



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Projeto Final em Geografia

Estudo dos controles morfométricos a feições erosivas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF.

Raina Santos Ferreira

Brasília, Dezembro de 2013



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Projeto Final em Geografia
Professor orientador: Rogério Uagoda

Estudo dos controles morfométricos a feições erosivas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF.

Raina Santos Ferreira

Monografia apresentada ao curso de Geografia, do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geografia, sob orientação do Professor Rogério Uagoda.

Brasília, Dezembro de 2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

Estudo dos controles Morfométricos à feições erosivas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF.

Banca examinadora, como consta em ata

Prof. Dr. Rogério Uagoda - Orientador
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Roberto Trancoso Gomes
Universidade de Brasília

Msc. Bruno Esteves Távora
Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos -
PTARH - UNB

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Raina Ferreira

Estudo dos controles morfométricos à feições erosivas na bacia hidrográfica do
ribeirão da Contagem/DF.

Raina Santos Ferreira - Brasília, 2013

xxiii. f.:il

Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade de Brasília-
UnB, Programa de Graduação em Geografia -, 2013

Orientador: Rogério Uagoda

1.Geomorfologia 2.Morfometria

Universidade de Brasília. Programa de Graduação em Geografia. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família por sempre estarem ao meu lado. Agradeço ao meu orientador Rogério Uagoda, graças a ele, descobri uma área da geografia que eu realmente gosto de estudar, tive muita sorte de tê-lo em minha vida. Agradeço aos excelentes professores que encontrei no caminho. Meus sinceros agradecimentos ao Professor Roberto Gomes, sempre muito prestativo, e muito obrigada por ter aceitado fazer parte da minha banca. Gostaria de agradecer também as amizades que fiz durante a vida. A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise morfométrica orientada a bacias hidrográficas, na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF, cruzando os dados resultantes com o mapeamento de feições erosivas, buscando identificar unidades com diferentes susceptibilidades à erosão, com a confecção de proposta de mapeamento Hidro-Geomorfológico da bacia. Este mapa 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).

Foi utilizado mapeamento da reconstituição dos canais feitos por Ligier Braga (2012) e a base cartográfica Terracap/DF, em escala 1:10.000. A base também serviu para a obtenção de Modelos Digitais de Terreno, morfometrias e para a confecção do mapa do Índice de Eficiência da Bacia. Outras bases foram consultadas para montar o restante dos mapas. Os dados foram elaborados e cruzados em Sistema de Informações Geográficas (ArcGis 9.3), permitindo a construção de tabelas e gráficos. Com relação ao mapa de Índice de Eficiência de Drenagem gerado a partir das bacias de segunda e terceira ordem, observou-se que as bacias de segunda ordem possuem valores de IED (km/km^2) 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/km^2) entre 0,0495 e 18,5616, com média de 2,484258 (IED baixo). Pelo fato do mapa IED ser formado bacias de segunda e terceira ordens, e estas estarem na escala dos processos geomorfológicos das encostas, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia, de acordo com as feições mapeadas por Braga (2012).

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, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam, 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, porém existem área com um alto grau erosivos (que são regiões de suscetibilidade a movimentos de massa), no entanto ainda não foram mapeados esse tipo de evento na bacia.

Futuros projetos podem ser feitos para mapear e estudar esses rastreamentos e movimentos de massas na região.

Palavras-chave: Geomorfologia, Bacia Hidrográfica, Morfometria, Índice de Eficiência de Drenagem, Declividade, Curvatura, Mapa Hidro-Geomorfológico.

ABSTRACT

This work aims to create a morphometric analysis oriented to the catchment on the Contagem Basins/DF. We are seeking to identify rates of erosion susceptibility from a hydro-Geomorphological map proposal. The map was generated crossing the drainage efficiency index (DEI) and the morphological map (slope and curvature).

We used the channel reconstitution of channels and the erosion features map made by Braga (2012) in a 1:10.000 scale topographical map (Terracap/DF). This base was used to create DEM, morphometry and DEI. Maps of Soils and Lithology were used from other sources. We used the ArcMap 9.3 SIG to build Maps and create data to make tables and graphs.

Second order catchments have DEI (km/km^2) values from 0,0495 to 18,5616, with 4,515284 of average. Third order catchments have values from 0,0495 to 18,5616, with 2,484258 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, despite the fact that 49% were divided in medium and high erosion potential, What 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.

Palavras-chave: Geomorphology, Catchment, Morphometry, drainage efficiency index, Slope, Curvature, hydro geomorphological map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. localização a bacia hidrográfica do ribeirão Contagem, no contexto do Brasil e do Distrito Federal.	4
Figura 2. Geologia da bacia (modificado, Campos 2010).	6
Figura 3. Pedologia da bacia (modificado, Campos 2010).....	7
Figura 4. Vegetação da bacia (modificado da Terracap, 2010).....	8
Figura 5. Demonstração dos elementos de uma bacia (Villega 1975)	10
Figura 6. Hierarquização segundo Horton (A) e Strahler (B). (Christofolletti 1980)....	14
Figura 7. comprimento da bacia (Christofolletti 1980).....	16
Figura 8. Tipos de densidade de drenagem(Slides de fotointerpretação UnB, 2013).	18
Figura 9. Tipos de curvatura de encosta.	20
Figura 10. Demonstração do modelo SIG.	23
Figura 11. Representação de um modelo digital no sistema de coordenadas x, y e z. Extraído de Fernandes (2004).....	24
Figura 12. Hierarquização segundo Strahler (1952).....	26
Figura 13. Modelo TIN da bacia.	28
Figura 14. Modelo D-8.....	29
Figura 15. Direção de Fluxo.	30
Figura 16. Acumulação de Fluxo.....	31
Figura 17. Definição da rede de drenagem.	32
Figura 18. Divisão dos Rios.....	32
Figura 19. Delimitação das bacias.	33
Figura 20. Áreas de contribuição da bacia.	34
Figura 21. Bacias de primeira, segunda e terceira ordem.....	35
Figura 22. Bacias de segunda e terceira ordem com o eixo côncavo principal.	36
Figura 23. Bacia com eixo côncavo principal.	37
Figura 24. MDT (Topo ToRaster)	38
Figura 25. Demonstração da curvatura (Arcgis 9.3).....	39
Figura 26. Curvatura.	40
Figura 27. Curvaturas (Côncava, Convexa e Retilínea)	41
Figura 28. Declividade (Slope)	42
Figura 29. Imagem resultado do cruzamento de curvatura e declividade (potencial erosivo).....	44

Figura 30. Imagem do potencial erosivo da bacia.	46
Figura 31. Imagem de demonstração de calculo de comprimento da bacia, pelo método da maior	47
Figura 32. Porcentagem do número de canais em relação a sua hierarquia.	49
Figura 34. Relação entre numero de canais e sua extensão (km).	50
Figura 35. Imagem da hierarquia dos canais.	51
Figura 36. Valores de IED em ordem crescente para as bacias de segunda ordem.	52
Figura 37. Histograma de freqüência de valores de IED para bacias de segunda ordem.	53
Figura 38. Número de bacias de segunda ordem por classe de IED.	54
Figura 39. Valores de IED em ordem crescente para as bacias de terceira ordem. .	54
Figura 40. Histograma de freqüência de valores de IED para bacias de terceira ordem.	55
Figura 41. Número de bacias de terceira ordem por classe de IED.	56
Figura 42. Imagem do IED da bacia.	57
Figura 43. Litologias da Bacia do Ribeirão do Gama. (modificado, Campos 1999). .	58
Figura 44. Distribuição da litologia por IED.	60
Figura 45. Distribuição da geologia por classe IE	60
Figura 46. Porcentagem de IED na litologia Clorita Filito	61
Figura 47. Imagem de localização das três unidades clorita filito com feição erosivas.	62
Figura 48. Relação do IED com as três unidades de Clorita Filito.	63
Figura 49. Relação de nº de feição erosiva existente em cada unidade de Clorita Filito.	63
Figura 50. Feições erosivas por classe IED.	65
Figura 51. Média de IED por tipo de feição erosiva.	65
Figura 52. Relação declividade por feição erosiva.	66
Figura 53. Imagem da declividade da bacia com feições erosivas.	67
Figura 54. Porcentagem de forma côncavo, retilíneo e convexo da bacia	68
Figura 55. Relação feições erosivas por forma de encosta.	69
Figura 56. Imagem da curvatura da bacia com feições erosivas.	70
Figura 57. Potencial erosivo da bacia com relação à forma do relevo.	71
Figura 58. Imagem de formas da bacia.	72
Figura 59. Imagem de localização do movimento de massa da figura 63.	73
Figura 60. Relação entre feições erosivas mapeadas por Braga (2012) e potencial erosivo. As feições erosivas nas áreas de deposição foram incluídas no baixo potencial de erosão.	75

Figura 61. Porcentagem potencial erosivo geral da bacia. Não levando em conta as áreas de deposição.....	76
Figura 62. Hidro-Geomorfológico com as feições erosivas.....	77
Figura 63. Movimento rotacional na bacia do ribeirão da Contagem UTM:X:190525; Y: 8273420.....	78
Figura 64. Movimento Rotacional na bacia do ribeirão da Contagem UTM:X:190525; Y: 8273420.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de Densidade de Drenagem segundo Beltrame (1994).	17
Tabela 2. Classificação do IED por Coelho Netto (2006).	19
Tabela 3. Relação forma do relevo e declividade (potencial erosivo).	43
Tabela 4. Ordem dos canais com seus respectivos números de canais e extensão.	48
Tabela 5. Valores IED da bacia segunda ordem por número de bacia.	53
Tabela 6. Valores IED da bacia terceira ordem por número de bacia.	55
Tabela 7. Ocorrência das feições erosivas em cada litologia. (Braga, 2012).....	59
Tabela 8. ocorrência de feições (nº) por classe de litologia;) frequência de feições (nº/km²) por classe de litologia. (Braga, 2012). ..	59
Tabela 9. Grau de potencial erosivo (Xavier, 2010).	66

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	3
2.1. Objetivo Central	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. Caracterização da área	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4.1. Bacia Hidrográfica	9
4.2. Análise morfométrica em bacias hidrográficas.....	11
4.3. Análise Linear e Areal da Bacia Hidrográfica	12
4.3.1. Hierarquização da Rede de Drenagem	12
4.3.2. Área da Bacia de Drenagem	14
4.3.3. Comprimento da bacia.....	15
4.3.4. Densidade de Drenagem.....	16
4.4. Índice de Eficiência de Drenagem (IED)	18
4.5. Erosão.....	19
4.6. Análise morfométrica no ambiente SIG.....	20
5. procedimentos metodológico	24
5.1. Organização e busca das bases de dados	24
5.2. Hierarquizações dos canais	25
5.3. Construção do Mapa do Índice de Eficiência de Drenagem.....	27
5.4. Diferença de nível	36
5.5. Geração do Mapa Hidro-Geomorfológico.....	37
5.6. Mapa de declividade	42
6. Resultados e Discussão	47
6.1. Análises lineares e areais de canais e bacias.....	47
6.2. Mapa do Índice de Eficiência de Drenagem (IED)	52
6.3. Índice de Eficiência de Drenagem e feições erosivas	58
6.4. Declividade e feições erosivas	66
6.5. Curvatura e Feições Erosivas	68
6.6. Mapa de Formas e feições erosivas.....	71
6.7. Mapa Hidro-Geomorfológico da Bacia do Ribeirão Contagem.....	74

7. Conclusão.....	79
8. Bibliografia.....	81

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma unidade essencial para a geomorfologia. Os estudos relacionados às drenagens fluviais e análise da rede hidrográfica podem levar a compreensão de inúmeras questões geomorfológicas. Segundo Coelho Netto (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.

De acordo com Souza & Fernandes (2000), o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural demarcada por divisores topográficos em que cada bacia se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Seu comportamento hidrológico depende de suas características geomorfológicas: forma, área, solo, geologia, clima, rede de drenagem, cobertura vegetal, dentre outros parâmetros.

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 morfométricos, 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 Christofolletti (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 em 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, ($IED = G \times Dd$).

A região de estudo desse trabalho é a bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem. Essa área já vem sendo estudado 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 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 com 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, principalmente ao que se refere aos trabalhos sobre hidrologia de encosta, para o qual essa monografia 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.

O estudo morfométrico de uma rede de drenagem é um instrumento fundamental para o desenvolvimento de planos de gestão que visem à utilização racional do meio e o melhor entendimento da dinâmica e dos processos naturais atuantes na região, ou seja, os parâmetros morfométricos são essenciais para a manutenção e conservação do equilíbrio ambiental de uma bacia e importantes para a sua avaliação preliminar.

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.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Central

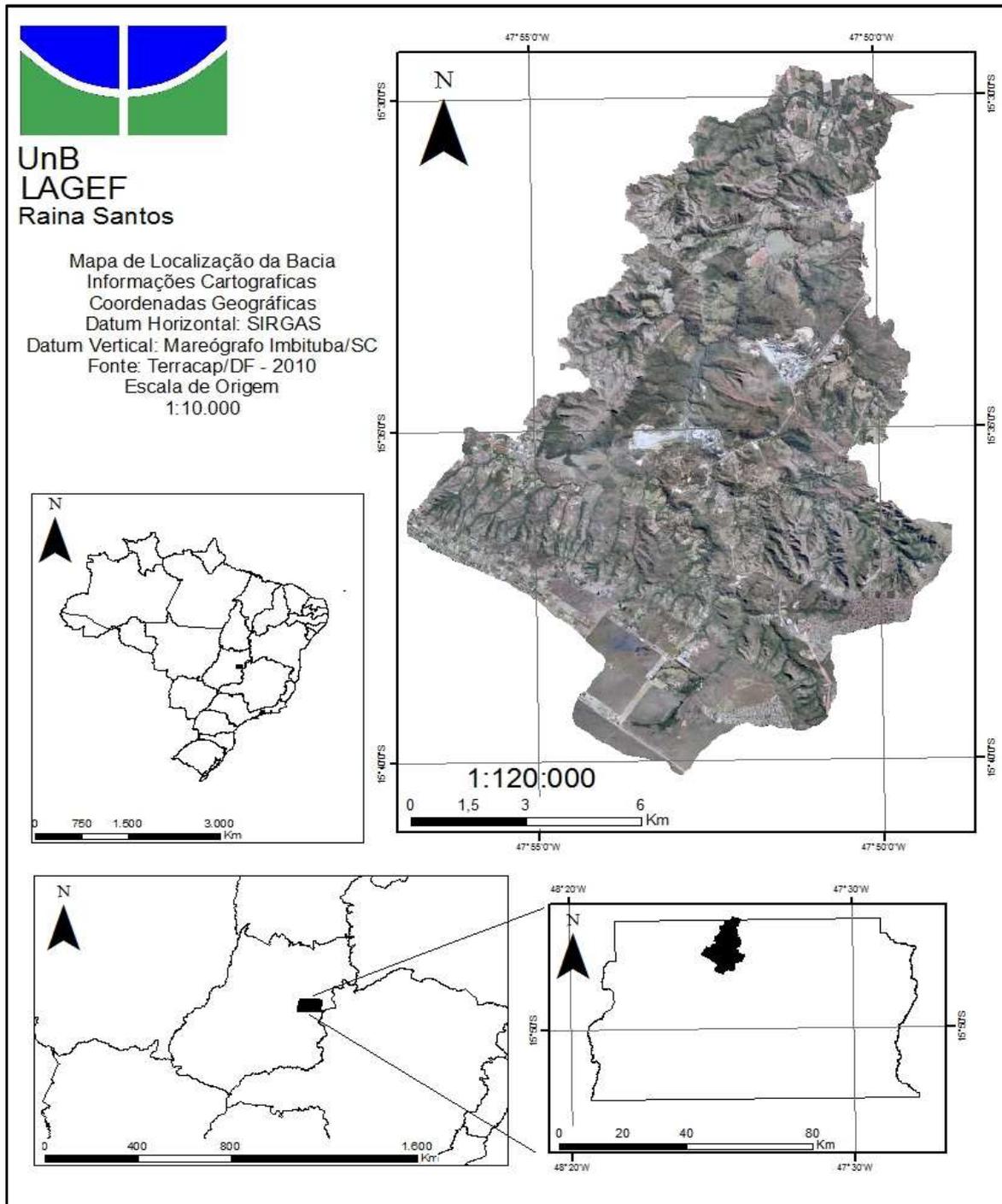
O objetivo central desse trabalho é realizar uma análise morfométrica orientada a bacias hidrográficas, na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF, cruzando os dados resultantes com o mapeamento de feições erosivas, buscando identificar unidades com diferentes susceptibilidades à erosão.

2.2. Objetivos Específicos

- Reunir todos os mapeamentos (Canais restituídos, feições erosivas, altimetria, delimitação da bacia) existentes em uma mesma base de dados georreferenciados.
- Hierarquizar segundo Strahler a hidrografia da região, individualizando os canais de primeira ordem e mapear as bacias de primeira, segunda e terceira ordem.
- Confeccionar o mapa do Índice de Eficiência de Drenagem (IED).
- Cruzar o mapa IED com a geologia e com as feições erosivas mapeadas por Braga (2012).
- Confeccionar mapa de formas da bacia (encostas côncavas, retilíneas e convexas somadas a declividades).
- Confeccionar mapa hidro-geomorfológico funcional tendo como base os mapas de IED e de formas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem 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 a geologia, segundo Campos (2010) a bacia se localiza nos grupos Canastra, Bambuí e Paranoá, compreendendo as unidades: psamopelitocarbonatada; calcifilitos emetassilito argiloso, a pedologia é representada basicamente por 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 feitas 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 alta ocorrência dessas feições, onde voçorocas e ravinas somam 0,9km², 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.

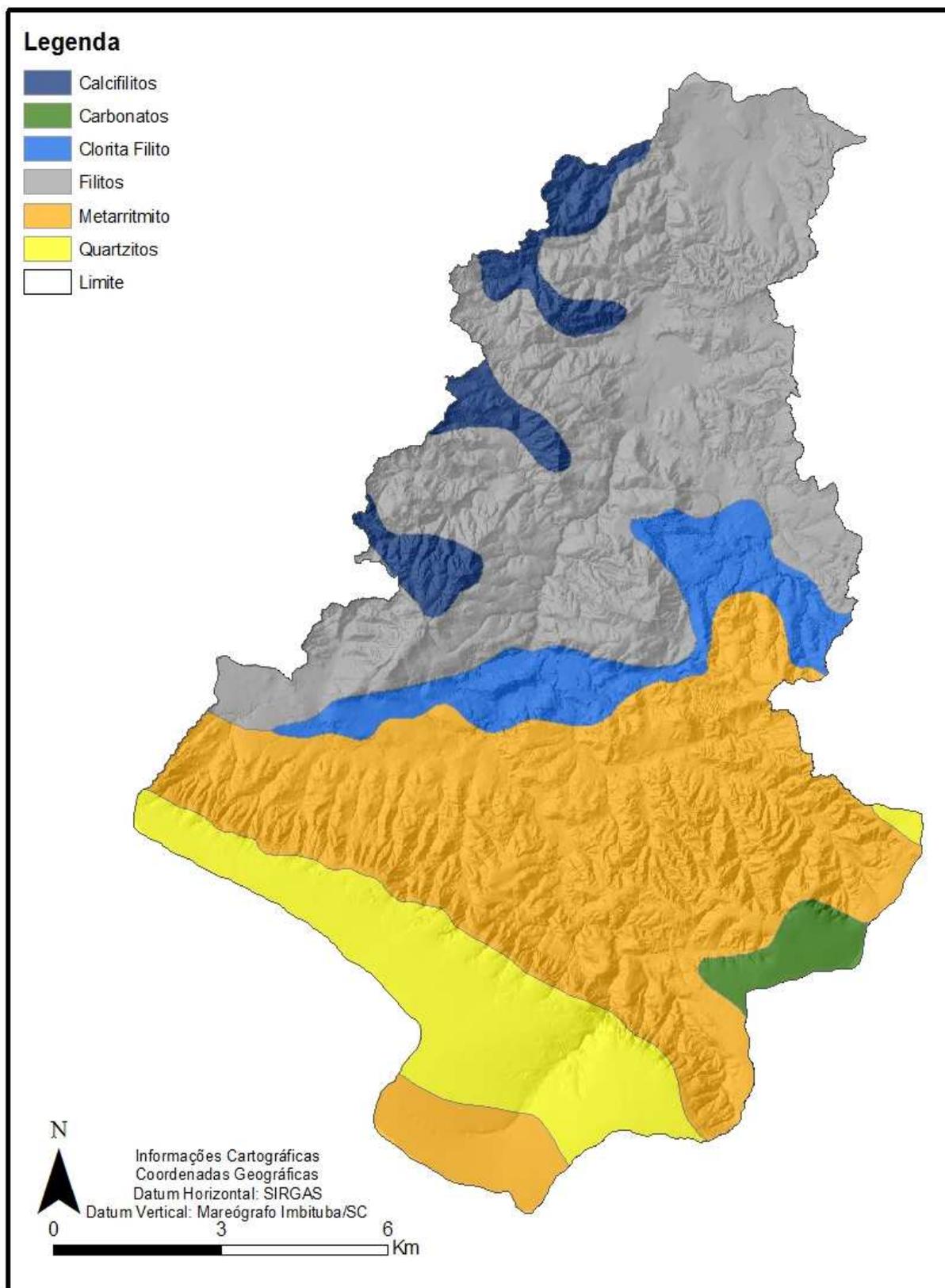


Figura 2. Geologia da bacia (modificado, Campos 2010).

