tais como o valor do IED, a geometria das encostas e os ângulos de inclinação críticos. Segundo Guerra e Cunha (2008), movimento de massa é um *movimento coletivo do solo e/ou rocha, onde a gravidade/declividade possui um papel significativo. A água pode tornar ainda mais catastrófico, mas não é necessariamente o principal agente desse processo.*

O mapa foi gerado a partir dos mapas de IED e de formas. O mapa hidro-geomorfológico da bacia foi classificado em três classes de alto, médio e baixo potencial erosivo. Segundo Coelho Netto et al., (2006), as áreas com declividade maiores que 10°, foram consideradas com potencial deposicional. Áreas côncavas com declividade entre 10° e 20° correspondem a áreas de fundo de vale, onde depósitos coluviais permanecem estáveis. Entre 15° e 17° os lençóis freáticos rasos tendem a favorecer a ocorrência de rastejamento. Encostas

convexo-retilíneas maiores que 35° também estão associadas com alto potencial de deslizamentos de terra. O mapa hidro-geomorfológico resultante possui classificação em três níveis de potencial erosivo: Alto, Médio e Baixo.

Segundo os critérios aqui estabelecidos, o mapa resultante demonstra que há áreas susceptíveis a movimentos de massa na bacia estudada. No mapeamento feito por Braga (2012), constam: voçorocas, ravinhas, mineração, feições não identificadas e erosão superficial, porém nenhum movimento de massa foi mapeado. Provavelmente os movimentos de massa não foram demarcados, pois o mapeamento foi feito por imagens de satélite, dando-se ênfase as feições lineares.

Em saídas de campos feitas na bacia do ribeirão da Contagem foram encontrados movimentos de massa rotacionais e translacionais na calha do canal principal, porém estes ainda não foram mapeados. Devido ao fato de os mapas hidro-geomorfológico e de IED abrangerem só as bacias de segunda e terceira ordem, os movimentos de massa não corresponderam a sua área. Porém de acordo com o mapa de formas, um dos movimentos de massa que vem sendo estudados por Braga (2012) está localizado em uma área de alto potencial erosivo (**Figura 13**).

A maioria das feições erosivas, principalmente as voçorocas, ficaram em áreas de baixo potencial erosivo. Cabe lembrar que as áreas de alto potencial erosivo deste mapa estão mais relacionadas aos movimentos de massa, por causa dos parâmetros já mencionados acima.

A bacia estudada possui, no geral, um baixo potencial erosivo, pois 66% de sua área se encontra em regiões de baixo potencial erosivo, 20% de médio e 14% alto potencial erosivo. O motivo pelo qual, provavelmente, a maioria das feições mapeadas foram erosões lineares, se deve ao fato de que apenas 34% das áreas classificadas possuem susceptibilidade a movimentos de massa. As

feições erosivas lineares da região podem estar sendo geradas por ajuste de declive induzido pela ação antrópica, à nova condição hidrológica das encostas, mesmo em áreas planas.

CONCLUSÃO

Com a hierarquização da rede de drenagem da bacia do Ribeirão contagem, pode-se chegar à conclusão de que é uma bacia de sétima ordem, em que há uma alta densidade de canais de 32,9 canais/km² (possui 4812 canais , dos quais 179 são desconectados da rede de drenagem) e uma alta densidade de drenagem de 5.7 Km/Km².

No trabalho realizado por Braga (2012), foi verificado um controle geológico em relação às feições erosivas e a litologia clorita filito. Ao cruzar o IED com a litologia em questão, foi possível perceber que a maior parte litologia encontrava-se em áreas onde o IED é alto ou médio, logo esse controle geológico pode estar ligado a sua posição nas encostas, pois essa litologia se encontra em bacias menores (comprimento do eixo côncavo principal), com uma alta densidade de drenagem e/ou em áreas mais íngremes.

Pelo fato do mapa IED ser formado por bacias de segunda e terceira ordens, e estas estarem na escala dos processos geomorfológicos das encostas, ao cruzar as feições erosivas com o mapa de IED da bacia, verificou-se que 180 das 233 feições erosivas ficaram dentro da área do mapa IED gerado, ou seja, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia.

A partir do mapa de curvatura, observou-se que as feições erosivas ficaram mais concentradas nas áreas côncavas das encostas, apesar das formas convexas possuírem uma maior expressividade na bacia (46% da bacia é formada por regiões convexas). Isso provavelmente se deve ao fato de que nas regiões côncavas há uma grande concentração de fluxo, podendo contribuir para que