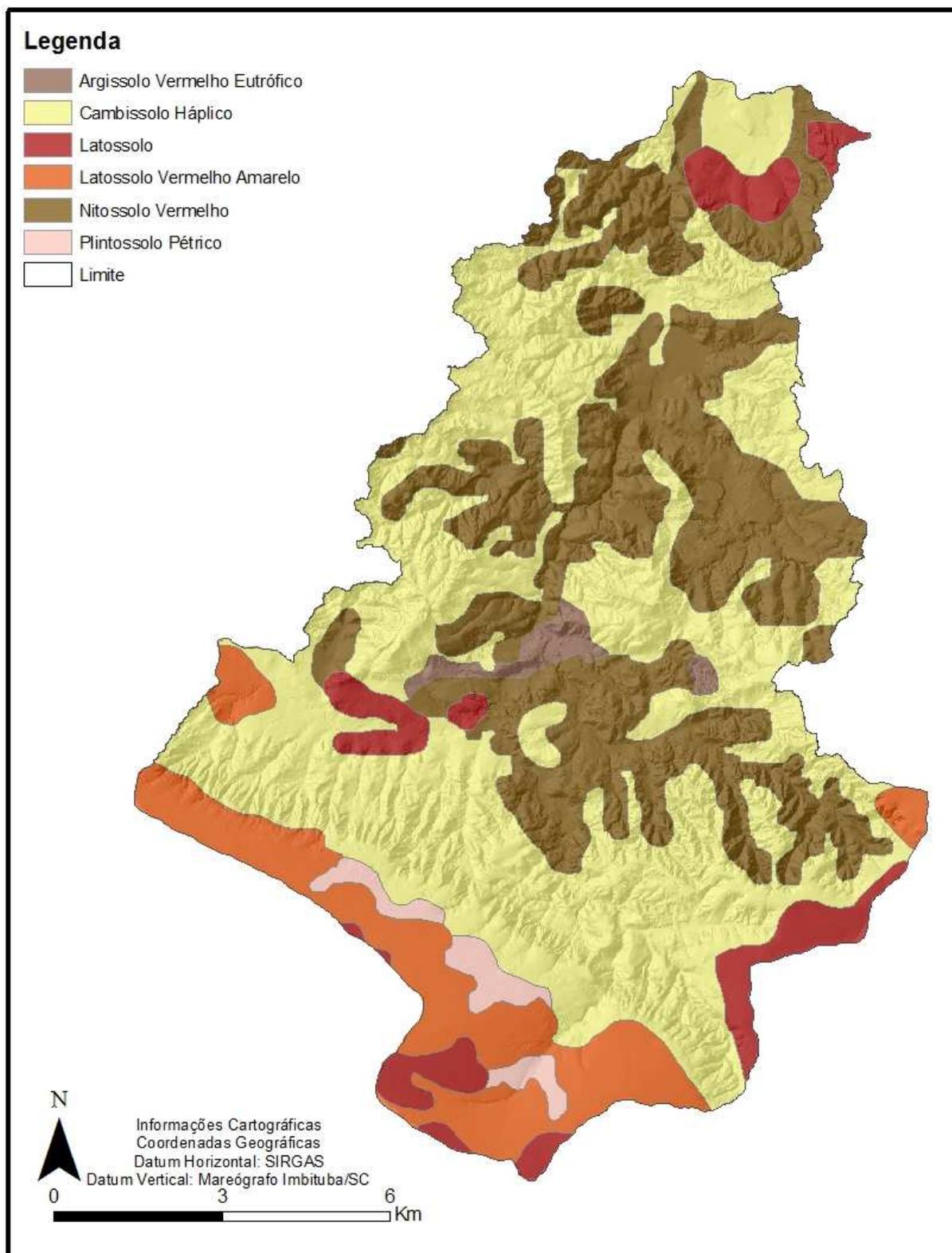


Figura 3. Pedologia da bacia (modificado, Campos 2010)

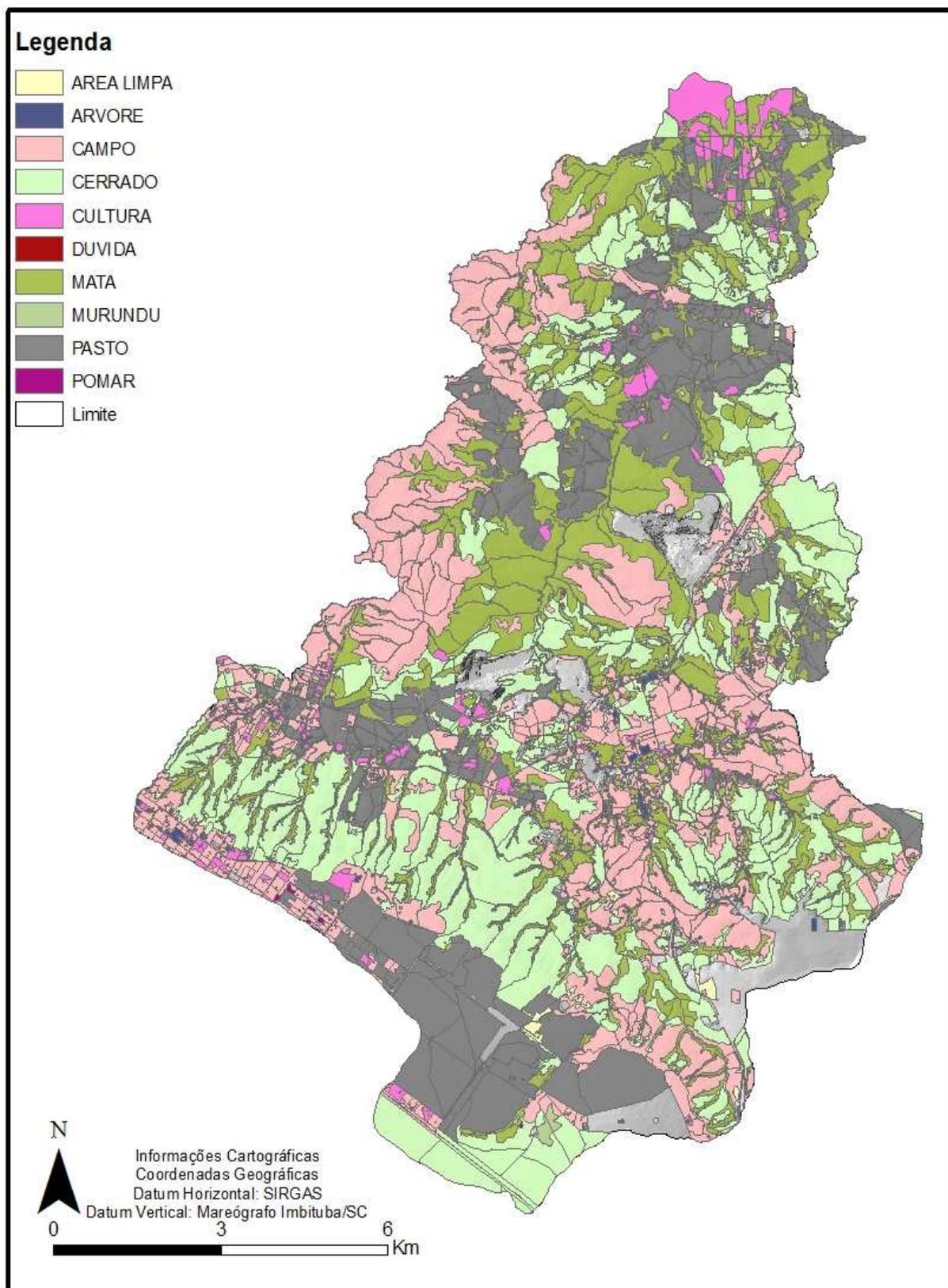


Figura 4. Vegetação da bacia (modificado da Terracap, 2010).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Bacia Hidrográfica

A geomorfologia (geo=terra, morfo=forma, logos=estudo) é a ciência do ramo da geografia física que tem por objetivo estudar e analisar as formas do relevo e sua respectiva evolução, buscando, assim, entender os processos pretéritos e atuais. As formas do relevo na superfície terrestre constituem o objeto de estudo da geomorfologia e a partir da análise das formas e dos processos é possível entender a dinâmica e os aspectos de uma região, possibilitando, assim, compreender as formas esculpidas.

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico da área. As formas de relevo constituem o objeto da Geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.1).

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, uma vez que existe em praticamente todo o planeta, na atmosfera, na superfície dos continentes, no subsolo, mares e oceanos. Segundo Coelho Netto (1994), a água é um agente de fundamental importância no que diz respeito a modelagem do relevo, controlando tanto a formação como o comportamento mecânico de solos e rochas.

A bacia hidrográfica é uma unidade essencial de estudo da geomorfologia, pois é de crucial importância para o entendimento dos processos que governam as transformações do relevo. De acordo com Souza & Fernandes (2000), o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural demarcada por divisores topográficos em que cada bacia se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

A bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia de

drenagem é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas (COELHO NETTO, 1994, p.97).

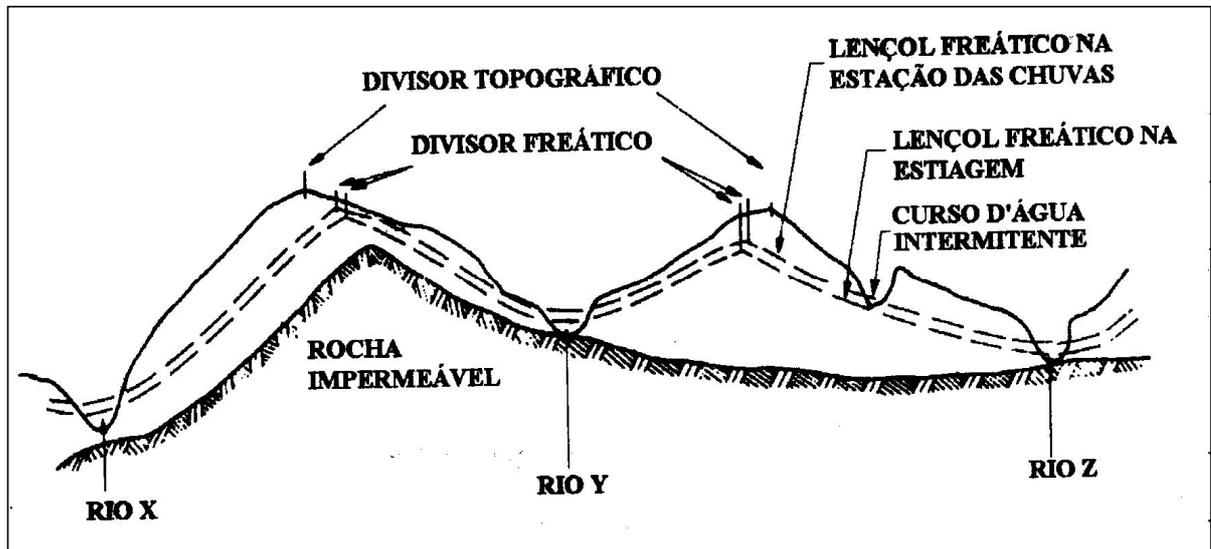


Figura 5. Demonstração dos elementos de uma bacia (Villega 1975).

A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos que variam desde a bacia do Rio Amazonas (grande porte), até bacias com poucos metros quadrados. É importante lembrar que uma bacia hidrográfica constitui um sistema físico extremamente complexo e variável no tempo. Admite-se que podem existir bacias hidrográficas mais ou menos complexas que outras, podendo apresentar grandes quantidades de variáveis envolvidas no seu sistema, que pode estar em equilíbrio ou em desequilíbrio dinâmico.

Os conceitos de bacia e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (Fernandes & Silva, 1994). Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos. Em resumo, os conceitos de bacia e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica.

A bacia hidrográfica corresponde à área drenada por um rio ou conjunto de rios. Com essa definição e levando em conta a ordenação hierárquica, podemos distinguir as bacias de primeira ordem (com um rio somente), as de segunda ordem, as de terceira ordem, e assim sucessivamente. Cada uma pode ser considerada como um sistema na sua grandeza de estruturação. Mas se tornam

absorvidas quando a escolha incidir sobre uma ordem maior. Por exemplo, uma bacia de quarta ordem representa um sistema, mas em seu interior obviamente possui bacias de terceira, segunda e primeira ordem (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.51).

Lima e Zakia (2000) apresentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica uma concepção sistêmica. Segundo os autores a bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto. A teoria dos sistemas gerais foi introduzida na geomorfologia pelos trabalhos de Arthur N. Strahler(1952). Os sistemas podem ser classificados de acordo com o critério funcional ou através da sua complexidade estrutural. Levando em consideração o critério funcional, Forster, Rapoport e Trucco citados por Christofolletti (1980, p. 5),os sistemas geomorfológicos são: Sistemas isolados, Sistemas não isolados, que se subdividem em fechados e abertos. A bacia hidrográfica se encaixa no conceito do sistema aberto, ou seja, é um sistema que mantém constante permuta de matéria e energia, tanto recebendo quanto perdendo.

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. A bacia hidrográfica como sistema aberto pode ser descrita em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e desta forma, uma bacia mesmo quando não perturbada por ações antrópicas, encontra-se em equilíbrio dinâmico (LIMA E ZAKIA, 2000).

Abacia hidrográfica é um sistema geomorfológico não isolado, aberto, onde estão presentes as variáveis morfológicas, hidrodinâmicas e integrada dos fenômenos. John T. Hark (1960) apresentou uma importante contribuição a geomorfologia ao criar o conceito de "equilíbrio dinâmico". Hark (1960) considera que o relevo é um sistema aberto, no qual ocorrem constantes trocas de energia e matéria com os demais sistemas. Em linhas gerais, materiais, processos e formas de relevo compõem um conjunto autorregulador, e que toda forma é o produto do ajustamento de matérias e processos.

4.2. Análisemorfométrica em bacias hidrográficas

Os estudos geomorfológicos em uma bacia hidrográfica podem ser feitos de diversas formas. Além de análises qualitativas, podem-se fazer análises

quantitativas. Foram os pesquisadores dos EUA que deram início às primeiras pesquisas voltadas ao levantamento das propriedades morfométricas de bacias hidrográficas. Inicialmente os estudos quantitativos foram desenvolvidos por Robert Elmer 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, utiliza-se o método de análise morfométrica. A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um procedimento executado em análises hidrológicas, que tem como objetivo esclarecer as várias questões relacionadas com a dinâmica da bacia. A combinação dos dados morfométricos nos permite fazer diferenciação de áreas e revelar parâmetros e valores físicos específicos para cada local.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial: o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.52).

4.3. Análise Linear e Areal da Bacia Hidrográfica

As características morfométricas da bacia hidrográfica podem ser definidas como areal quando estudam relação com a área e lineares quando estudam as características dos rios. É importante reconhecer que nenhum desses parâmetros sozinho deve ser entendido com capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia hidrográfica e sua magnitude temporal. Segundo Christofolletti (1980), Na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento

4.3.1. Hierarquização da Rede de Drenagem

Organizar estabelecendo classificação por níveis de subordinação significa hierarquizar. Os critérios de ordenação dos cursos de água foram inicialmente

propostos por Horton (1945) e modificados por Strahler (1952). Neste sentido, têm-se canais de primeira ordem, segunda ordem e assim sucessivamente.

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado com função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.106).

Entre a década de 40 e 60, os estudos de Horton (1945) e Strahler (1952), foram de grande importância no desenvolvimento da geomorfologia aplicada, já que enfatizam a teoria geral dos sistemas aplicada em análises topográficas da rede de drenagem e levantamento de variáveis morfométricas das bacias hidrográficas. A partir de Horton, iniciou-se a investigação científica da organização das redes de drenagem apoiado em análises quantitativas, contribuindo, assim, para a caracterização e estruturação das redes de drenagem, baseando-se na comparação dos segmentos das diversas ordens dos rios. Arthur Newell Strahler (1957), sob a perspectiva topográfica da rede de drenagem, realizou o aperfeiçoamento da interpretação de Horton referindo-se apenas as interconexões, formas ou orientação das ligações.

De acordo com Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980), os canais de primeira ordem não possuem tributários, os canais de segunda ordem têm afluentes de primeira ordem, os canais de terceira ordem recebem afluentes de canais de segunda e podem receber diretamente canais de primeira ordem e assim por diante. Nesta classificação, a maior ordem é atribuída ao rio principal, valendo esta designação em todo o seu comprimento, desde a foz da bacia até sua nascente. Já segundo Strahler (1952 apud CHRISTOFOLETTI, 1980), os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência, dois rios de primeira ordem já bastam para que a partir de sua confluência, seja formado um rio de segunda ordem, a confluência de dois rios de segunda ordem define um de terceira, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem, os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores, e assim por diante. A ordem dos canais não muda pela chegada de um tributário de

menor ordem. O ordenamento de canais fluviais é utilizado então para delimitar bacias de drenagem e sub-bacias definindo relações hierárquicas entre elas com aplicação em diversas áreas do conhecimento (CHRISTOFOLETTI, 1980).

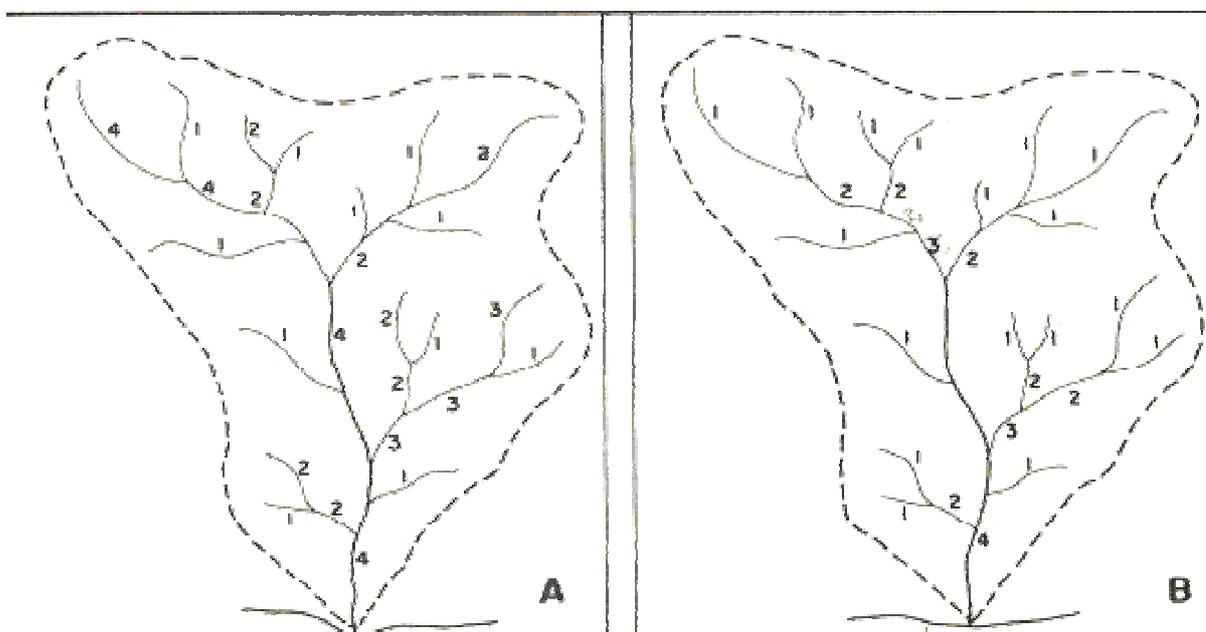


Figura 6. Hierarquização segundo Horton (A) e Strahler (B). (Christofoletti 1980).

Um fato importante o método de Strahler (1952) é que a classificação poderá ser alterada a depender da escala cartográfica trabalhada, pois, quanto maior a escala, maior será o nível de detalhamento da área, logo maior quantidade de córregos a serem localizados. Por meio da análise da classificação de Strahler, pode-se também compreender o nível de erosão dentro de uma bacia, bem como o grau de transporte de sedimentos e ação fluvial no relevo.

4.3.2. Área da Bacia de Drenagem

A área da bacia hidrográfica é determinada em mapas topográficos. Para a sua determinação é preciso, em primeiro lugar, realizar o traçado do contorno da bacia, ou seja, estabelecer o traçado da linha de separação das bacias vizinhas.

O delineamento de canais de drenagem e divisores de água é o ponto de partida para a delimitação de bacias e a organização funcional de seus elementos para modelagem da hidrografia fluvial. Segundo Guimarães (2012), para a

delimitação ou traçado da bacia hidrográfica, de um determinado curso de água, numa carta com curvas de nível deve, a partir da secção de referência, procurar-se a linha de festo que envolve o curso de água. A linha de festo nunca pode cortar o curso de água (a não ser na secção de referência) segue pelos pontos de máxima cota circundantes do curso de água e existe sempre uma linha de festo entre dois talwegues (linha de reunião de águas).

A área de drenagem da bacia hidrográfica ou, simplesmente, área da bacia hidrográfica, a área plana (projetada sobre o plano horizontal) limitada pelos divisores topográficos da bacia, podendo ser determinada por panimetria ou recorrendo a Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e, é usualmente dada em km² ou hectares. A área de drenagem é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica e constitui-se, ainda, em elemento básico para o cálculo de outras características físicas da bacia.

É toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em um plano horizontal. Determinado o perímetro da bacia, a área pode ser calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem do papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas sofisticadas, com o uso do computador (CHRISTOFOTELLI, 1980, p.113).

4.3.3. Comprimento da bacia

Várias são as definições em relação ao comprimento da bacia, resultando, assim, numa diversidade no valor do dado a ser obtido. Segundo Christofolletti (1980), existem várias definições, porém, neste trabalho foi utilizada a distância média, em linha reta, entre a foz e o ponto mais alto situado ao longo do perímetro.

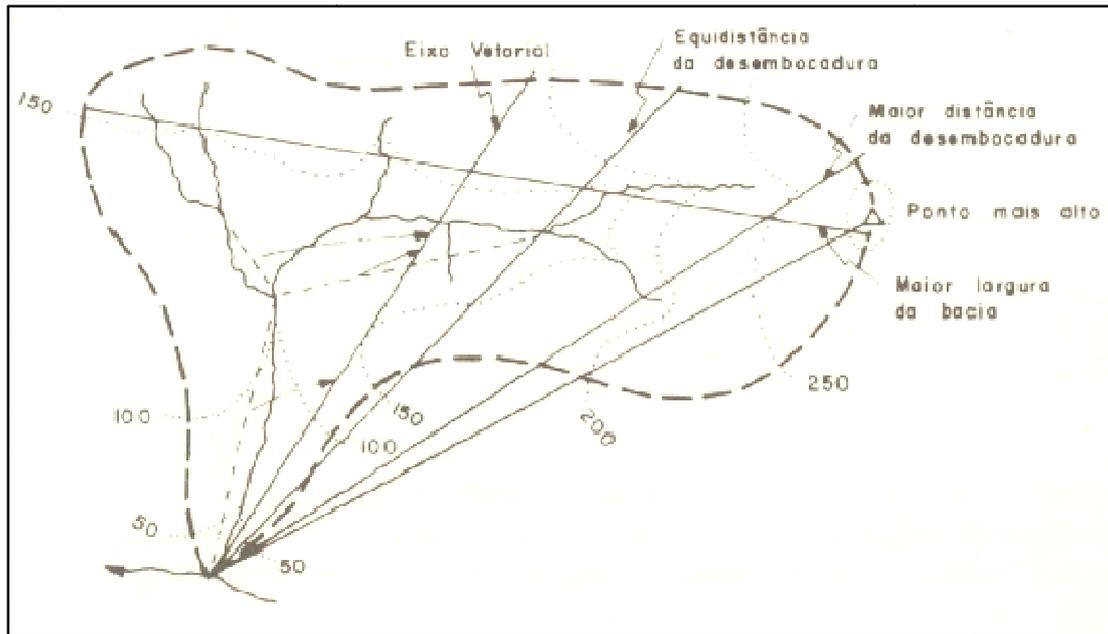


Figura 7. comprimento da bacia (Christofolletti 1980).

4.3.4. Densidade de Drenagem

A análise de padrões morfométricos como a densidade de drenagem quando relacionados aos diversos processos superficiais, adquire grande importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de susceptibilidade geomorfológica.

Este índice permite fazer inferências com respeito ao substrato, à declividade das vertentes, à cobertura vegetal e à precipitação na área da bacia, apesar de ser apenas uma relação simples entre o comprimento total de todos os canais e a área da bacia. A densidade de drenagem, reconhecida como um dos mais importantes parâmetros da análise morfométrica de bacia hidrográfica foi definida por Horton (1945) como o comprimento médio de rios de uma bacia hidrográfica por unidade de área, ou seja, A densidade de canais de drenagem é obtida pela razão entre comprimento total de canais de drenagem (m) e área total de cada bacia (m).

$$Dd = Cd / A$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem (m/ha);

Cd = Comprimento total de canais de drenagem (m)

A = Área total (ha).

A densidade de drenagem indica a eficiência da drenagem da bacia, quanto mais eficiente o sistema de drenagem, mais rapidamente a água do escoamento superficial originada da chuva chegará a saída da bacia. Sendo assim a densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica.

O cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.116).

Segundo Strahler (1964), a densidade de drenagem pode ser pensada como uma expressão da proximidade dos canais. Admite-se que ela varie de 0,5 km/km² para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (Vilella e Mattos, 1975). BELTRAME (1994) apresenta uma tabela com valores de densidade de drenagem. a Tabela 1 apresenta a classificação dos valores de densidade de drenagem.

Valores de Dd (km/km ²)	Qualificação de Dd
Menor que 0,50	Baixa
De 0,50 a 2,00	Mediana
De 2,01 a 3,50	Alta
Maior que 3,50	Muita Alta

Tabela 1. Valores de Densidade de Drenagem segundo Beltrame (1994).

A permeabilidade do terreno é maior quanto menor for o valor encontrado para a densidade de drenagem e é menor quanto maior for o valor da densidade de drenagem. Segundo Linsley (1975), uma densidade de drenagem alta reflete uma bacia altamente dissecada, que responde de maneira relativamente rápida a uma determinada quantidade de chuva, enquanto uma densidade de drenagem baixa reflete uma bacia de drenagem pobre com respostas hidrológicas lentas. Conforme

os autores, densidades de drenagens baixas são observadas normalmente em solos mais resistentes à erosão ou muito permeável e onde o relevo é suave. (figura 8)

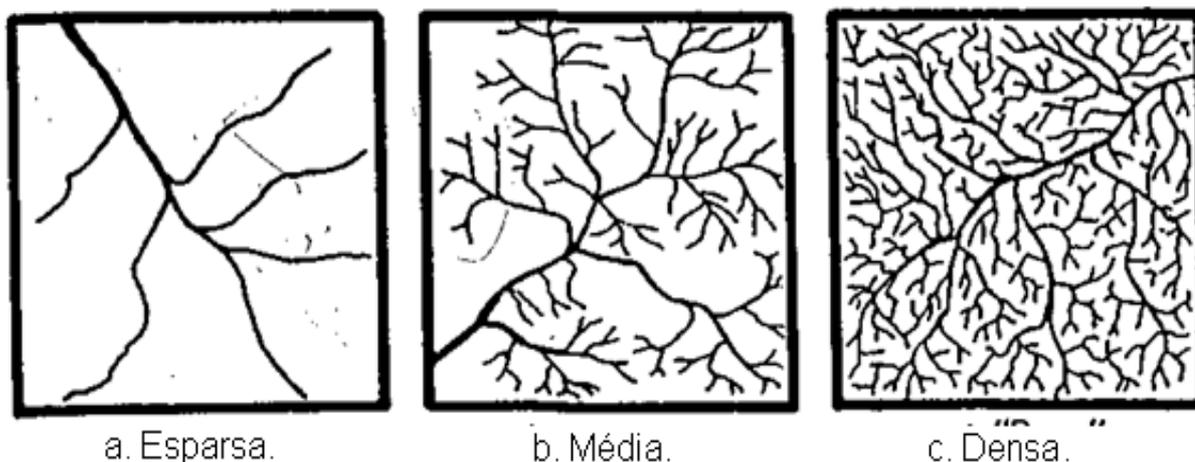


Figura 8. Tipos de densidade de drenagem(Slides de fotointerpretação UnB, 2013).

4.4. Índice de Eficiência de Drenagem (IED)

Segundo Coelho Netto et al. (2006), o índice de eficiência de drenagem (IED) define um valor proporcional à capacidade do relevo em drenar a água de superfície da bacia. O IED é definido como o valor resultante do produto do gradiente da bacia pela densidade pela densidade de canais de drenagem da bacia (Coelho Netto,2007).

$$\text{IED} = \text{G} * \text{Dd}$$

Onde:

IED = Índice de Eficiência de Drenagem (m/ha);

G = Gradiente topográfico da bacia (m/m)

Dd = Densidade de drenagem (m/ha).

Para o calculo do IED é necessário obter os valores do Gradiente Topográfico e da Densidade de Drenagem das bacias.A densidade de canais de drenagem é obtida pela razão entre comprimento total de canais de drenagem (m) e área total de cada bacia (m), já citado acima.O gradiente das bacias é obtido pela razão entre desnivelamento e comprimento do eixo côncavo principal de cada bacia.

$$\text{G} = \text{Dn} / \text{Ccp}$$

Onde:

G = Gradiente;

Dn = Desnívelamento (m)

Ccp= Comprimento do eixo côncavo principal (m).

Vale ressaltar que o IED pode variar de acordo com a escala do mapa utilizada, pois está diretamente relacionada a densidade de drenagem.

Segundo Coelho Netto(2006), os valores de IED são definidos em 3 classes:

Valores de IED	Classificação
0 - 2,5	Baixo
2,5-5	Médio
> 5	Alto

Tabela 2. Classificação do IED por Coelho Netto (2006).

4.5. Erosão

Os processos erosivos são naturais e podem ser agravados ou retardados pela ação antrópica. Como afirma Morgan (1986), é necessário estudar esses fatores com bastante detalhe para se compreender como, onde e por que a erosão ocorre. Segundo Guerra (1994), o processo erosivo tem início no desprendimento das partículas que agregam o solo, seguida pelo seu transporte e termina com a deposição das partículas carregadas para as partes inferiores do vale, para os locais de deposição. A erosão dos solos não causa apenas problemas nas áreas onde ocorre, podendo criar ravinas e voçorocas, o que torna essas áreas zonas de risco e instabilidade.

Os fatores controladores são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão (erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal, características das encostas). É por causa da interação desses fatores que certas áreas erodem mais do que as outras (GUERRA, 1994, p.150).

As formas do relevo também são tidas como um forte fator controlador da drenagem e, conseqüentemente, da erosão. É preciso levar em conta alguns fatores relativo as encostas, como pro exemplo, a declividade, comprimento e forma. Hadley(apud Guerra, 2007) afirma que forma da encosta pode ser até mais do que a declividade, na erosão dos solos.As concavidades, convexidades ou formas geométricas retilíneas, resultam da ação de processos erosivos e /ou deposicionais ao longo do tempo. (Coelho Netto, 1994). Hack&Goodlett (1960), perceberam que o direcionamento dos fluxos da água no solo está relacionado diretamente com a geometria das encostas: sobre as formas côncavas atua a convergência de fluxos, ao passo que, sobre as formas convexas atua a divergência, sendo assim possível dizer que, o caráter côncavo/convexo é decisivo na aceleração ou desaceleração do fluxo de água do terreno.

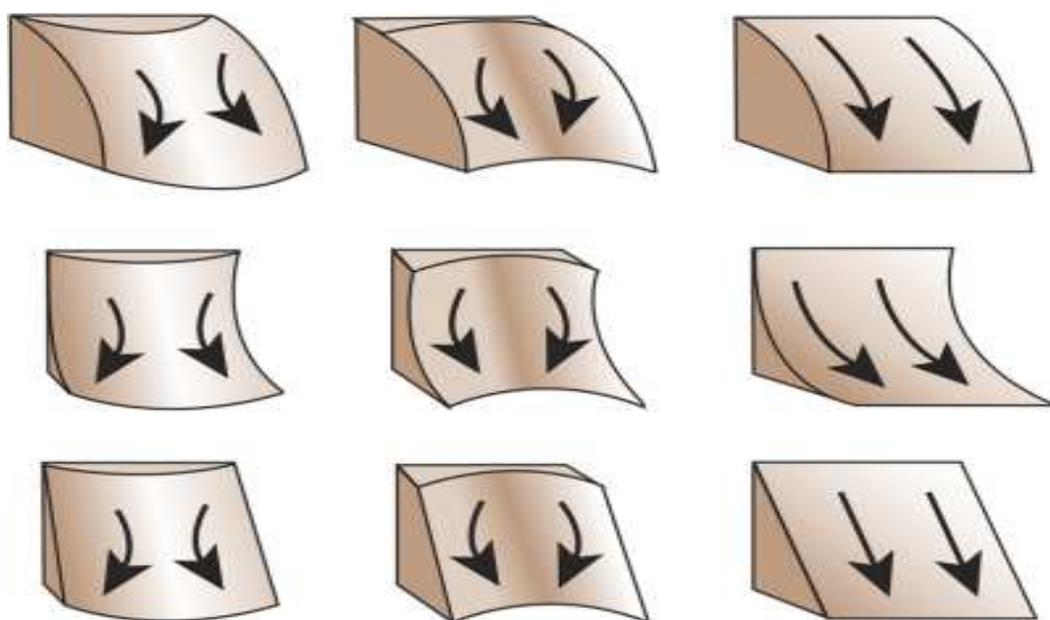


Figura 9. Tipos de curvatura de encosta.

4.6. Análise morfométrica no ambiente SIG

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial. 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.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas foi inicialmente realizada por meio de métodos analógicos, isto é, por mensuração dos atributos em cartas topográficas e cálculo manual, baseando-se nas leis de Horton e utilizando os parâmetros apresentados por Strahler (1952, 1957, 1958), Schumm(1956) e Chorley(1971). Com o desenvolvimento da computação eletrônica e, posteriormente, dos sistemas computacionais para cálculos e análises de dados e informações georreferenciados, esses atributos podem atualmente ser extraídos em ambiente digital. (CHEREM, 2008).

Informações contidas em mapas e documentos em papel impresso podem ser transferidas e armazenadas em ambiente computacional. É costume dizer-se que geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos, sendo “o espaço de uma linguagem comum”.

Uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados(ROCHA, 2002, p.210).

Segundo Moura (2003), a palavra “geoprocessamento” é o hibridismo do termo grego *gew* (Terra) com o termo latino *processus*(*progresso*, “andar avante”), significando implantar um *processo* que traga um *progresso* na representação da superfície da Terra.

Um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para a obtenção e apresentação das transformações desejadas (XAVIER-DA-SILVA. 1992, p. 48 *apud* MOURA, 2003, p. 9).

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas tem sido feita atualmente com a integração de informações de relevo em ambiente de Sistemas de

Informações Geográficas (SIG). Na década de 1980, o desenvolvimento do sensoriamento remoto do relevo por radar e a criação e implementação de ferramentas computacionais com interface mais amigável aos usuários, associado a um novo momento científico das Geociências, conceitual e tecnicamente renovado, possibilitou o uso de técnicas de mensuração “à distância”. Essas técnicas contribuíram para o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o tratamento da informação geográfica, os chamados Sistemas de Informação Geográfica – SIG. Isso, conseqüentemente, foi consolidado por estudos de caráter científico realizados pela Geologia, Geografia, Geomorfologia, Economia, Ciências Atuariais, Estatística, Epidemiologia, dentre outras. Desde então, a Geomorfologia passa a ser marcada pelo uso de técnicas quantitativas.

Quando apoiados em Sistemas Geográficos de Informação, tais cenários ambientais ganham grande complexidade e uma enorme aplicabilidade. Análises de redes de drenagem, uso de modelos tridimensionais para a visualização do terreno e estimativas de impactos ambientais são alguns exemplos do uso integrado de conhecimento geomorfológicos em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (XAVIER DA SOUZA, J. 1994, p. 394).

Com o aprimoramento dos métodos computacionais Sistema de Informações Geográficas, a geomorfologia evoluiu, pois começou a ser possível compatibilizar a informação proveniente de diversas fontes, tais como: Bacia hidrográfica, Declividade de vertente, distribuição vegetacional, erosão do solo, entre outros (Vasconcelos, 2012). Um tópico importante para geomorfologica é a modelagem das formas do relevo. O Modelo Digital do Elevação (MDE) é uma peça chave para a compreensão da dinâmica dos geossistemas naturais. O MDE pode ser de grande utilidade para a Ciência Geomorfológica e em todas aquelas que utilizam dados com um componente altimétrico, posto que facilita a percepção espacial e permite a visão tridimensional do espaço a ser estudado.

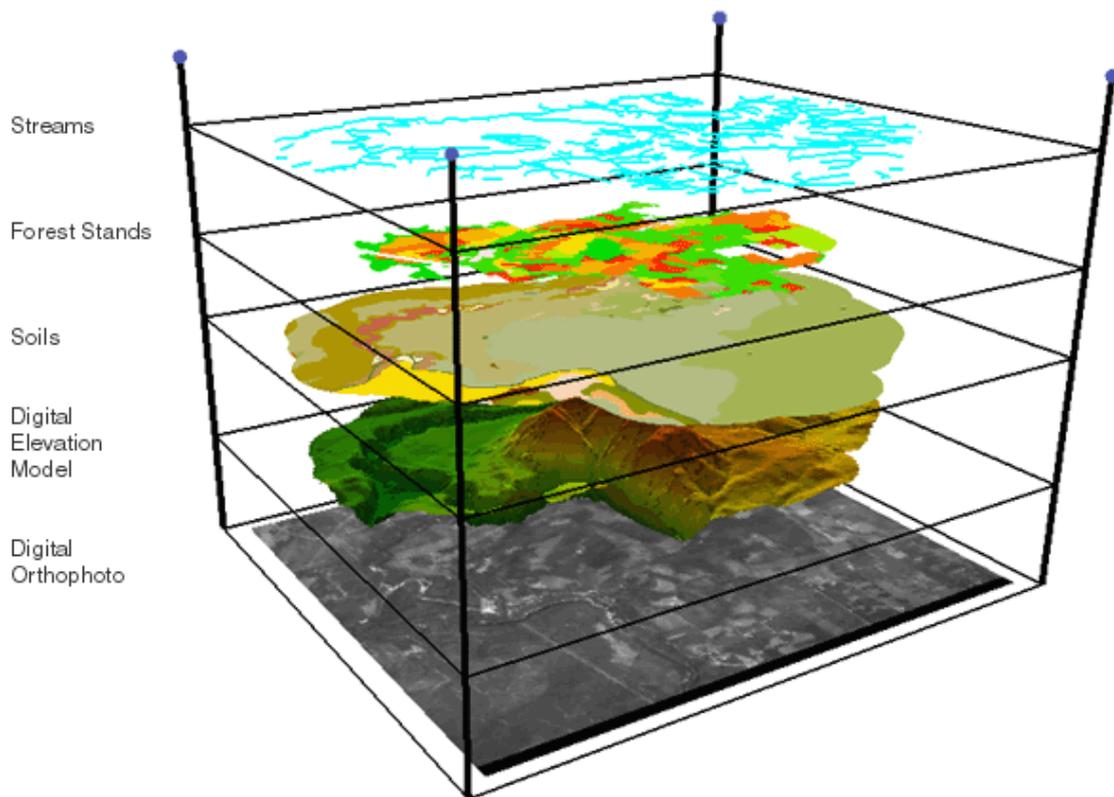


Figura 10. Demonstração do modelo SIG.

De acordo com Pettinati (1983), a criação do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento de amostras (x,y,z) que descrevem a superfície real, de maneira que todo o conjunto simule de modo ideal o comportamento da superfície original..Para a representação de uma superfície real é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno (Araújo 2008). No processo da modelagem numérica do terreno além da amostragem, da confecção de grades, também existem os produtos, sendo alguns deles: as imagens, a declividade, o fatiamento, isolinhas, 3D, perfil e volume.

Para uma análise geomorfológica que requer maior precisão dos dados, ou um maior detalhamento com relação aos processos morfodinâmicos, o que também envolve parâmetros morfométricos, observa-se o crescente uso dos MDEs.

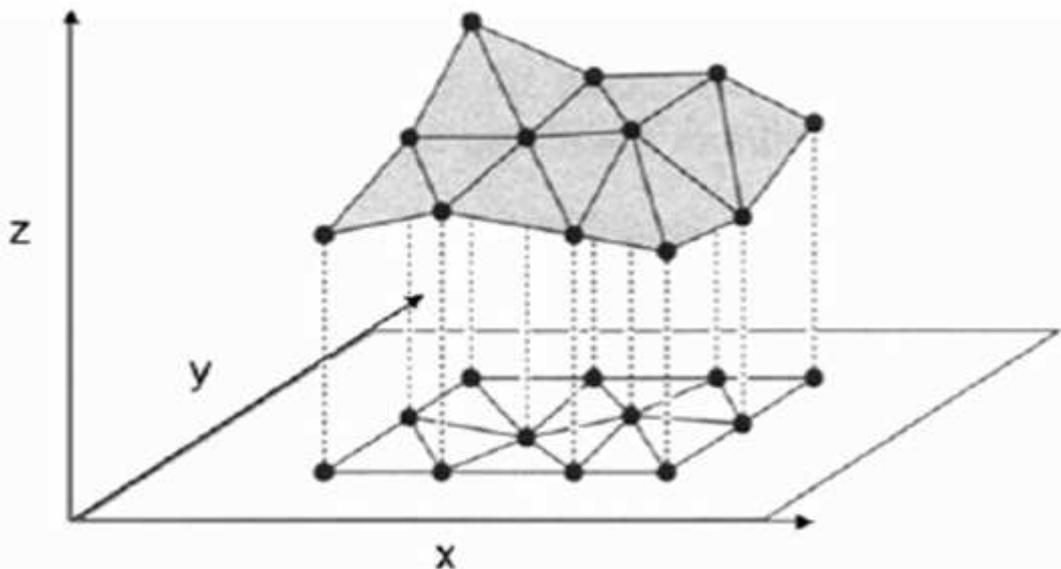


Figura 11. Representação de um modelo digital no sistema de coordenadas x, y e z. Extraído de Fernandes (2004).

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICO

5.1. Organização e busca das bases de dados

Para a realização desse trabalho foi preciso reunir os mapeamentos de erosão, 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, 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 na escala de 1:10.000 com resolução de 1m, estando no sistema de projeção cartográfica UTM zona 23S e Datum SIRGAS 2000.

A reconstituição dos canais da bacia hidrográfica, feito por Braga (2012), seguiu os seguintes critérios:

1. Curvas de nível (intermediária e mestra) cotadas de 5 em 5 metros. A partir do desnivelamento em relação ao canal principal, o traçado do canal inicia no maior valor da curva de nível que indica a sua existência.
2. Modelo Digital do Terreno;

3. Vegetação do tipo: matas de galeria. Principalmente as que ocorrem em linhas estreitas, em direção à rede de drenagem e com limite bem definido entre outros tipos de vegetação.
4. Exceto a conexão com a rede de drenagem, os canais desconectados também foram mapeados com base nos mesmos critérios.

A identificação de cada classe de feição erosiva feita por Braga (2012) seguiu os seguintes critérios:

1. **Voçoroca:** feições incisas e de característica retilínea, onde parte do solo é exposto; conexão com a rede de canais;
2. **Ravinas:** áreas de solo exposto; processo inicial de voçorocamento, sem forte incisão de canais, portanto sem contato com a rocha.
3. **Erosão superficial:** Desgastes leves da superfície, onde se visualizou a formação de sulcos; menor escala em relação às demais feições mapeadas.
4. **Mineração:** buracos provocados por atividade humana, de formato arredondado, típicas de crateras ou pequenas áreas de retirada de material para uso.

As feições erosivas foram mapeadas em polígonos e convertidas em pontos centrais classificadas em:

- Voçorocas;
- Ravinas;
- Erosão superficial;
- Mineração;
- Elementos não identificado.

5.2. Hierarquizações dos canais

A incorporação da hierarquia de drenagem dos canais hidrográficos em um ambiente de banco de dados associados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é fundamental para a realização de análises com vários objetivos, tais como mapeamentos geomorfológicos (Cardoso 2006).

Várias são as metodologias de hierarquização dos canais fluviais. Nesse trabalho foi utilizada e definida por Strahler (1952, apud Christofolletti, 1980). De acordo com esta classificação os primeiros canais mais a montante, sem tributários

são ordenados como primeira ordem, desde a nascente até a confluência. O encontro de dois canais de primeira ordem produz um canal de segunda ordem que só recebe afluentes de primeira ordem. A confluência de dois canais de segunda ordem produz um de terceira ordem que recebe afluentes de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente. No método de Strahler o rio principal não mantém sempre a mesma ordem ao longo de toda a sua extensão e a rede de canais pode ser decomposta em segmentos discretos cujas áreas de contribuição formam a própria bacia de drenagem.

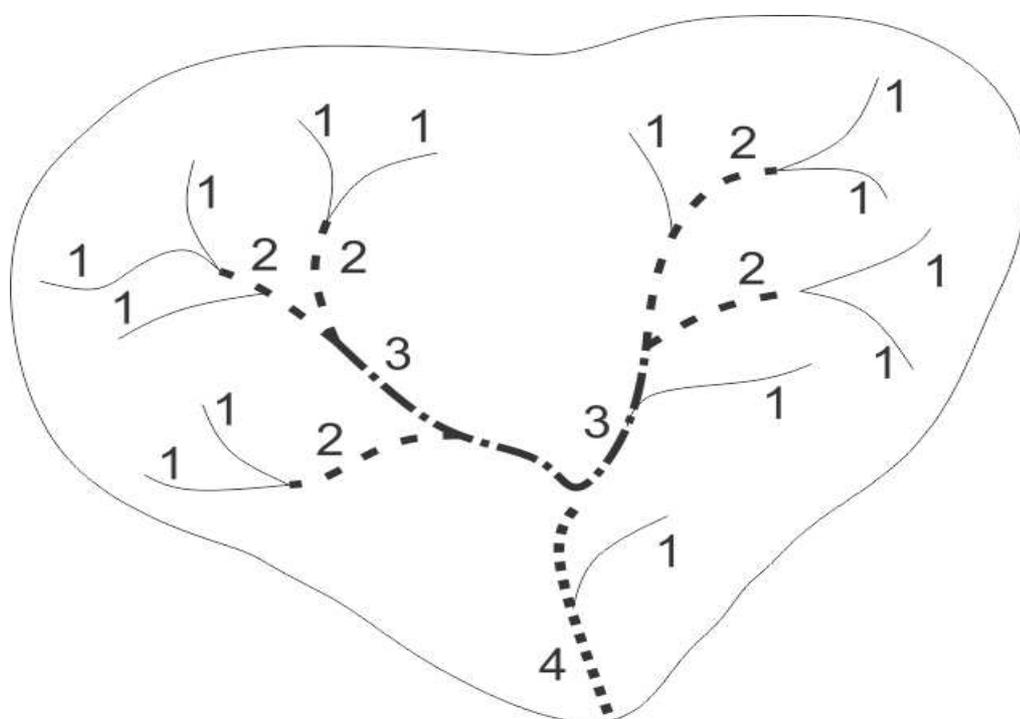


Figura 12. Hierarquização segundo Strahler (1952).

A hierarquização dos canais da bacia hidrográfica do ribeirão contagem, foi feita no ambiente SIG no ArcMap 9.3. Foi utilizado a base hidrográfica da Terracap(2010) e a rede de canais restituídos por Braga (2012) ajustada nesse trabalho, ambos os dados em formato vetorial na escala de 1:10.000, ortofoto com resolução de 1 metro. Para fazer a hierarquização dos canais foi utilizada a ferramenta "Editor",na qual foi utilizada as ferramentas "Merge" ,"Split Tool", e "AdvancedEditing" e"Explode Multi-partFeature" ,para consertar e ordenar as

vetorizações. O principais problema encontrado em ambas as bases foi a sobreposição de vetorização

5.3. 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.

Para o preparo do MDE no formato raster da bacia , 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, na extensão 3D Analyst. Após a geração do TIN, foi feita a conversão do MDE em formato TIN para o formato raster (grid), pois o algoritmo para geração de direção de fluxo só trabalha com MDE no formato raster (grid). Para a geração do MDE no formato raster (grid), deve-se fixar o tamanho da célula, nesse trabalho foi fixado o valor de 5 metros para a célula.

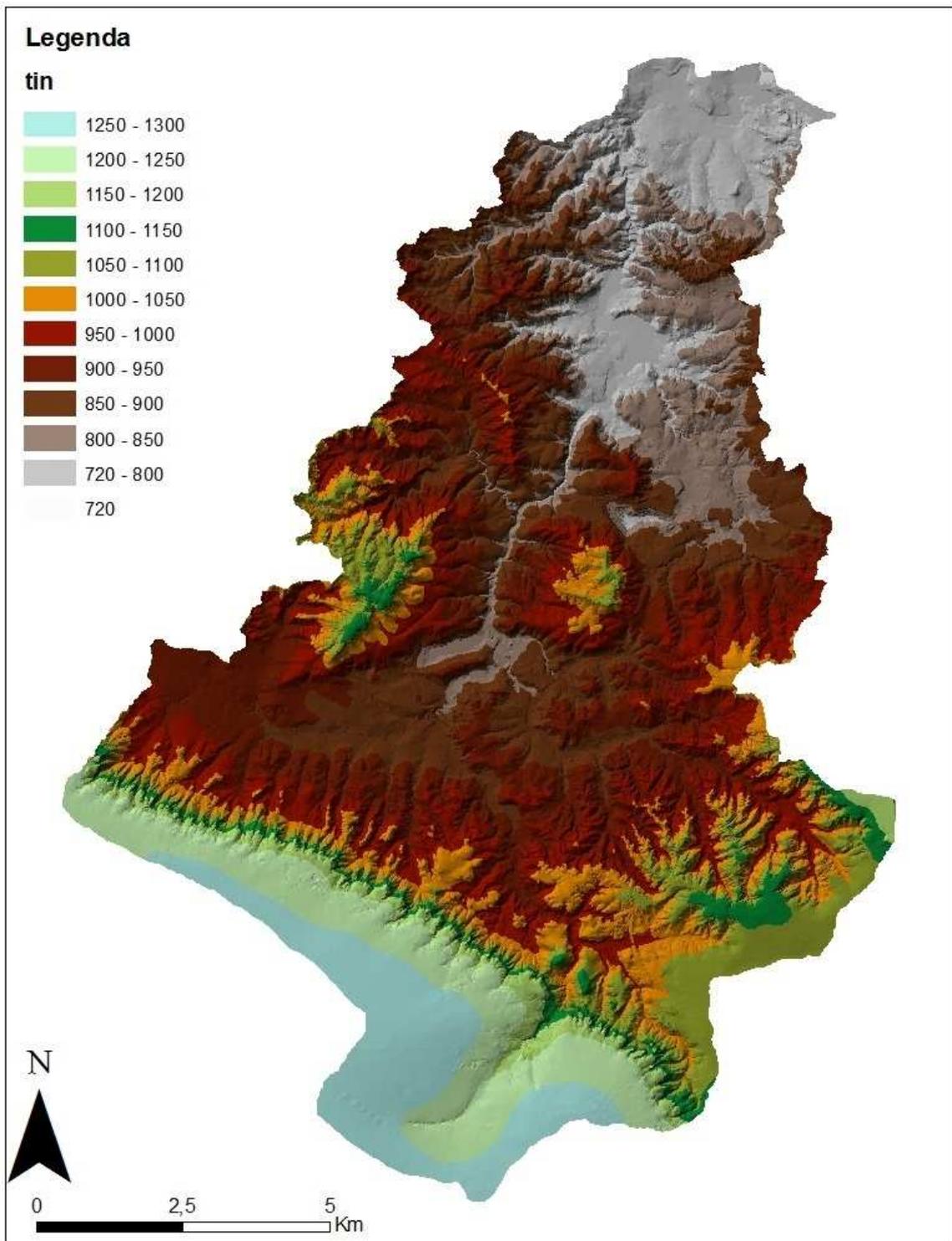


Figura 13. Modelo TIN da bacia.

a) Direção do Fluxo

O modelo digital de elevação é uma matriz com células do mesmo tamanho com um valor de elevação atribuído a cada uma delas. No processo de geração da direção do fluxo utiliza-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.