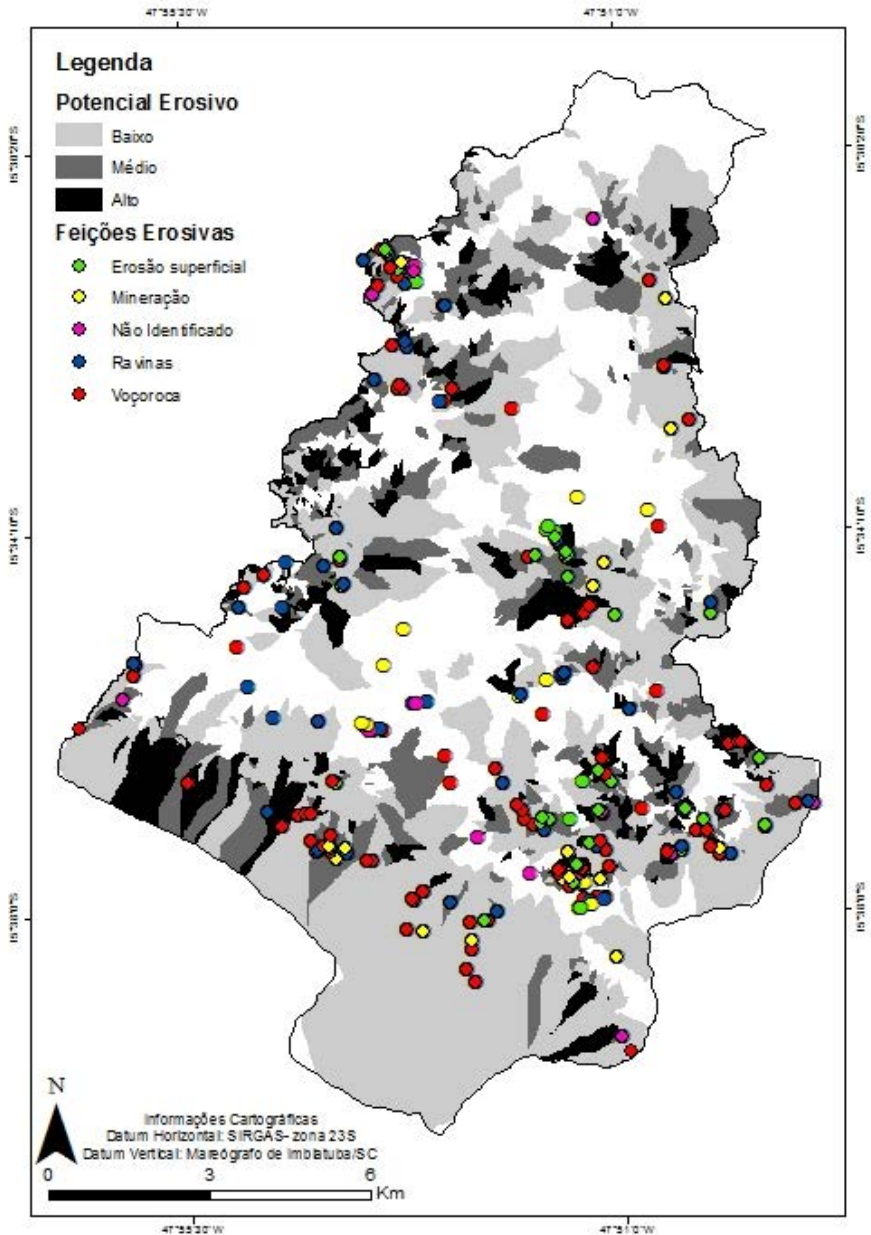


Figura 14: Mapa hidro-geomorfológico da bacia do ribeirão contagem com as feições erosivas.

processos erosivos aconteçam, pois estas possuem uma fragilidade ambiental maior.

O mapa hidro-geomorfológico mostrou áreas com potencialidade erosivas, com ênfase nos movimentos de massa. Observou-se que a bacia estudada possui, no geral, um baixo potencial erosivo, porém existem áreas com alto grau erosivo (que são regiões de suscetibilidade a movimentos de massa), mesmo que essas feições não tenham sido ainda mapeadas na bacia. Futuros projetos podem ser feitos para localizar e estudar esses rastejamentos e movimentos de massas na região.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BLASZCZYNSKI, J.S., 1997. Landform characterization with geographic information systems, Photogrammetric Engineering 6 Remote Sensing, 63(2):183-191.
- BRAGA, Ligier. Mapeamento de Feições Erosivas e Rede de Canais no Ribeirão Contagem Distrito Federal. 2012. x, 83 f., il. Monografia (Bacharelado em Geografia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 236p. 1999.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia. 2º ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 188p. 1980.
- COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; FERNANDES, M.C. & LACERDA, W.A. 2006. Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric
- Coelho Netto, A.L., 2003. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul, SP/RJ: a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. Revista Brasileira de Geomorfologia ano 4 (2), 118–167 Subdivision of the Terrain. In: GEOMORPHOLOGY.

- COELHO NETTO, A.L; GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. In: COELHO NETTO, A.L. (org). Hidrologia de encostas da interface com a geomorfologia. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994.
- CUNHA, S.B& GUERRA, A.J.T. - A questão ambiental: Diferentes abordagens. 4ª edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008.
- CUNHA, M. A. (Coord.). Ocupação de encostas. São Paulo: IPT, 1991. 213 p. (Publicação IPT 1831).
- SANTOS, Raina Ferreira. Estudo dos controles morfométricos a feições erosivas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF. 2013. x, 83 f., il. Monografia (Bacharelado em Geografia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- TARBOTON, D. G., “A new determination of flow directions and upslope areas in grid Digital Elevation Models”. *WaterResourcesResearch*, 33(2), Logan, p.309-319, 1997.
- VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010.
- XAVIER, F. V. ; [CUNHA, K. L.](#) ; SILVEIRA, Alexandre ; SALOMÃO, F. X. T. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando sistemas de informações geográficas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 11, p. 51-60, 2010.
- ZEE-RJ. Análise e Qualificação Sócio-Ambiental do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:100.000) subsídios ao Zoneamento Ecológico-Econômico. 2009. Disponível em: <http://www.sematur.rj.gov.br/pages/outros_projetos/outrosproj_pdbsepetiba_zoneamneto.html>.