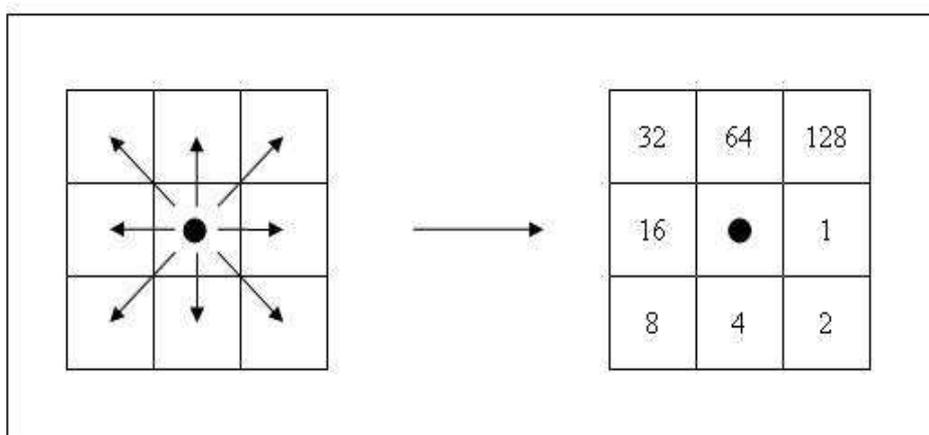


Figura 14. Modelo D-8

Antes de gerar a direção de fluxo, realizou-se o preenchimento das depressões, visando evitar erros do tipo *sink*, que significam células com elevação pequenas e do tipo *peaks*, que significa células com alta elevação em relação as suas células vizinhas. As direções de fluxo de água consideram a água que drena de cada pixel, indicando a direção que irá escoar.

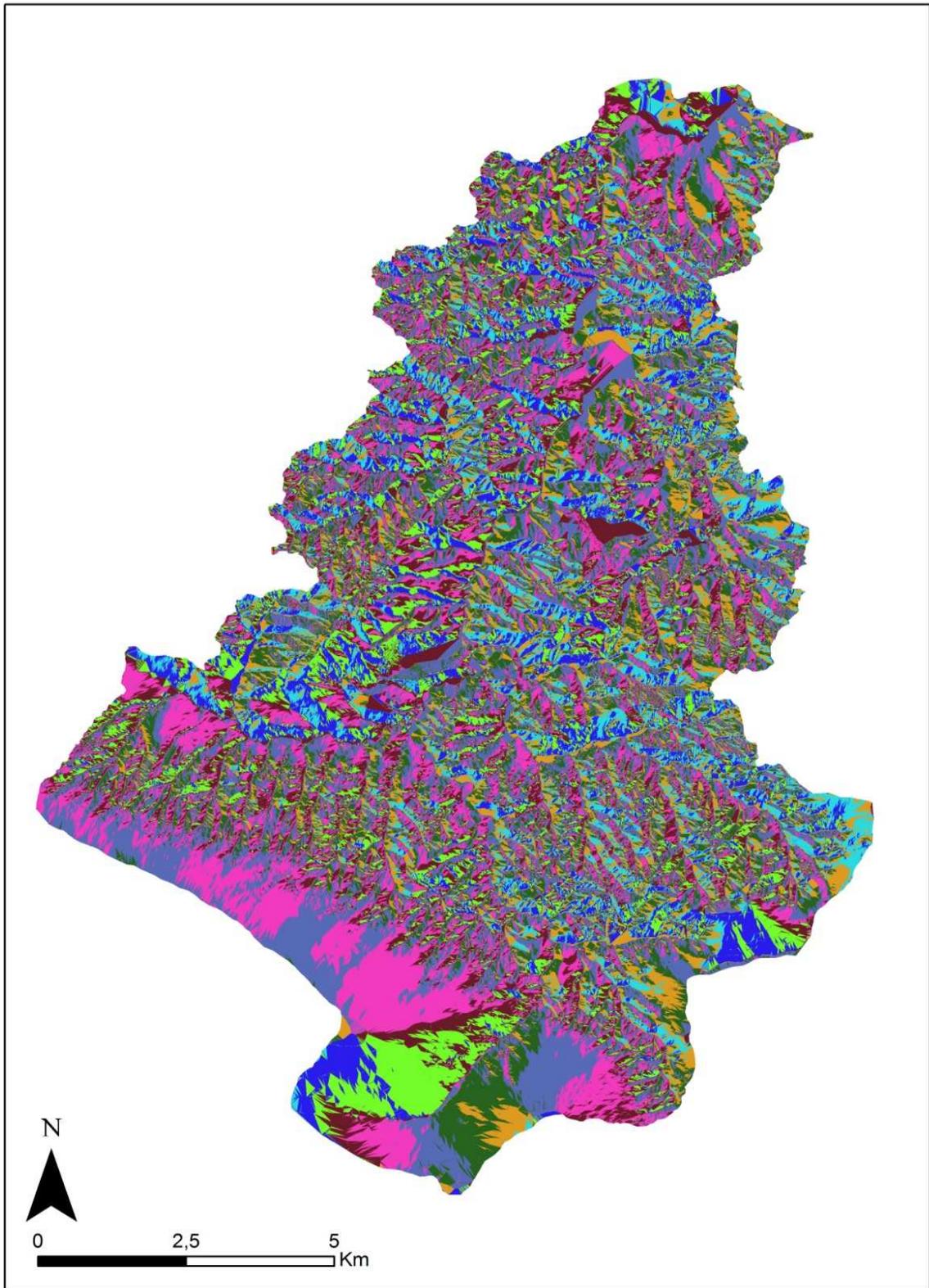


Figura 15. Direção de Fluxo.

b) Acumulação de Fluxo

Nessa etapa é executada a acumulação de fluxo por célula, com base nos dados obtidos a partir da direção de fluxo. Considera-se o número de células que drenam para cada célula de uma grade de entrada, formando, assim, os rios.

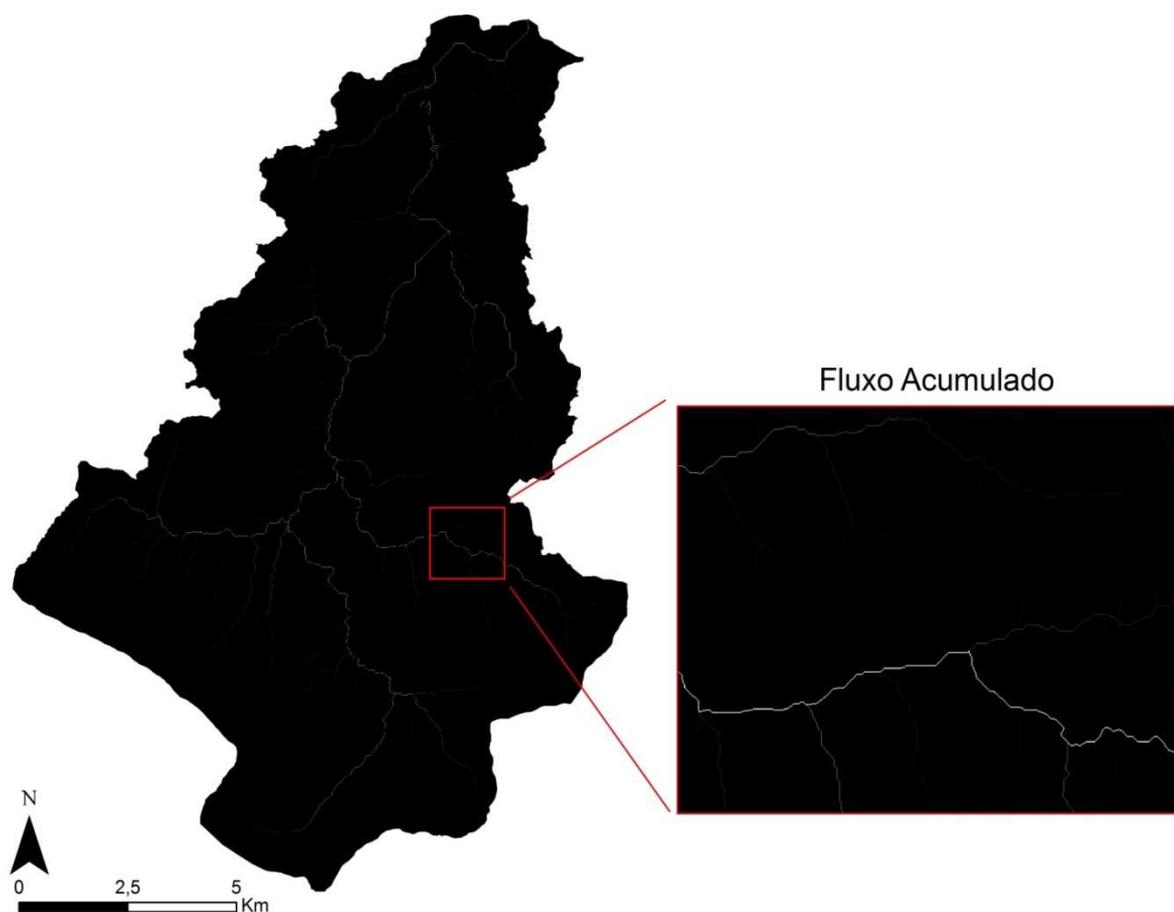


Figura 16. Acumulação de Fluxo.

c) Definição da rede de drenagem

Para a definição da rede de drenagem utilizou-se a função *StreamDefinition*. Após a geração do fluxo acumulado é necessário definir quais células que receberão a denominação de rio.

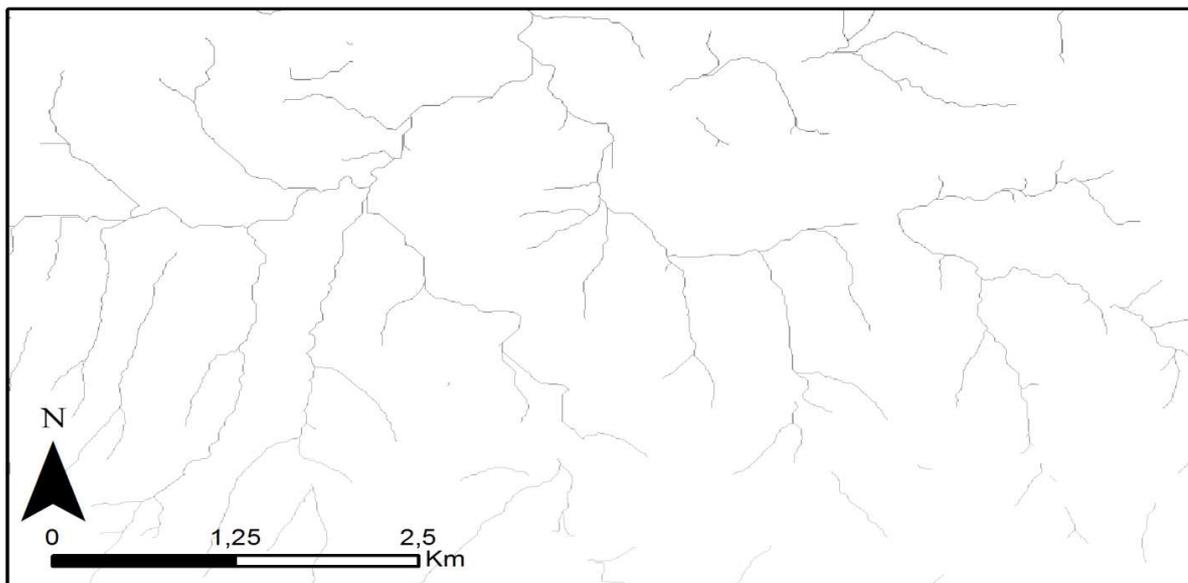


Figura 17. Definição da rede de drenagem.

d) Divisão dos Rios

Esta etapa tem por finalidade identificar cada trecho do rio com um código.

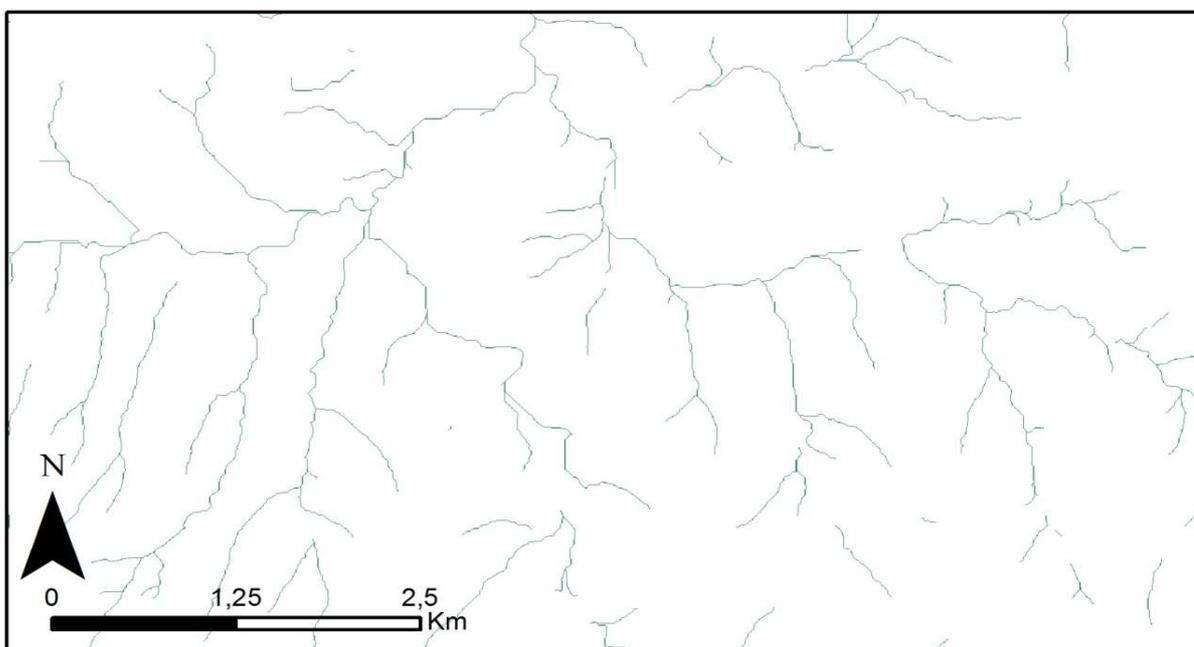


Figura 18. Divisão dos Rios.

e) Delimitação das bacias

Após a Segmentação dos rios, foram geradas as subbacias por meio da função Catchmentsraster, que se baseiam nos trechos de drenagem originadas no processo anterior.

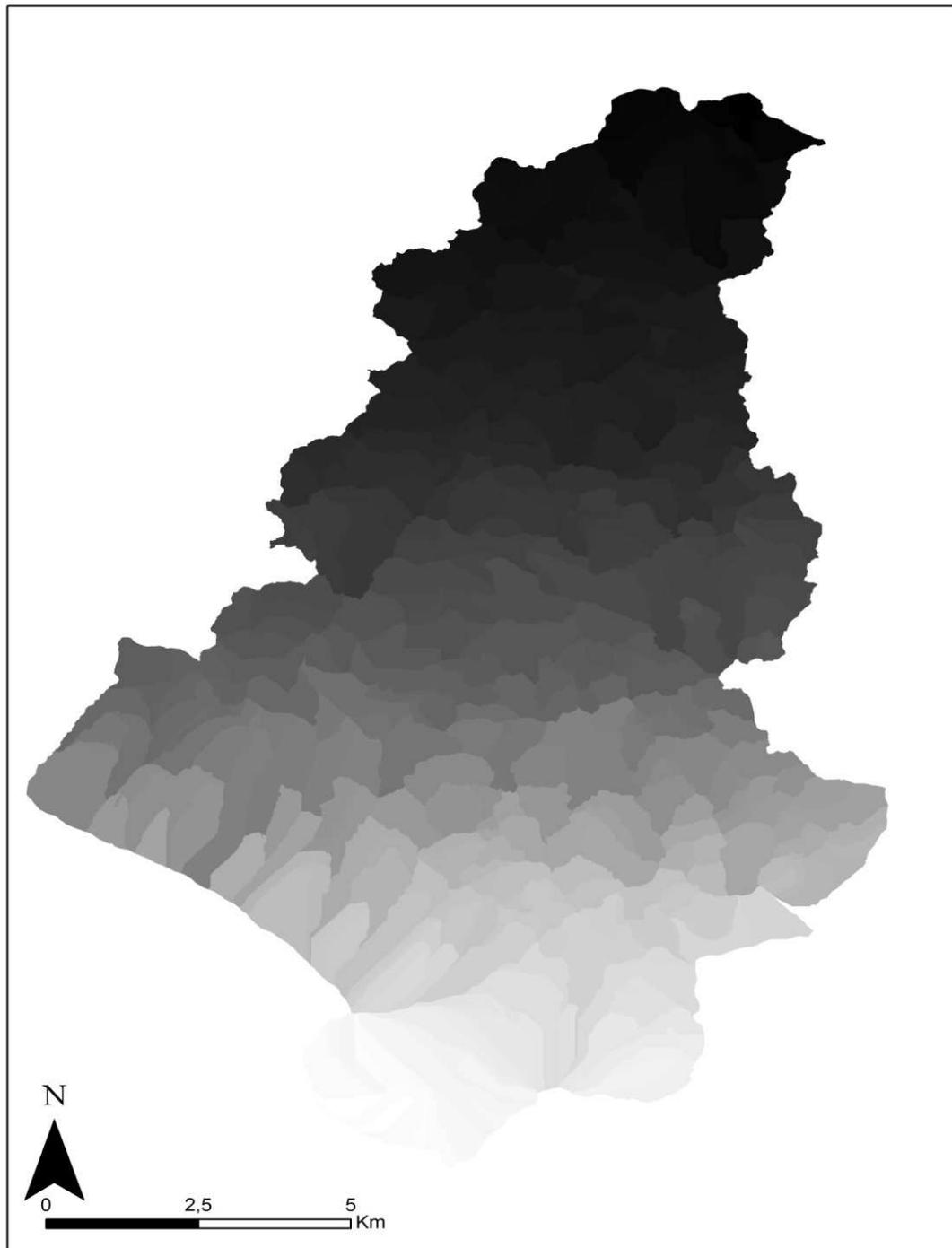


Figura 19. Delimitação das bacias.

f) Conversão das Bacias por trecho de formato *grid* para formato vetorial

Esta etapa tem como função converter o mapa em formato *grid* da etapa anterior para o formato vetorial. A conversão leva em consideração as informações de áreas, perímetros dos polígonos e código do trecho no banco de cada polígono.

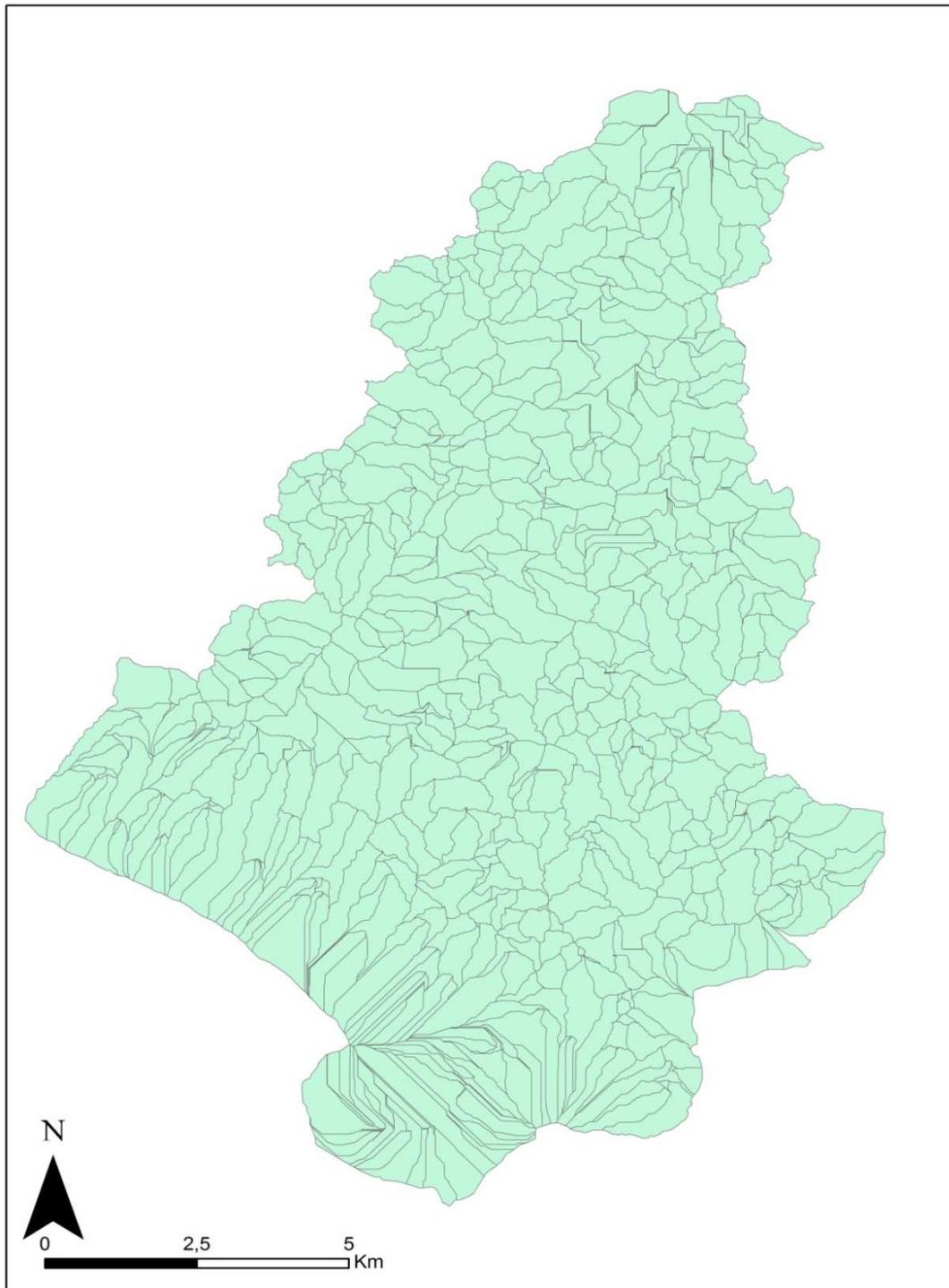


Figura 20. Áreas de contribuição da bacia.

Após ter feito 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 a foz da bacia, e não houve a delimitação de todas as bacias. Para corrigir esse problema foi utilizada a ferramenta “Editor”. Após ajustar a delimitação de todas as bacias, as bacias de primeira ordem foram agrupadas em bacias de segunda ordem; posteriormente, estas foram agrupadas em bacias de terceira ordem.

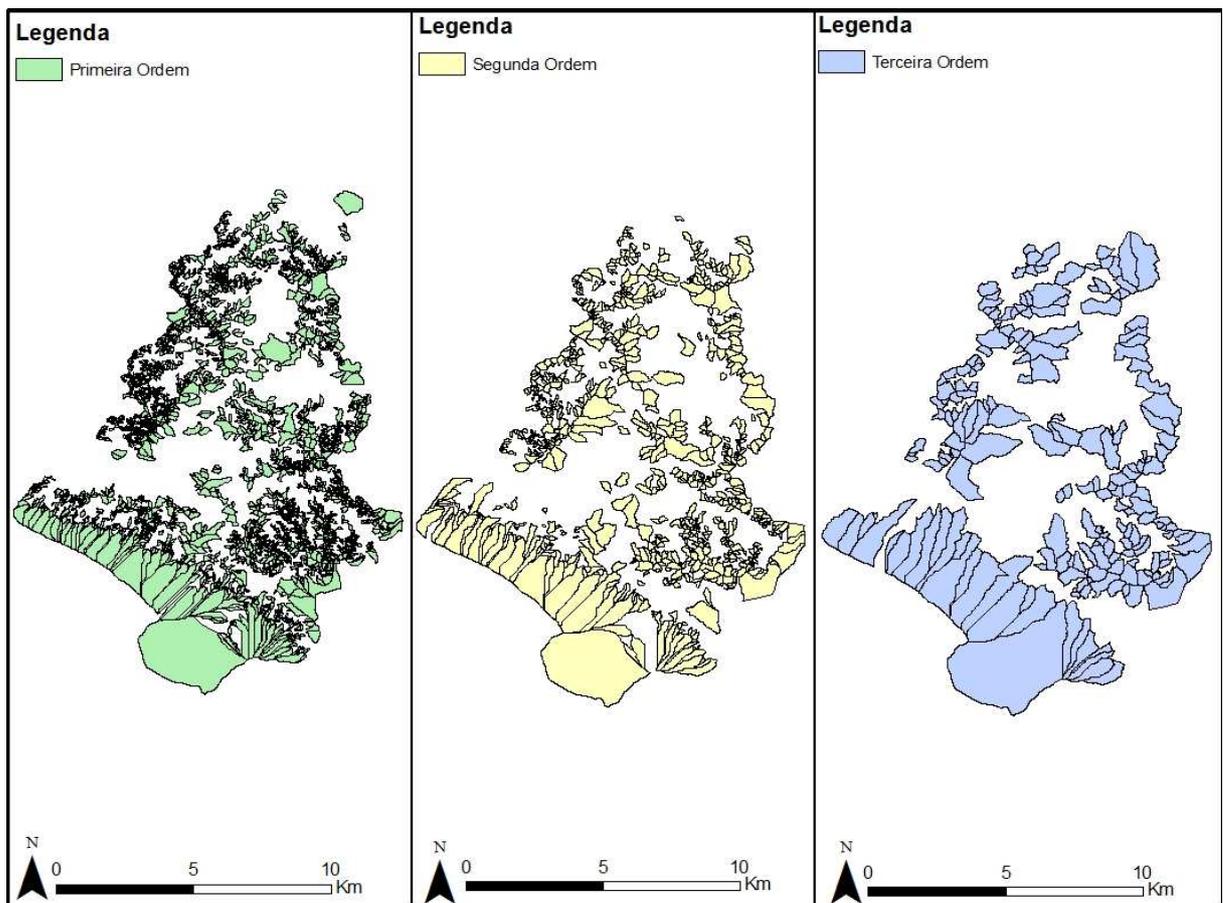


Figura 21. Bacias de primeira, segunda e terceira ordem.

Para cada bacia foi gerado um vetor (linha) para o cálculo da extensão do eixo côncavo principal. Além disso, foram efetuados os cálculos de desnivelamento para todas as bacias. 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.

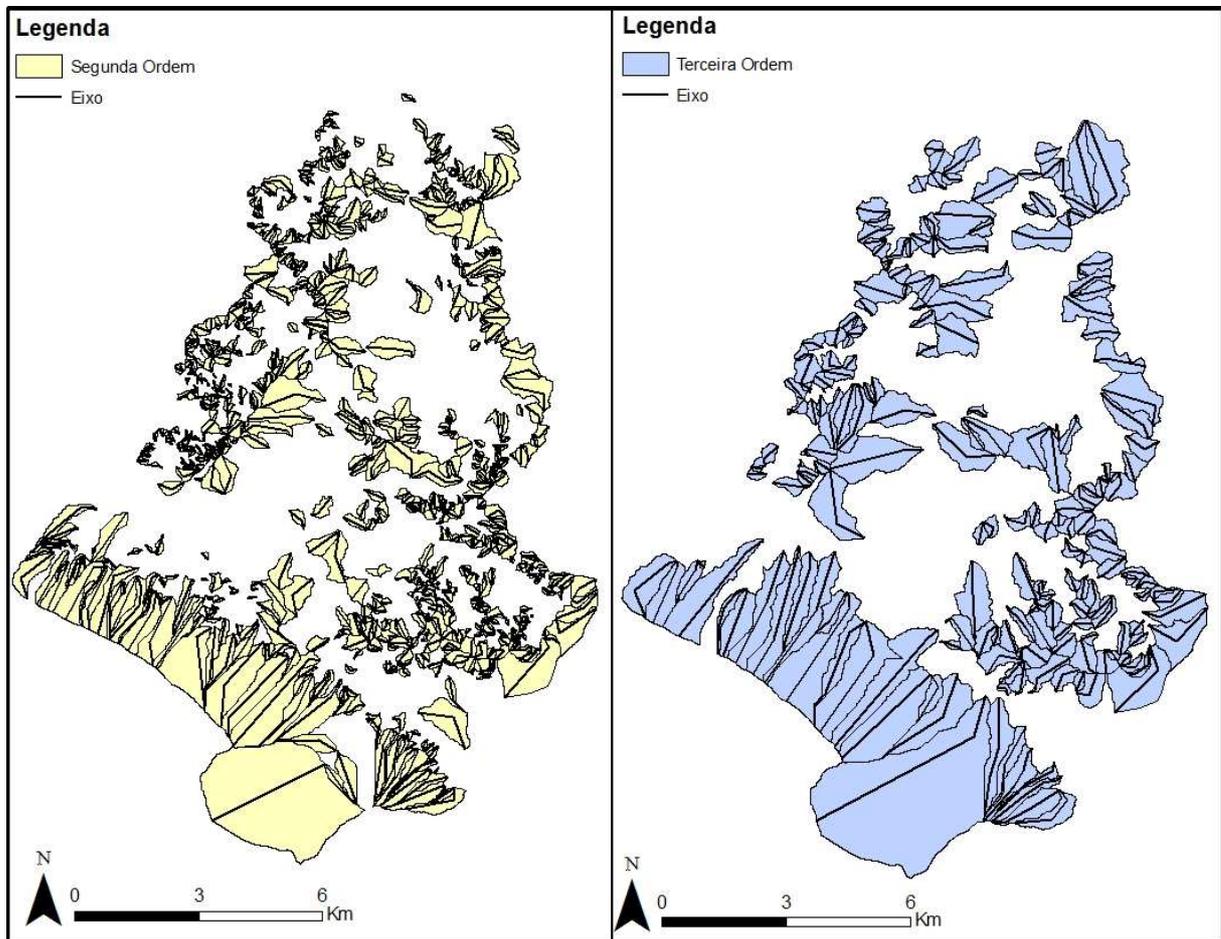


Figura 22. Bacias de segunda e terceira ordem com o eixo côncavo principal.

5.4. Diferença de nível

Foi calculada a Diferença de nível (Dn) das bacias de segunda e terceira ordem para gerar o IED de cada uma a partir das cotas altimétricas e do eixo côncavo principal, que foi gerado em cada bacia por meio da ferramenta "Editor" do ArcMap 9.3. O cálculo foi feito no Microsoft Excel 2007, onde foi utilizado a fórmula de Desnivelamento (Dn):

$$Dn = \text{Cota (B)} - \text{Cota (A)}$$

Dn é na prática a diferença de “altura” entre dois pontos, ou seja, a distância entre os mesmos, avaliada no plano vertical.

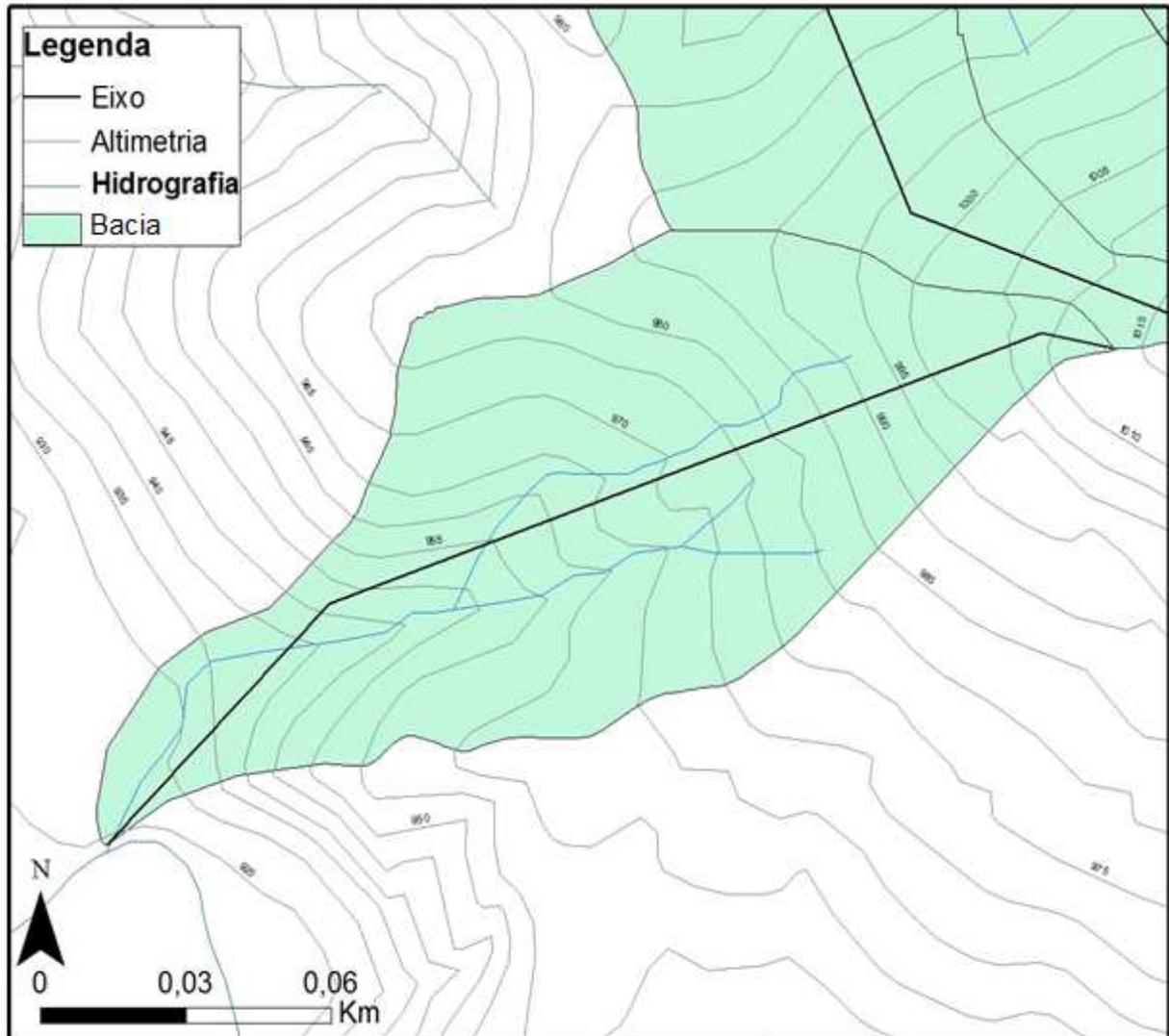


Figura 23. Bacia com eixo côncavo principal.

5.5. Geração do Mapa Hidro-Geomorfológico

Para fazer o mapa Hidro-geomorfológico, tal como Coelho Netto et al (2006), foi preciso gerar: a) mapa de curvatura (côncavo, retilíneo e convexo); b) Mapa de declividade e c) Mapa IED das bacias de segunda e terceira ordem (alto, médio e baixo), já citado acima.

a) Mapa de Curvatura

A curvatura foi gerada através do *software* ArcMap 9.3, módulo *Spatial Analyst, surface*, ferramenta *curvature*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. O MDT foi gerado no módulo *Interpolation*, ferramenta *Topo To Raster*.

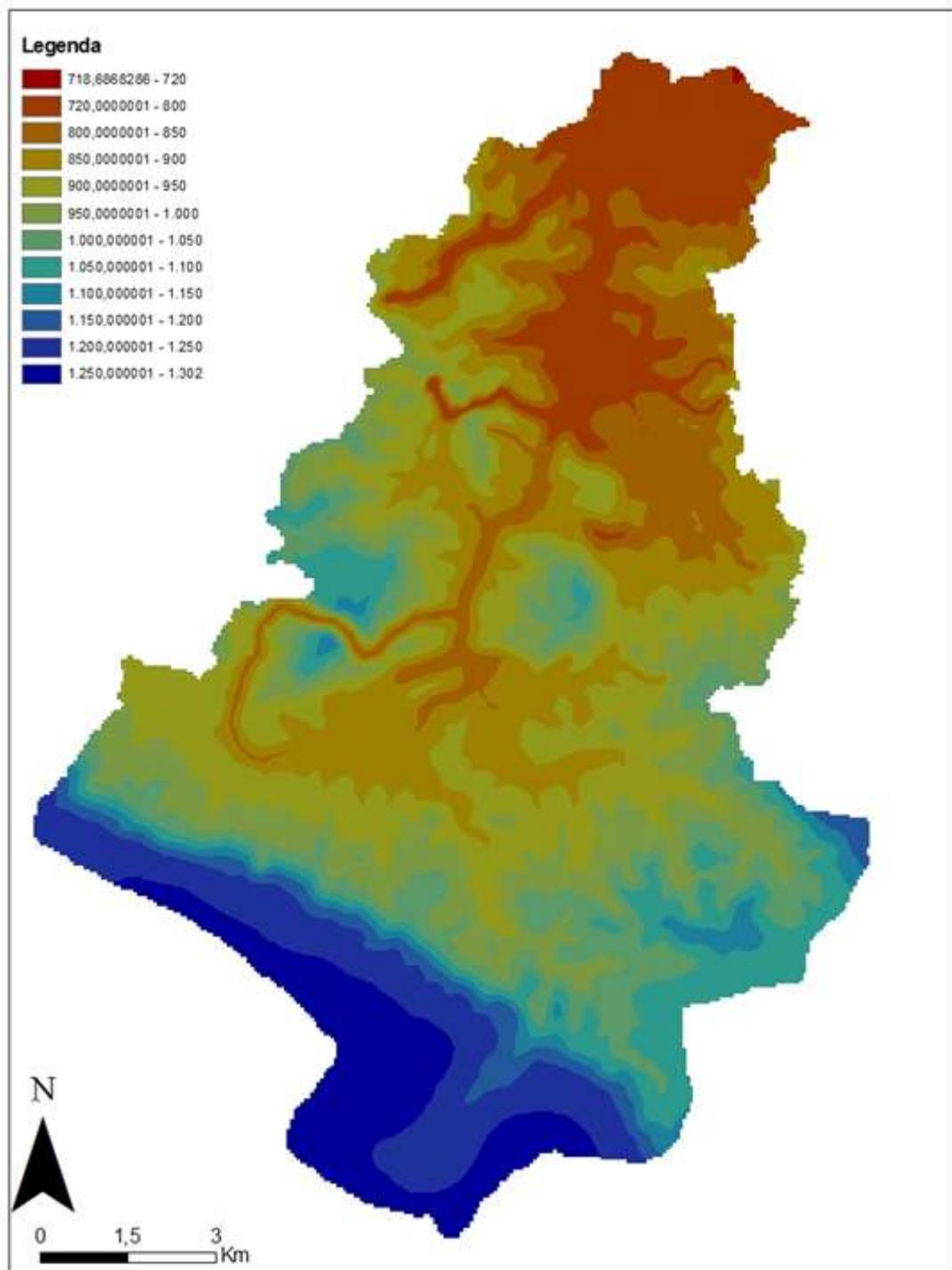


Figura 24. MDT (Topo ToRaster)

A curvatura é a segunda derivada da superfície do terreno. A curvatura de uma superfície é calculada baseada em célula por célula. Para cada célula, um polinômio de quarto grau da forma:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

É encaixado numa superfície composta por uma janela 3 x 3. Os coeficientes a, b, c e outros são calculados a partir da superfície. As relações entre os coeficientes e os 9 valores de elevação para todas as células numeradas são mostradas na figura 25.

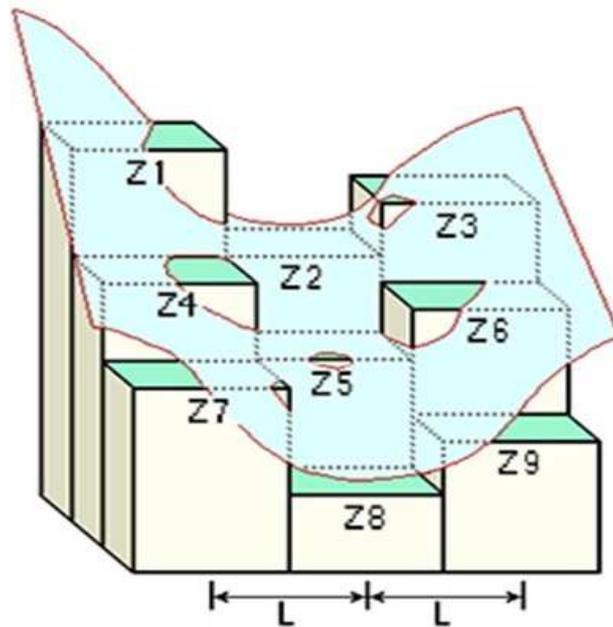


Figura 25. Demonstração da curvatura (Arcgis 9.3).

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$I = Z5$$

O resultado da curvatura é a segunda derivada da superfície de forma que:

$$\text{Curvatura} = -2(D + E) * 100$$

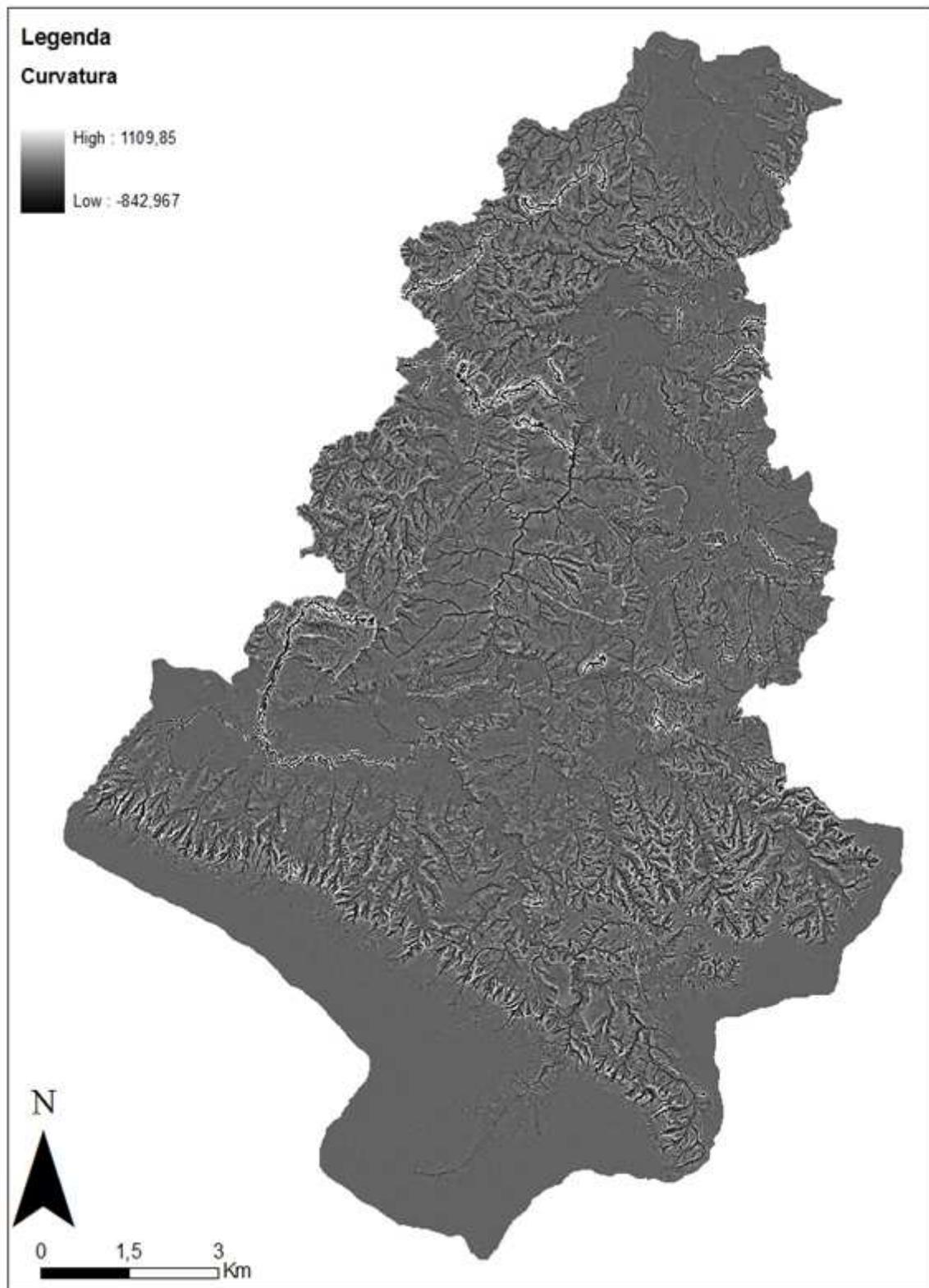


Figura 26. Curvatura.

A amplitude de valores foi de -842,967 a 1109,85. O *raster* foi reclassificado através do módulo *Reclass* na ferramenta *Reclassify* em 3 classes: superfície côncava, convexa e retilínea. Foi utilizada a classificação de Valeriano (2003) para curvatura vertical, onde: Côncavo: $-0,175^{\circ}/m$ até $-0,010^{\circ}/m$; Retilíneo: $-0,010^{\circ}/m$ até $+0,010^{\circ}/m$ e Convexo: $+0,010^{\circ}/m$ até $+0,173^{\circ}/m$.

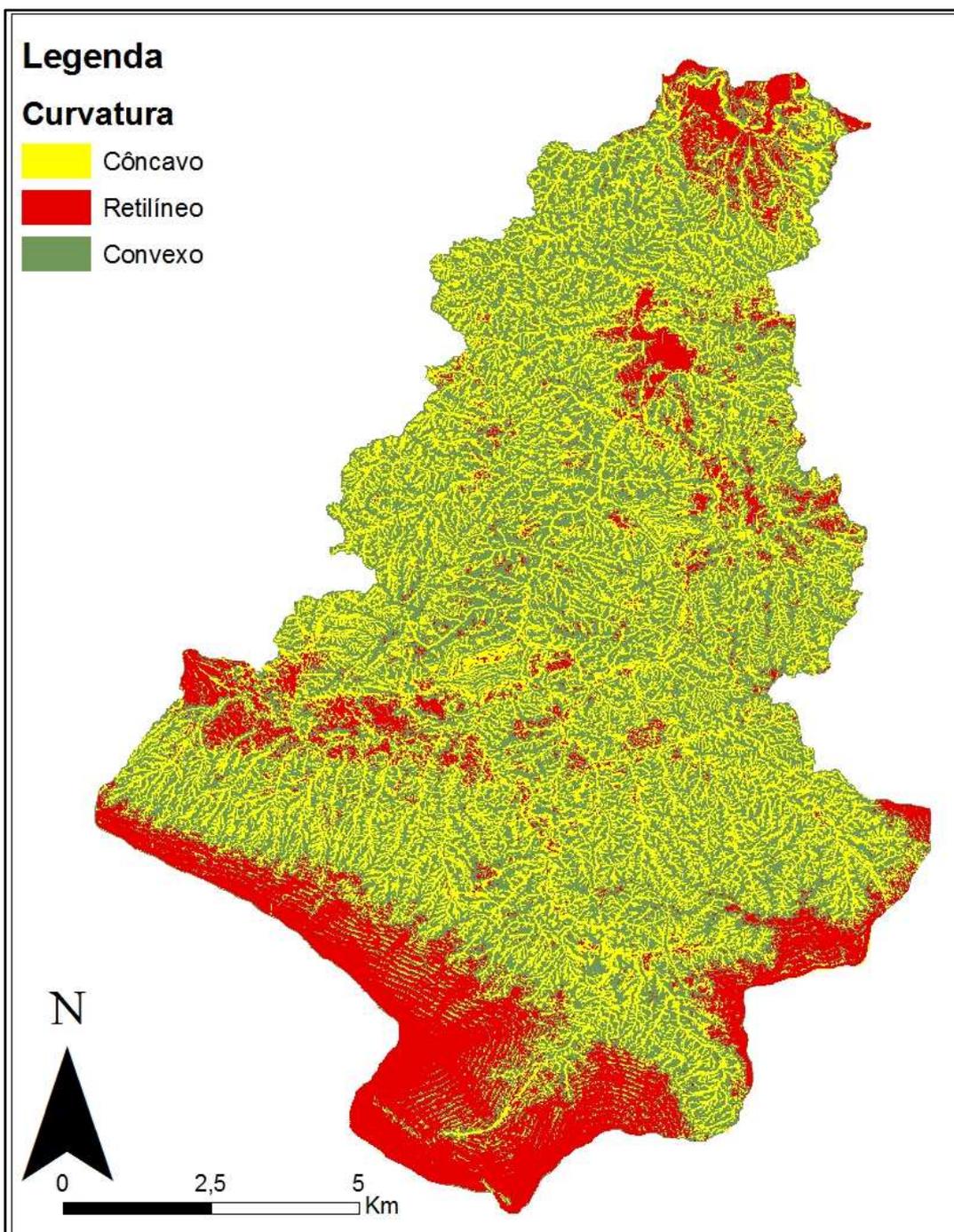


Figura 27. Curvaturas (Côncava, Convexa e Retilínea)

5.6. Mapa de declividade

A declividade foi gerada através do módulo *Spatial Analyst, surface*, ferramenta *slope*, utilizando o MDT como o *raster* de entrada. Os valores variaram entre 0 e 90%. 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).

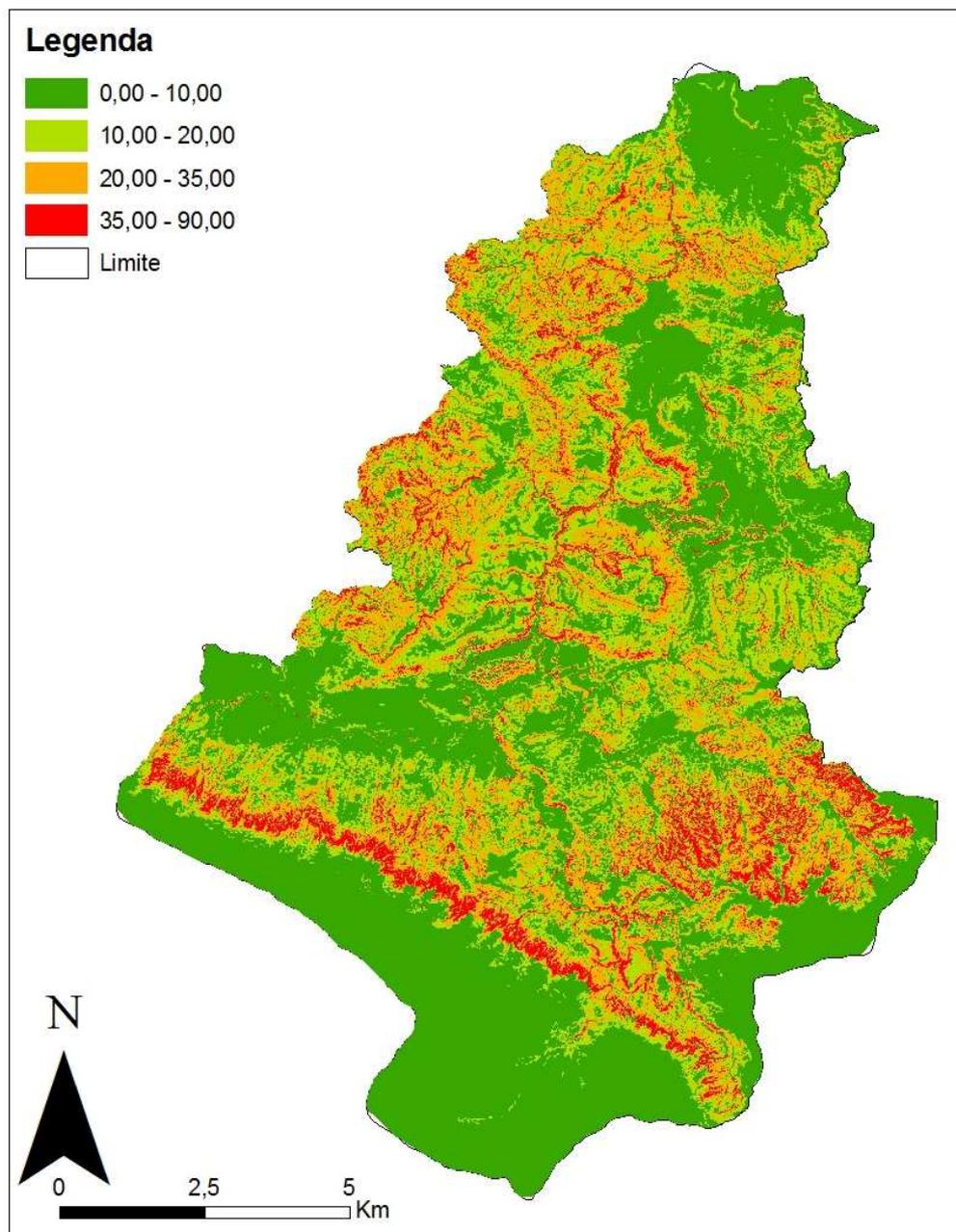


Figura 28. Declividade (Slope)

Foi gerado mapa de formas segundo os critérios de Coelho Neto et al (2006). Áreas com declividade $> 10^\circ$, foram consideradas com potencial deposicional. Áreas côncavas com declividade de $10-20^\circ$ corresponde 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 $>35^\circ$ também estão associadas com alto potencial de deslizamentos de terra.

	$0^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 35^\circ$	$> 35^\circ$
Côncavo	Baixo	Alto	Alto	Alto
Retilíneo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Convexo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto

Tabela 3.Tabela: Relação forma do relevo e declividade (potencial erosivo).

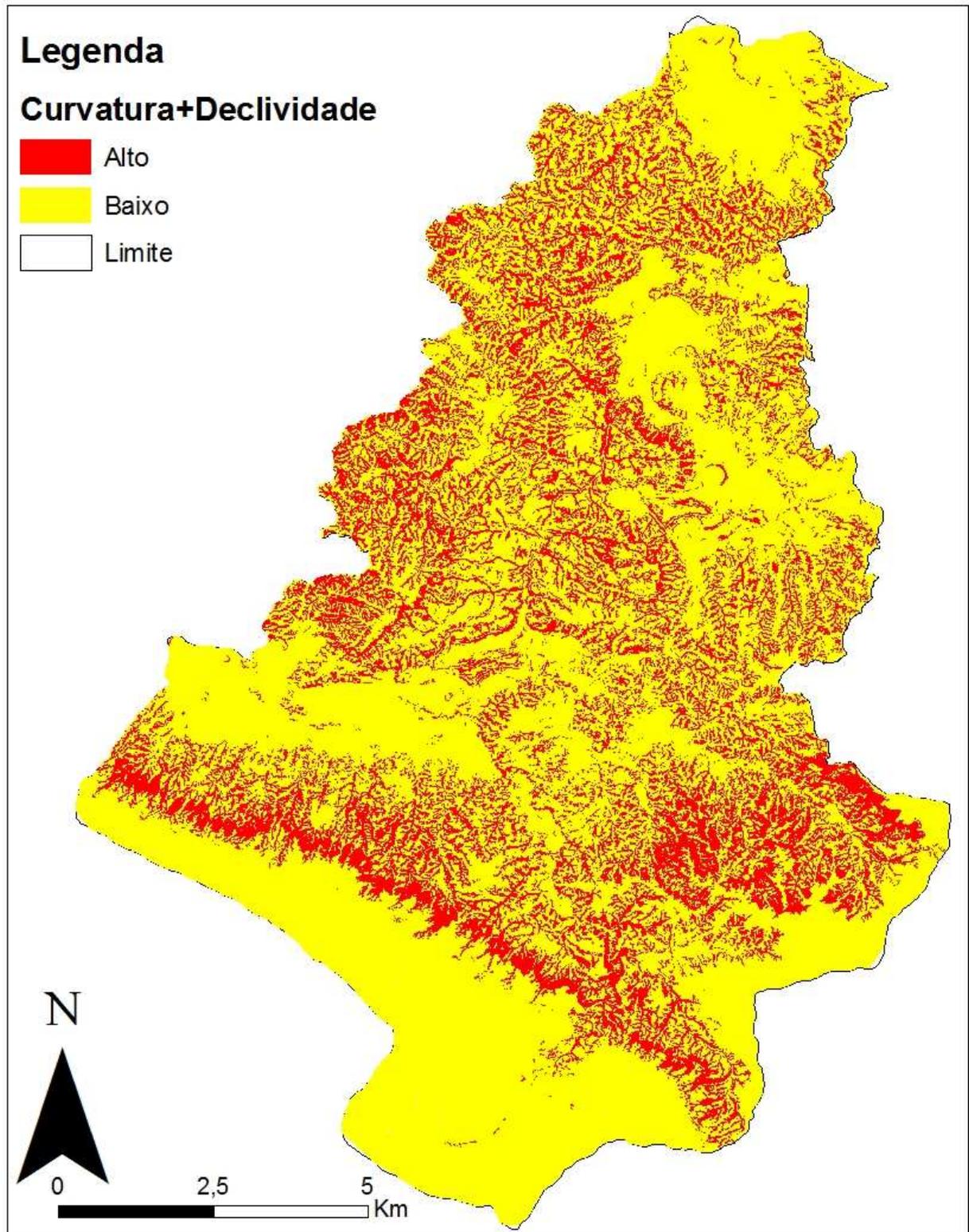


Figura 29. Imagem resultado do cruzamento de curvatura e declividade (potencial erosivo).

A partir desses parâmetros foi feita a classificação do mapa hidrogeomorfológico em áreas de alto, médio e baixo potencial erosivo. Juntou-se a classificação do IED (alto, médio e baixo) com a classificação feita entre a declividade e a curvatura (baixo e alto); o que resultou em seis classificações: Alto-alto, Alto-baixo, Baixo-alto, Baixo-baixo, Baixo-alto e Baixo-baixo; a partir disso, gerou-se outra classificação, onde foram agrupadas em apenas três classe: Alto, Médio e Baixo. As áreas em branco foram consideradas regiões de deposição.

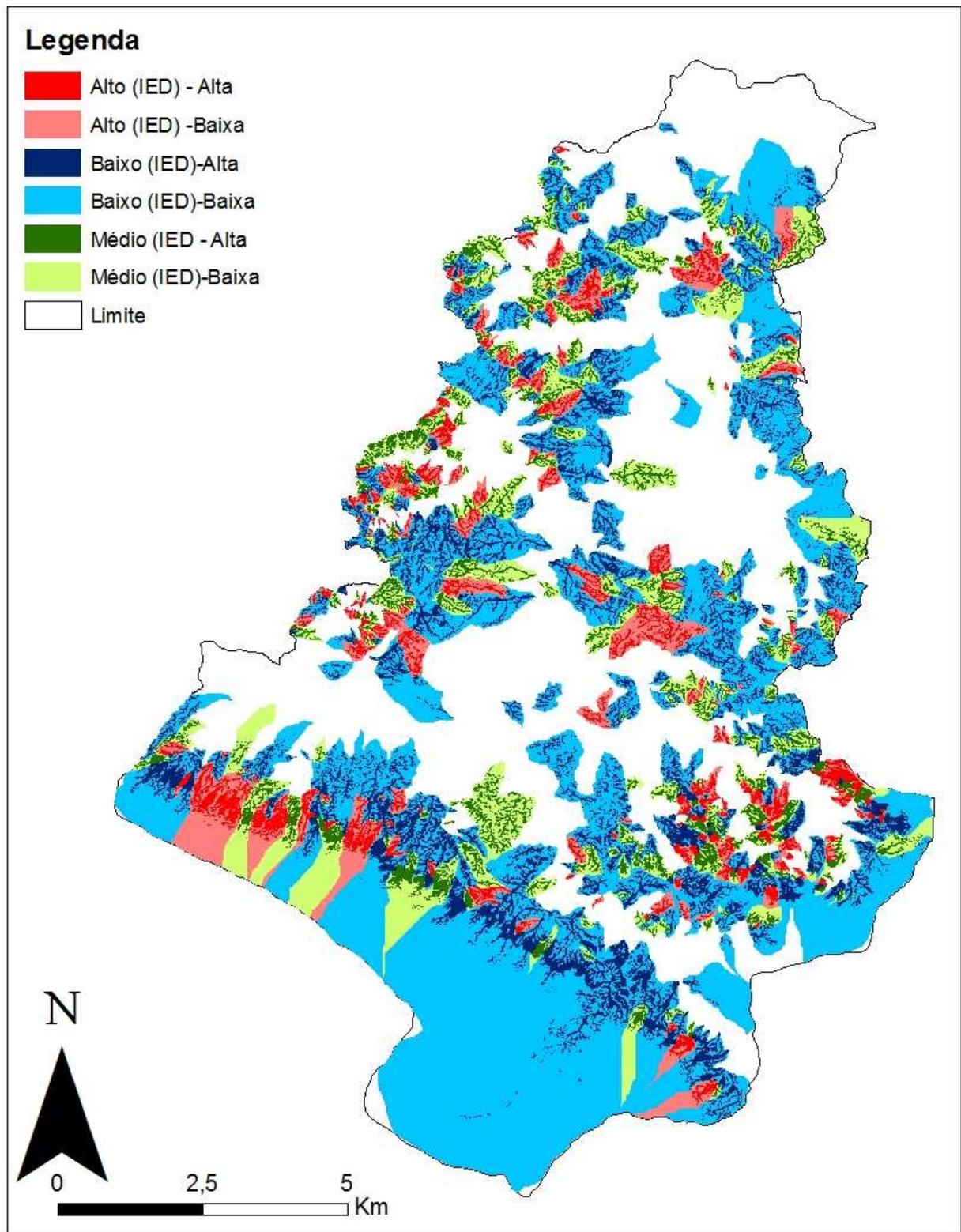


Figura 30. Imagem do potencial erosivo da bacia.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análises lineares e áreas de canais e bacias.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem possui uma área de 146km² comprimento de 17,8 Km, com uma densidade de drenagem de 5.7 Km/Km² e com densidade de canais de 32,9 canais/km². 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.

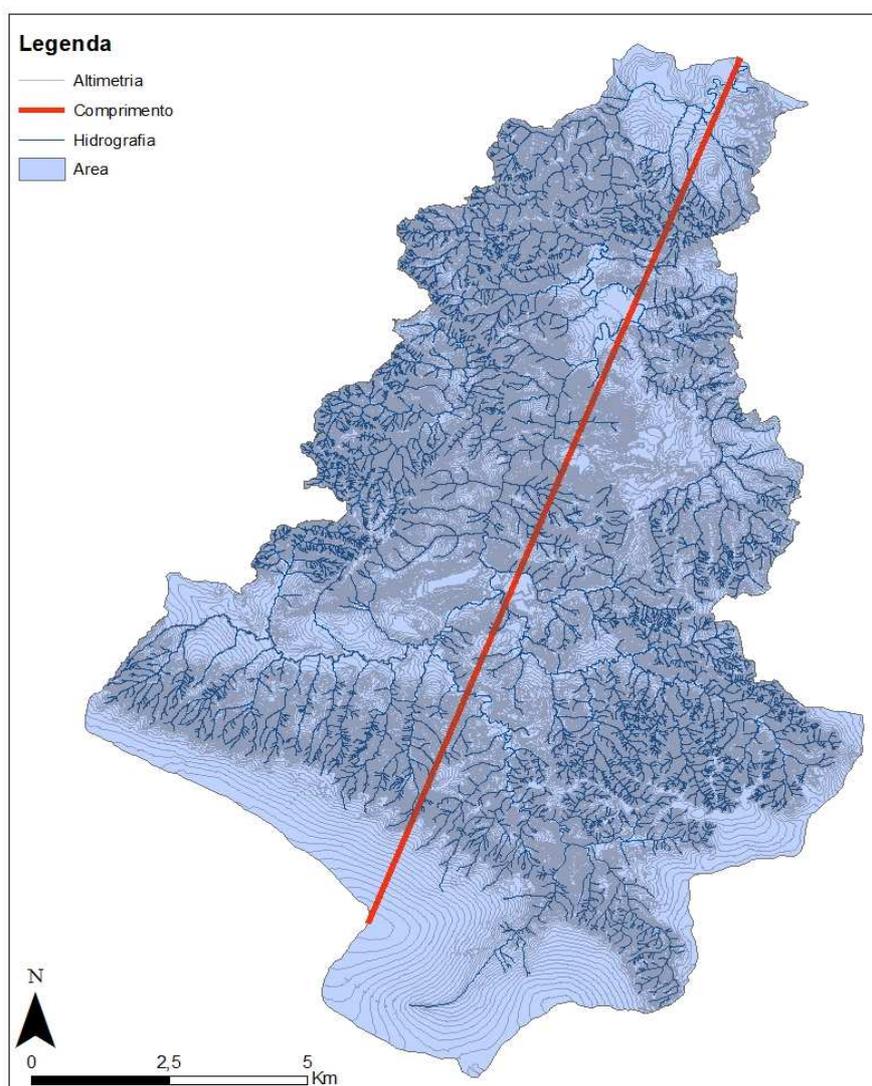


Figura 31. Imagem de demonstração de cálculo de comprimento da bacia, pelo método da maior cota.

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 canais 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).

Braga (2012) fez a reconstituição da rede de canais a partir do mapeamento feito pela Terracap (2010) e, ao fazer a hierarquização de ambas as bases, observou-se que a hierarquia fluvial da bacia que era de sexta ordem (Terracap) mudou para sétima ordem (reconstituição).

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

Tabela 4. Ordem dos canais com seus respectivos números de canais e extensão.

A imagem abaixo (figura 31) mostra o número de canais e sua respectiva quantidade em relação ao total. Os canais de primeira ordem representam 76% dos canais existentes, isso mostra que é uma bacia bastante dissecada. Os canais de segunda ordem representam 17,9%, os de terceira ordem 4%, os de quarta 1,5%, os de quinta 0,5%, os de sexta 0,08% e os de sétima 0,02%

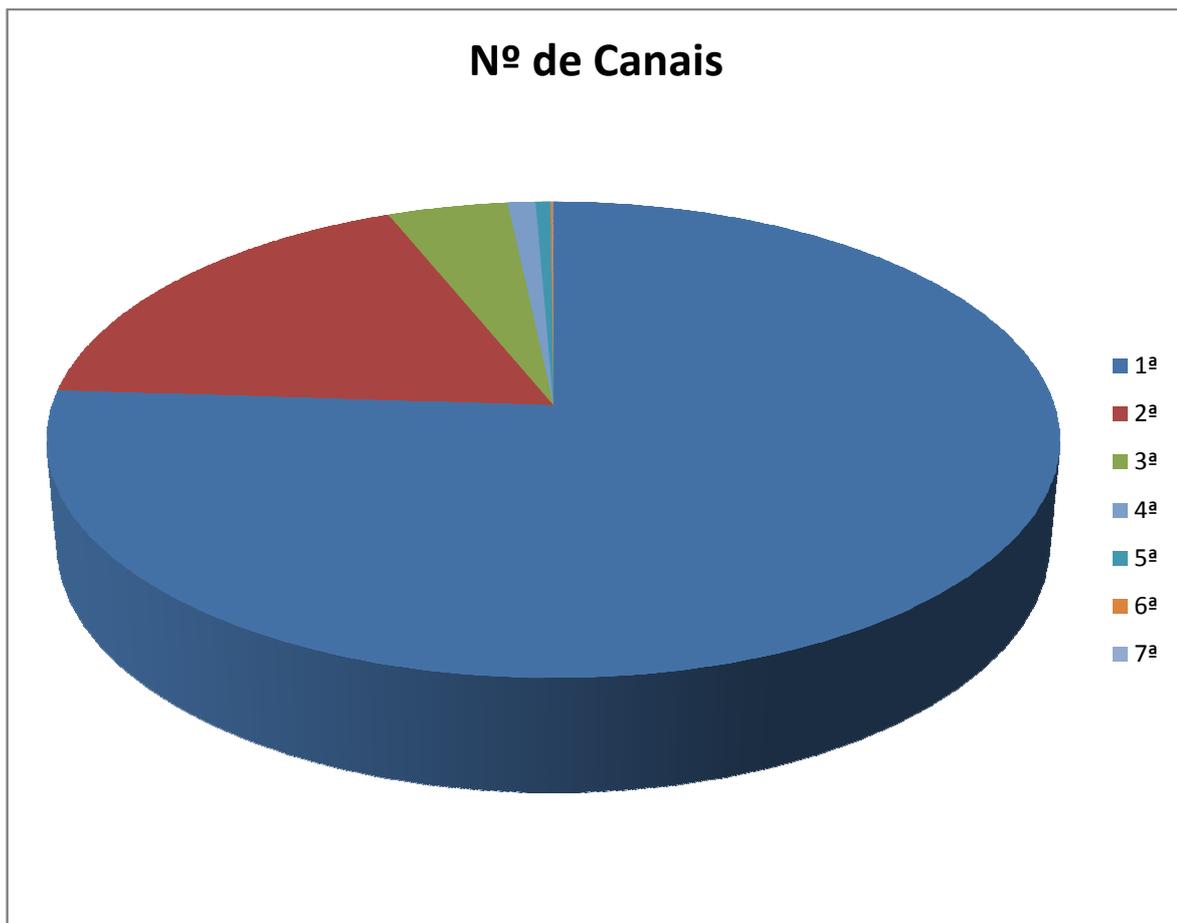


Figura 32. Porcentagem do número de canais em relação a sua hierarquia.

A figura 32 mostra a relação entre o número de canais e a extensão. Observa-se que há uma grande diferença entre o número de canais e a extensão, principalmente com relação aos canais de primeira e segunda ordem. Segundo Christofolletti (1980), há uma relação inversa entre a quantidade de canais e o comprimento deles, isso explica o porque da quantidade de número de canais de primeira ordem ser muito superior a sua extensão (km).

No geral, como há um grande número de canais de primeira ordem, a extensão dos canais é muito menor do que a quantidade deles (figura 33).

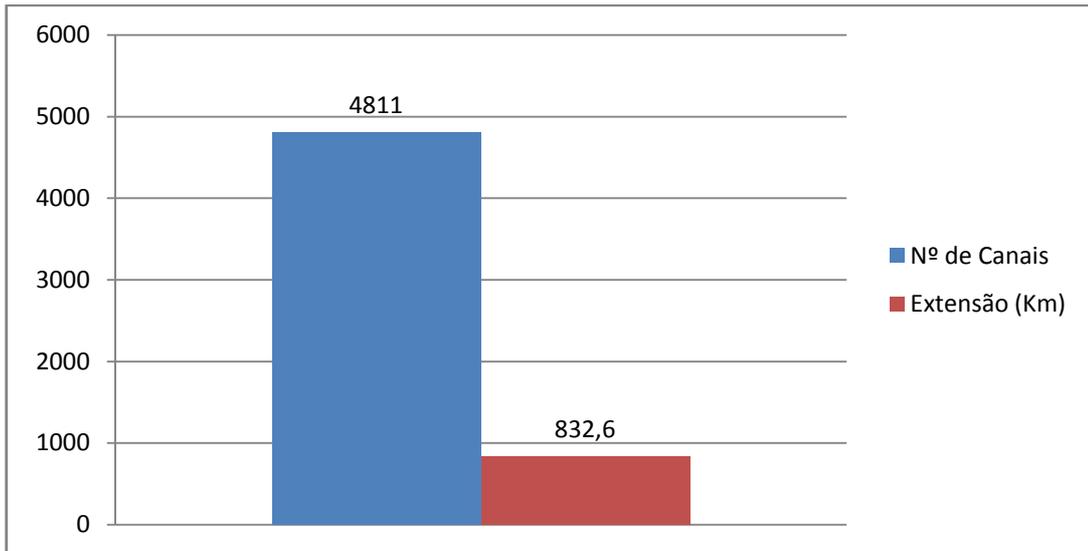


Figura 33. Relação entre numero de canais e sua extensão (km).

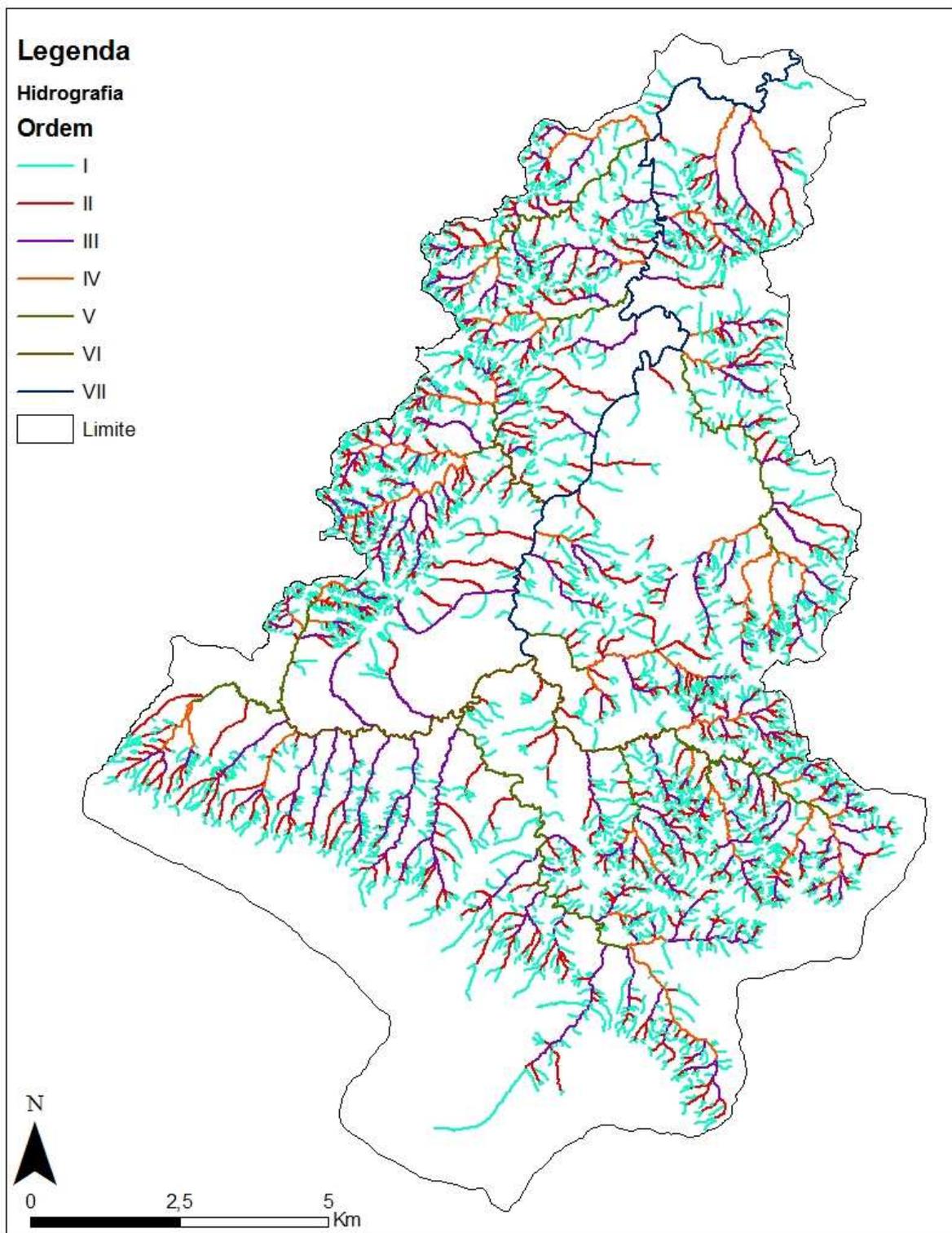


Figura 34. Imagem da hierarquia dos canais.

6.2. Mapa do 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 0,0225 e 27,723, com média de 4,515284. A maioria das bacias possuem um IED baixo.

A figura 36 apresenta os valores de IED em ordem crescente para cada bacia de segunda ordem.

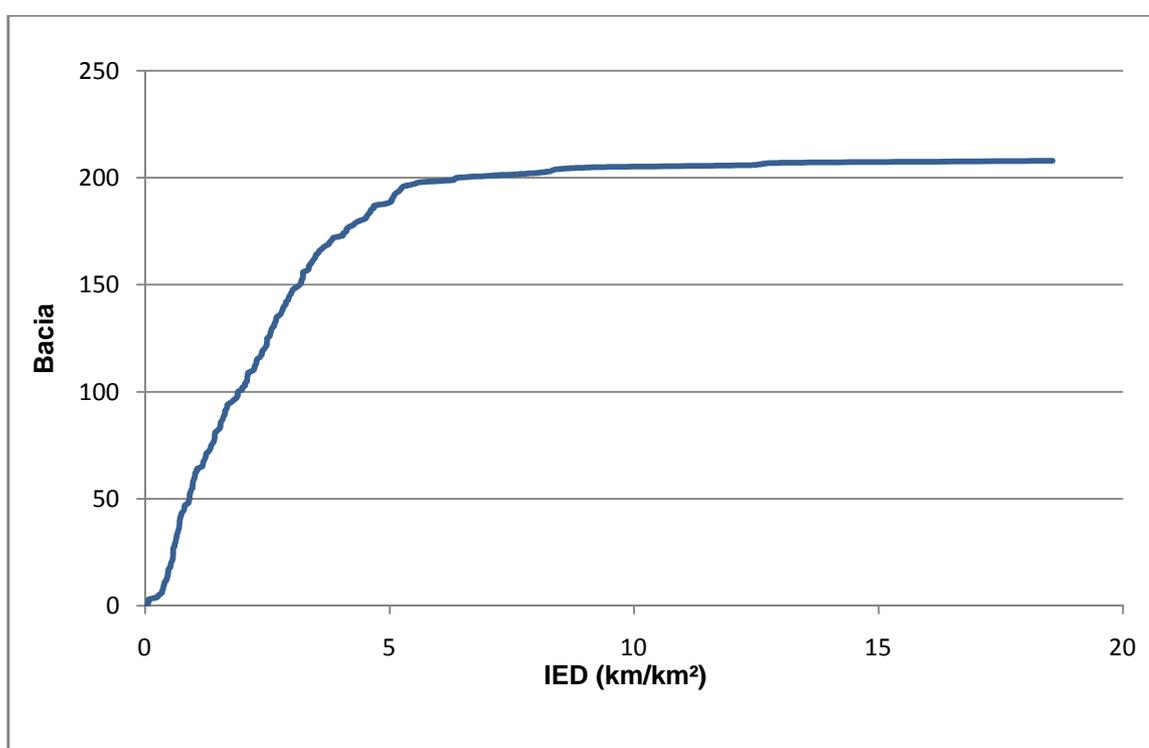


Figura 35. Valores de IED em ordem crescente para as bacias de segunda ordem.

Na figura 37, observa-se que as bacias estão concentração no IED baixo e médio, ficando poucas bacias no IED alto.

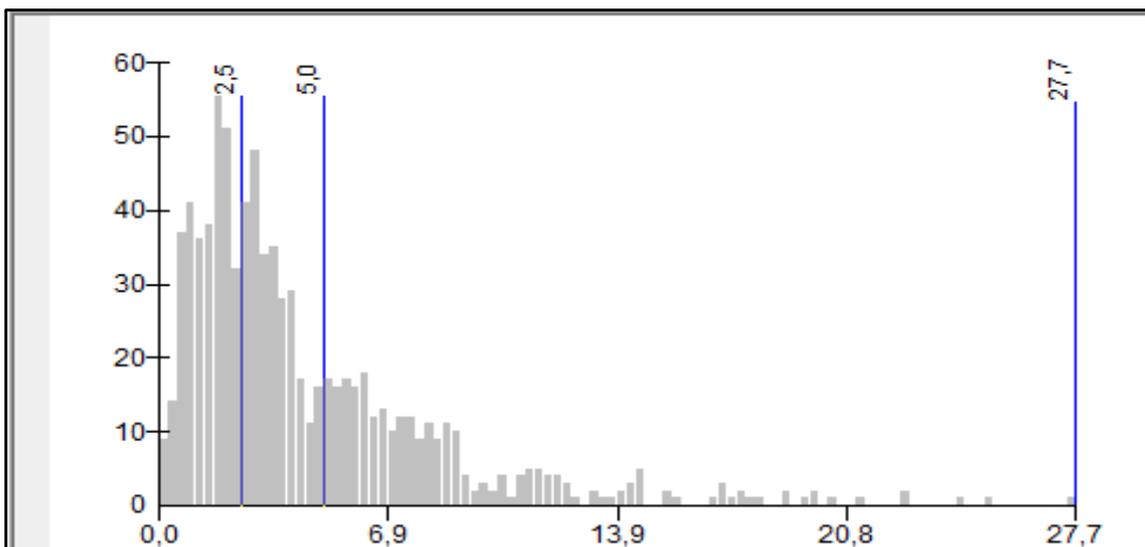


Figura 36. Histograma de frequência de valores de IED para bacias de segunda ordem.

Valores de IED	Classes de IED	Número de bacias de segunda ordem
>5	Alto	275
2,5-5	Médio	261
<2,5	baixo	310

Tabela 5. Valores IED da bacia segunda ordem por número de bacia.

As bacias de segunda ordem, em sua maioria, são de IED baixo, seguido do IED alto e depois o médio. Ou seja, a maioria das bacias de segunda ordem se encontram em áreas com pouca densidade de drenagem, com pouca declividade e/ou são bacias mais alongadas (comprimento do eixo côncavo principal).

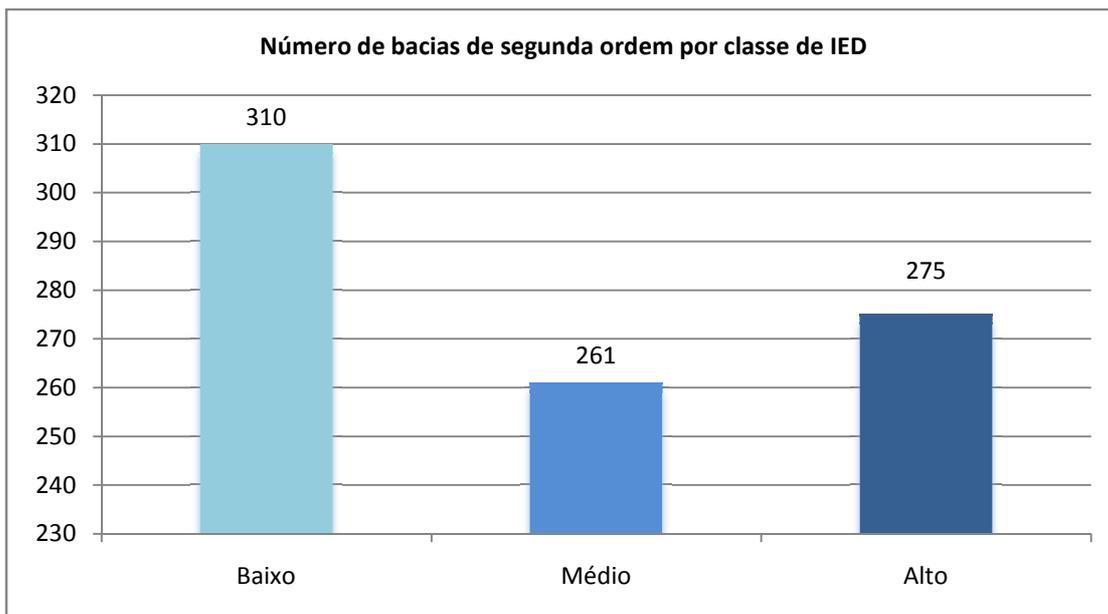


Figura 37. Número de bacias de segunda ordem por classe de IED.

As bacias de terceira ordem apresentaram valores de índice de eficiência de drenagem (km/km^2) entre 0,0495 e 18,5616, com média de 2,484258. A maioria das bacias possuem um IED baixo.

A figura 39 apresenta os valores de IED em ordem crescente para cada bacia de terceira ordem.

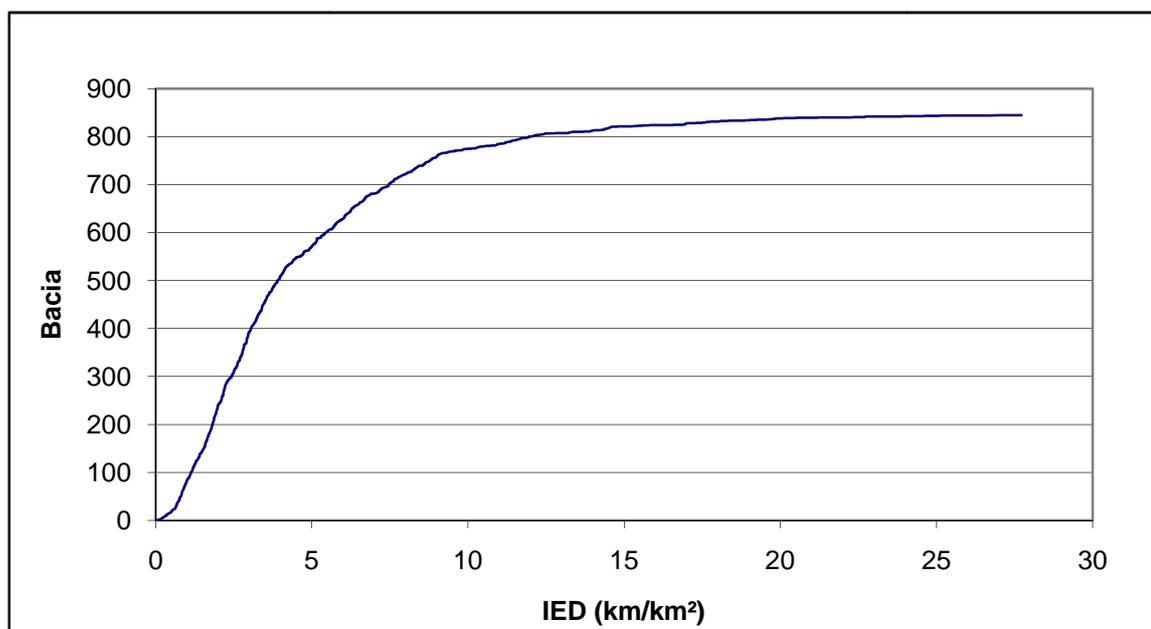


Figura 38. Valores de IED em ordem crescente para as bacias de terceira ordem.

Na figura 40, observa-se que as bacias estão concentração no IED baixo e médio, ficando poucas bacias no IED alto.

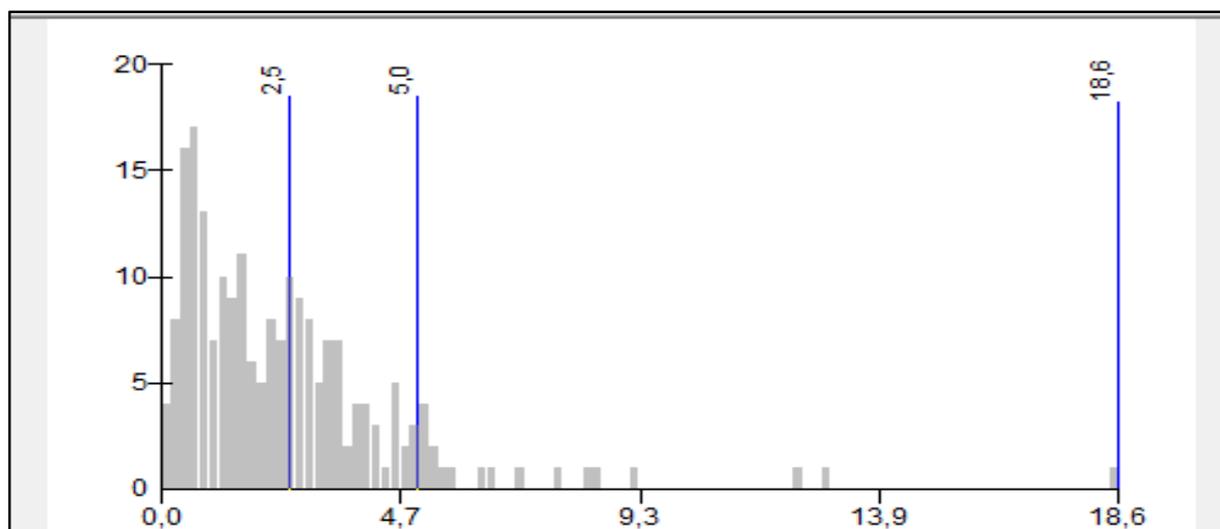


Figura 39. Histograma de frequência de valores de IED para bacias de terceira ordem.

Valores de IED	Classes de IED	Número de bacias de segunda ordem
>5	Alto	20
2,5-5	Médio	63
<2,5	Baixo	126

Tabela 6. Valores IED da bacia terceira ordem por número de bacia.

As bacias de terceira ordem, em sua maioria, são de IED baixo, seguido do IED médio e depois o alto. Ou seja, a maioria das bacias de terceira ordem se encontram em áreas com pouca densidade de drenagem, com pouca declividade e/ou são bacias mais alongadas (comprimento do eixo côncavo principal).

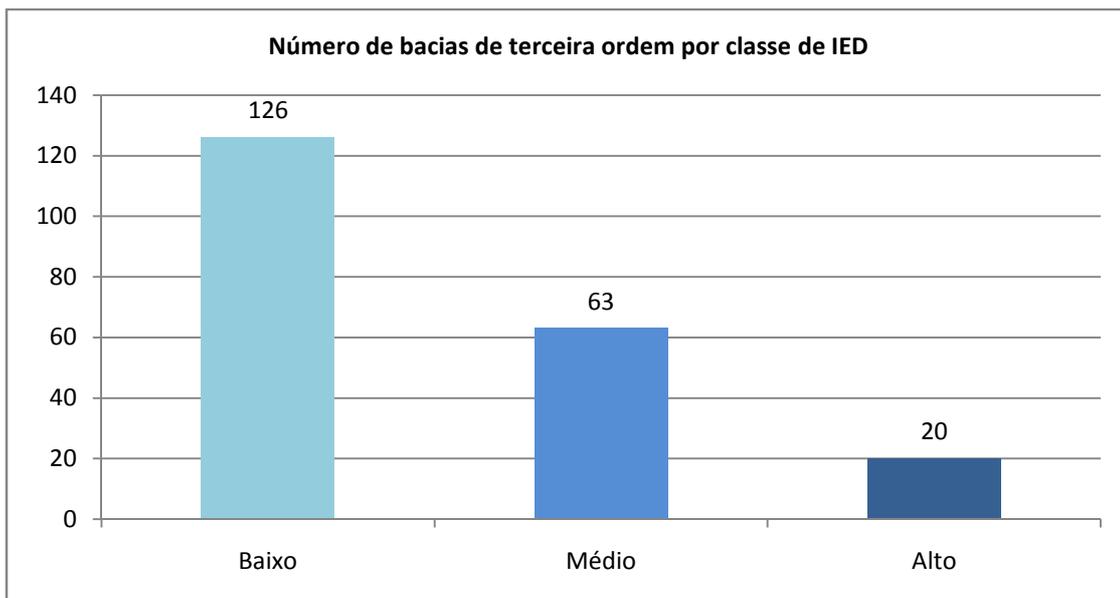


Figura 40. Número de bacias de terceira ordem por classe de IED.

A sobreposição do mapa de IED por bacias de segunda ordem ao de IED por bacias de terceira ordem, com os mesmos valores para as classes, gerou um mapa de IED(bacias de segunda e terceira ordens).

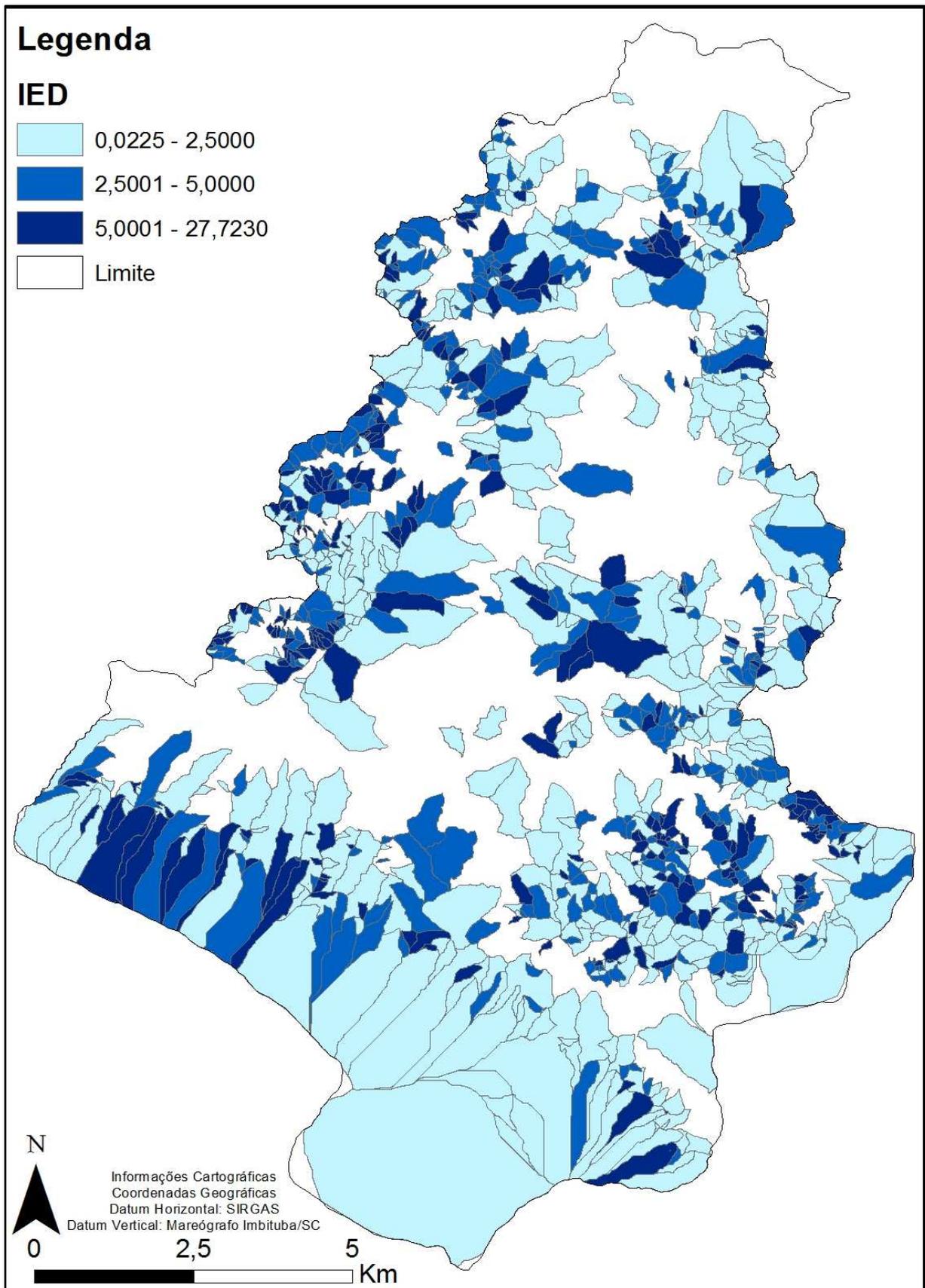


Figura 41. Imagem do IED da bacia.

6.3. Índice de Eficiência de Drenagem e feições erosivas

Foram mapeadas por Ligier Braga (2012) as feições erosivas existentes na Bacia do Ribeirão Contagem, onde foi mapeado um total de 233, dentre elas: 90 voçorocas, 57 ravinas, 42 erosões superficiais, 29 minerações e 15 elementos não identificados. Foi verificada uma controle geológico em relação as feições erosivas e a geologia da bacia. Observou-se uma correlação entre voçorocas e a litologia *clorita filitos*,

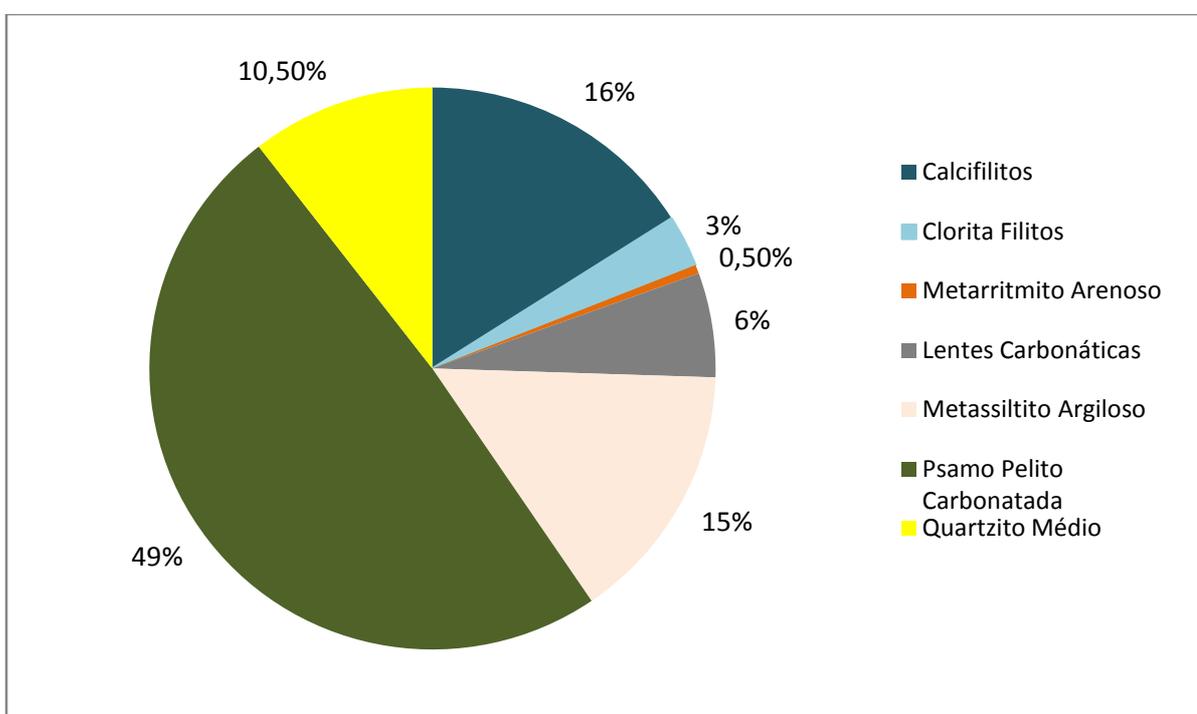


Figura 42. Litologias da Bacia do Ribeirão do Gama. (modificado, Campos 1999).

Apesar da litologia *Clorita Filitos* representar apenas 3% da bacia, há uma forte ocorrência de feições erosivas por km². (tabela 7 e 8)

Litologia/Feições	Voçoroca	Ravina	E.Superf.	Mineração	N.Ident.	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
Metarrimito Arenoso	0	0	0	0	0	0
Total	90	57	42	29	15	233

Tabela 7. Ocorrência das feições erosivas em cada litologia. (Braga, 2012)

Ao fazer o cruzamento entre a geologia e o 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 encontra-se no IED médio e alto, estando sua maior parte no IED alto (5-27). (Figuras 44, 45 e 46).

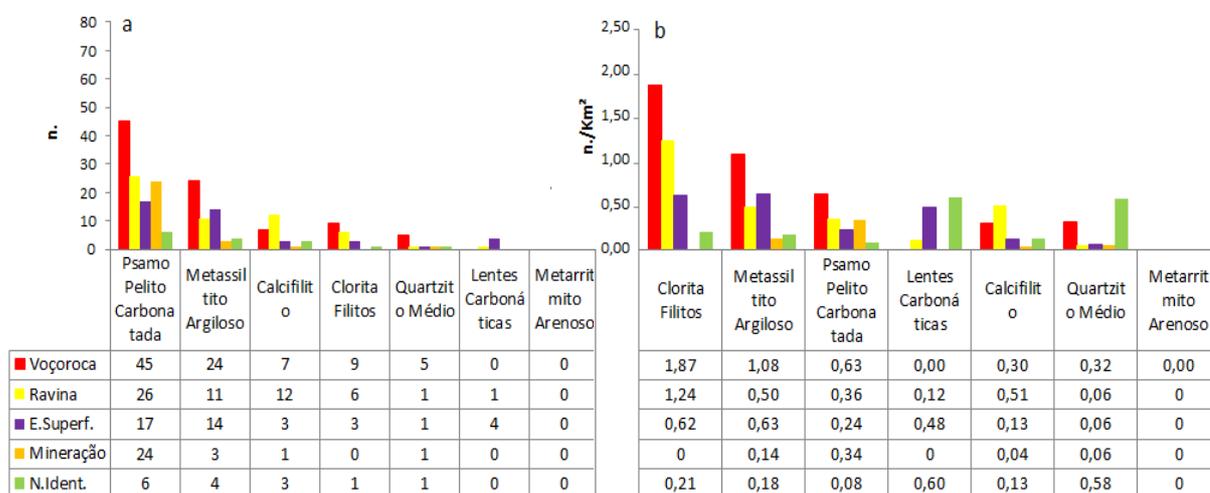


Tabela 8. ocorrência de feições (n) por classe de litologia;) frequência de feições (n/km²) por classe de litologia. (Braga, 2012).

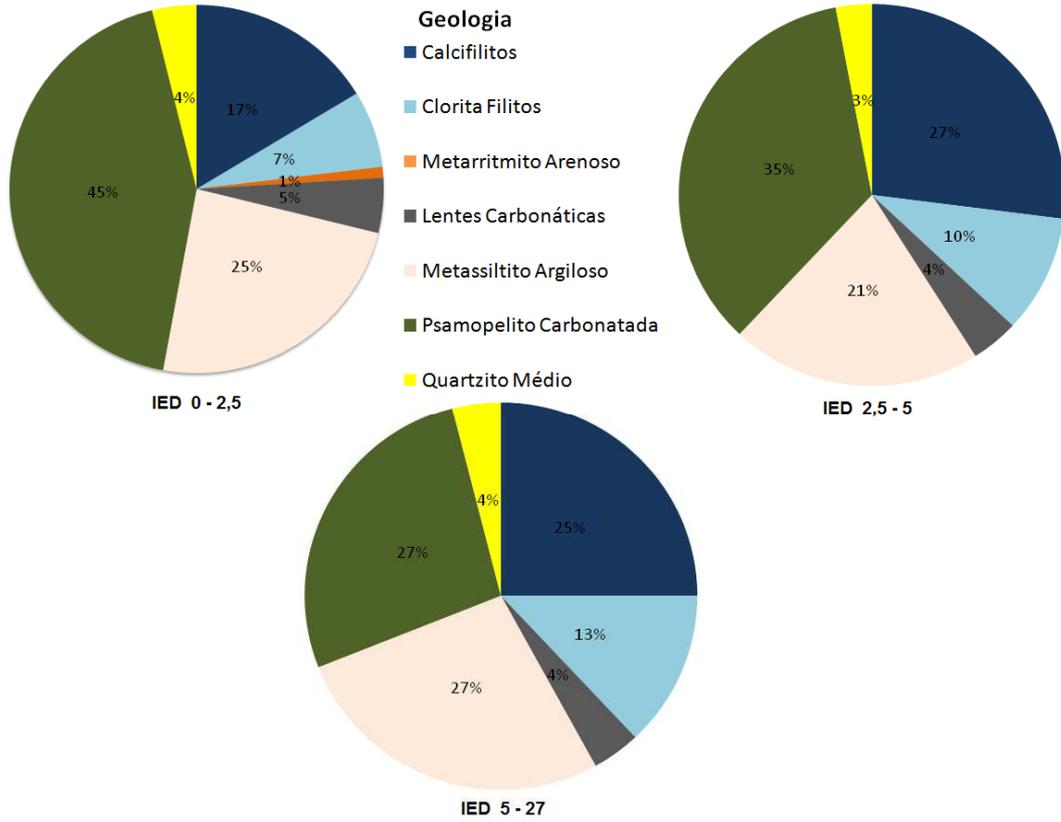


Figura 43. Distribuição da litologia por IED.

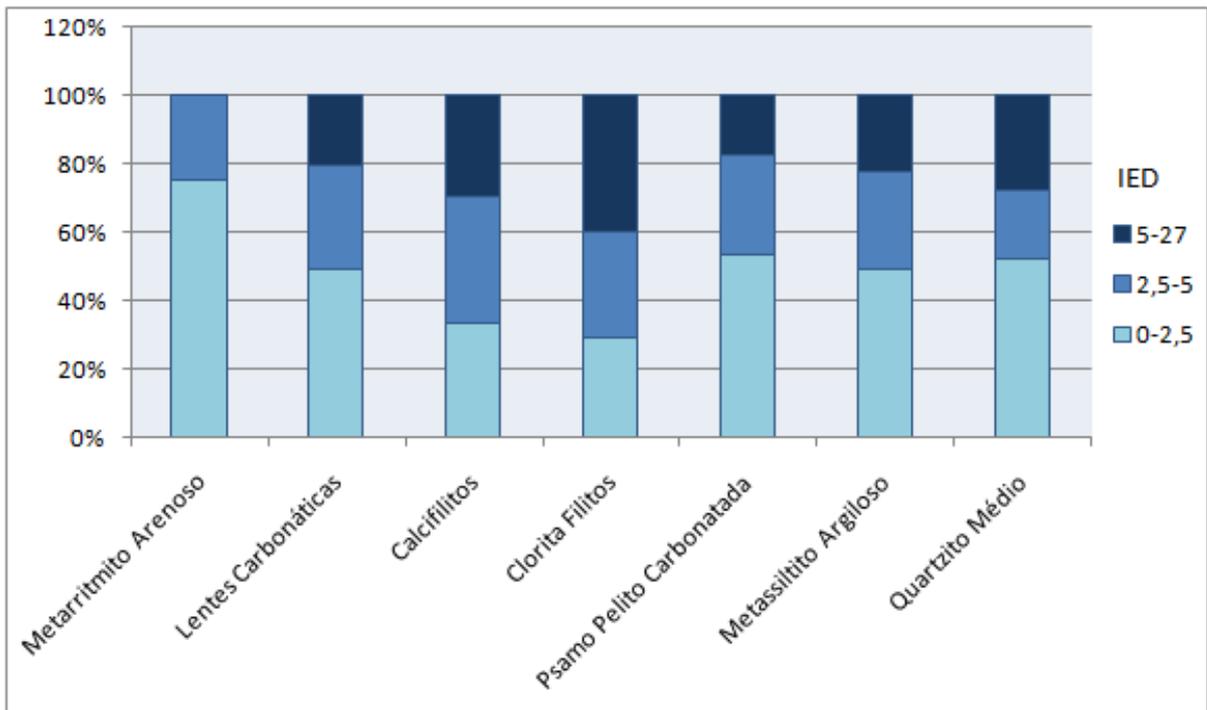


Figura 44. Distribuição da geologia por classe IE

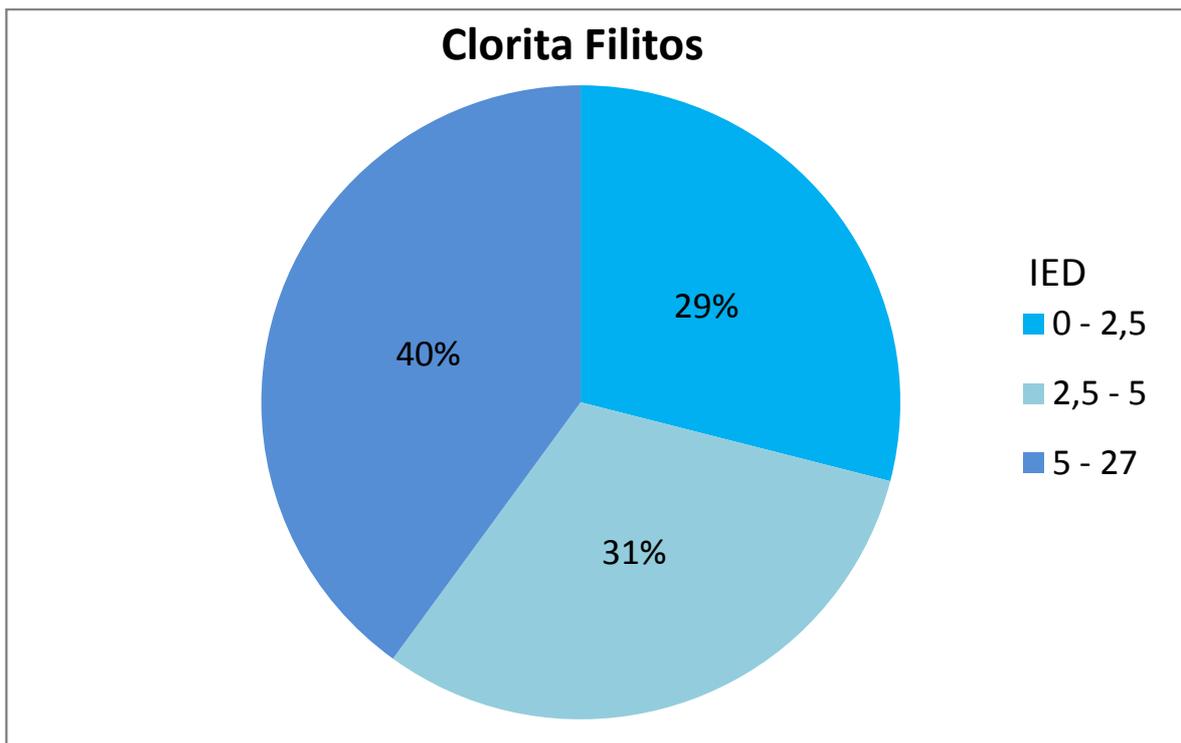


Figura 45. Porcentagem de IED na litologia Clorita Filito

Para melhor avaliar esse controle geológico, foi feita uma divisão de três unidades apenas da litologia Clorita Filito na bacia. Foram selecionadas apenas áreas onde foi mapeada algum tipo de feição erosiva.

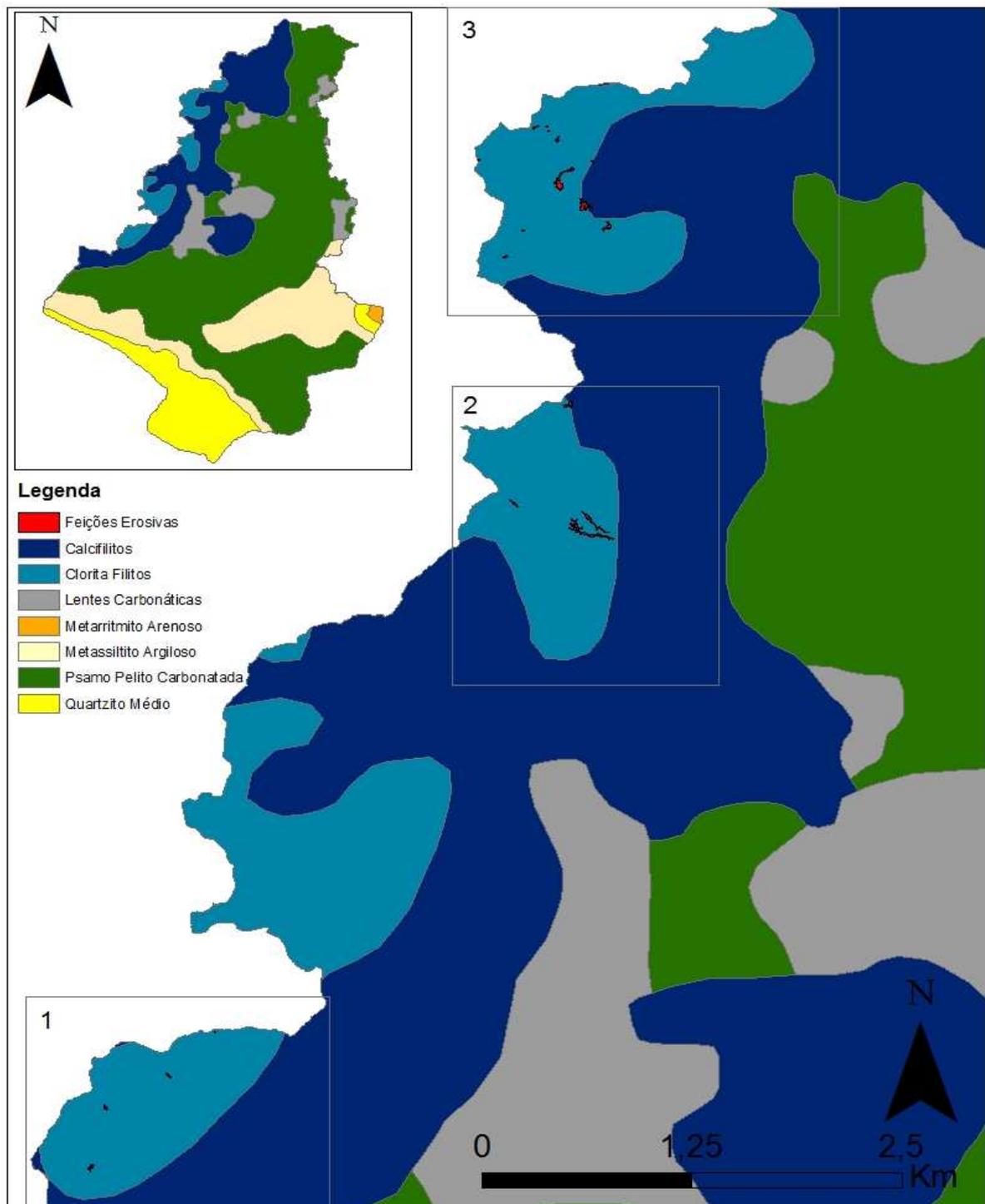


Figura 46. Imagem de localização das três unidades clorita filito com feição erosivas.

A unidade 3 apresentou o maior IED, com aproximadamente 3,9 (IED médio), a unidade 2 apresentou o menor IED, com aproximadamente 2,2 (IED baixo) e a unidade três ficou com aproximadamente 2,7 (IED médio).

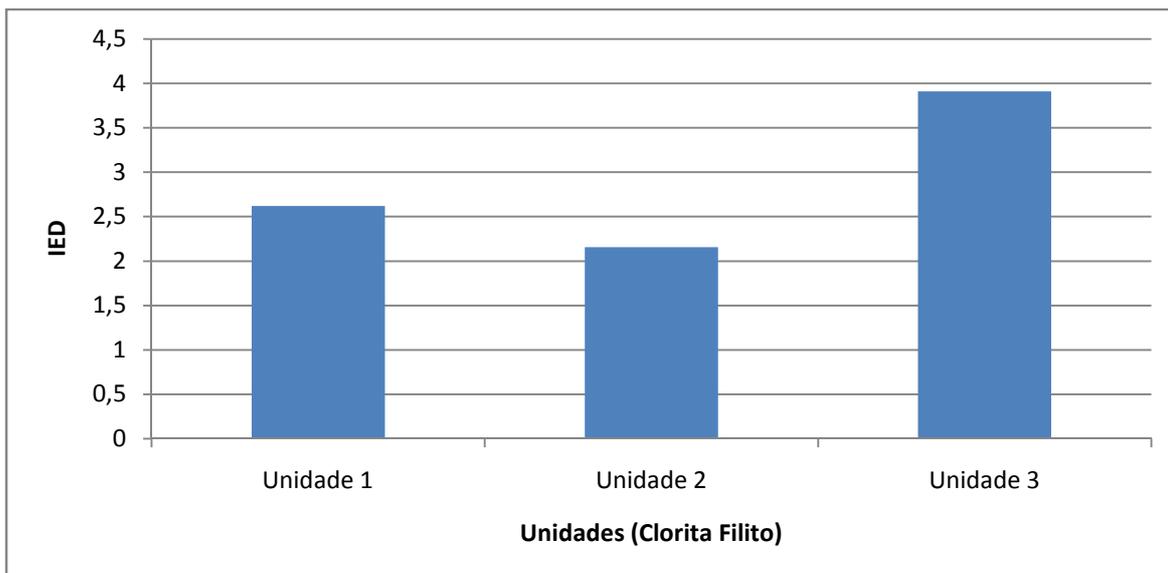


Figura 47. Relação do IED com as três unidades de Clorita Filito.

Há uma relação entre o número de feição erosiva com o IED de cada unidade. Na unidade 3 foram contabilizados 14 feições erosivas, enquanto as outras unidades possuem 4 feições erosivas mapeadas. Ou seja, a unidade que tem o maior número de feições erosivas possui o maior IED.

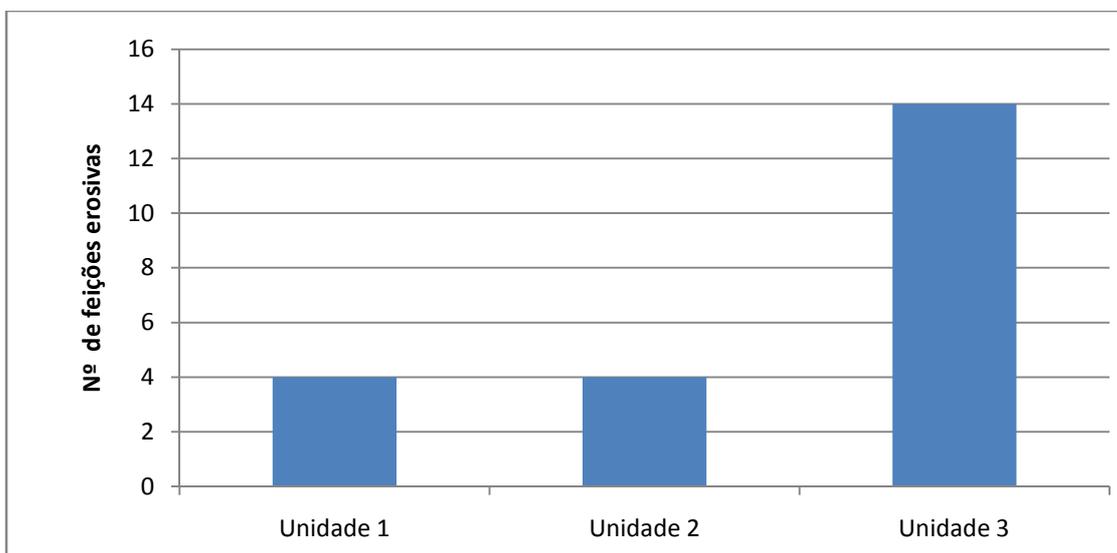


Figura 48. Relação de nº de feição erosiva existente em cada unidade de Clorita Filito.

O índice de eficiência de drenagem (IED) integra parâmetros morfométricos relativos a densidade de concavidades 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 verificou-se 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 bacias de segunda e terceira ordens estarem na escala dos processos geomorfológicos das encostas, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia, de acordo com as feições mapeadas por Braga (2012).

Pela classificação e fórmula do IED segundo Coelho Netto et al (2006), $IED = G * Dd$, 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 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 resumo, as feições erosivas ficaram em regiões em bacias mais alongadas (maior comprimento) e pouco declivosas.

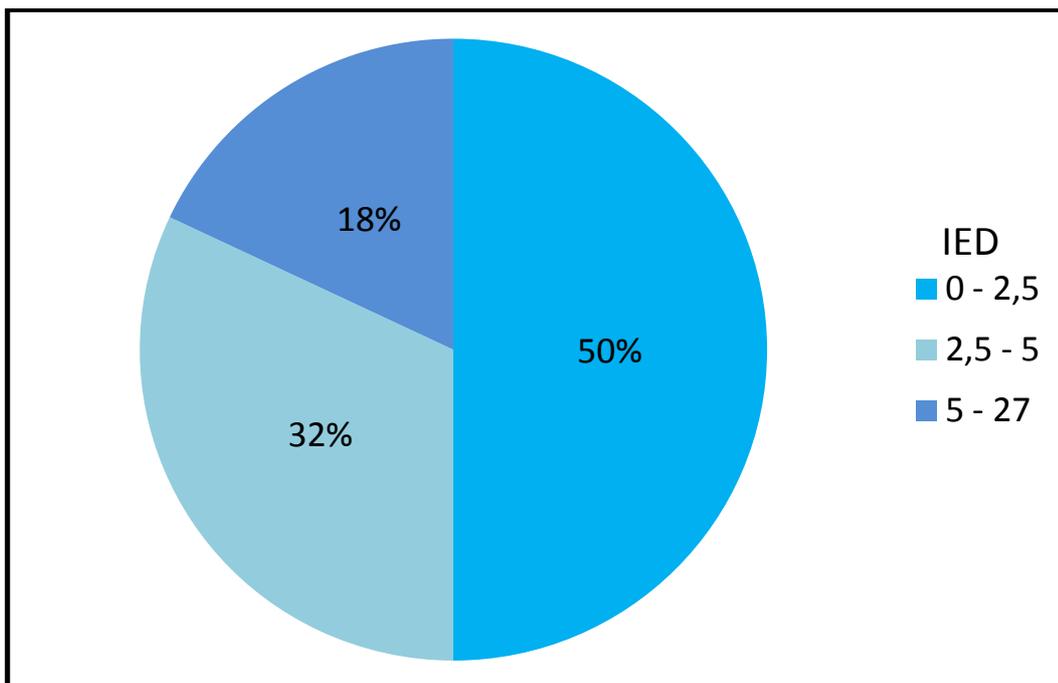


Figura 49. Feições erosivas por classe IED.

Percebe-se que, apesar das feições erosivas estarem no geral em áreas de baixo IED (figura 50), a média de todas as feições erosivas ficaram no geral com um IED médio, isso se deve ao fato de ter alguns índices bastante elevados.

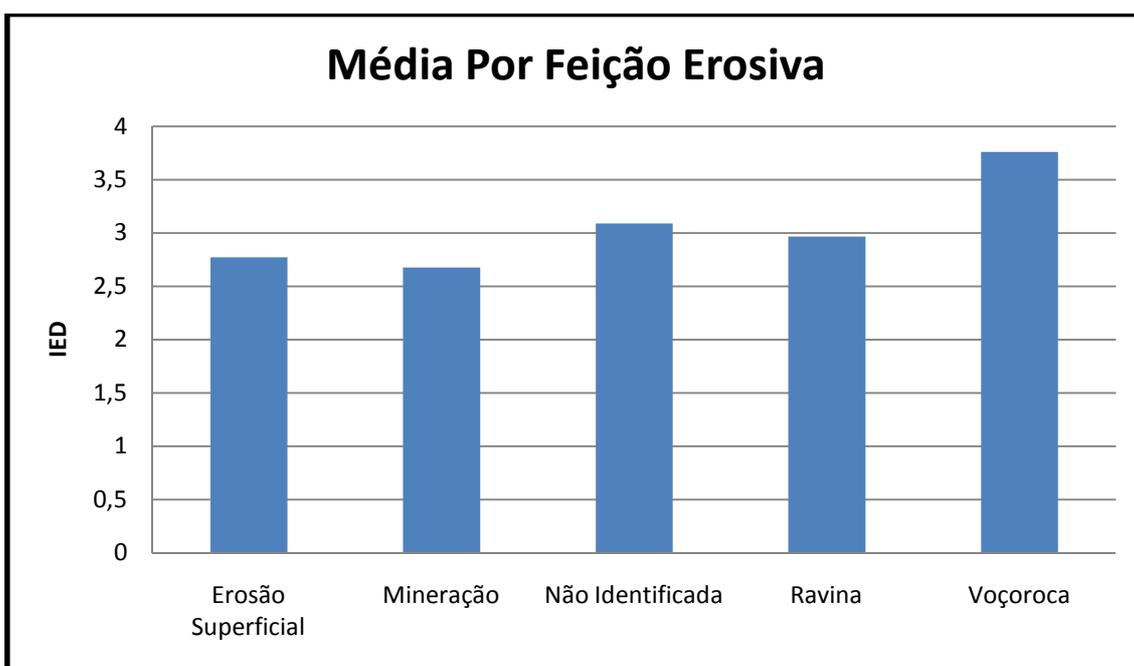


Figura 50. Média de IED por tipo de feição erosiva.

6.4. Declividade e feições erosivas

A declividade de uma vertente, é o grau de inclinação que esta tem em relação a um eixo horizontal. Ou seja, vertentes mais inclinadas possuem uma maior declividade. Quanto mais inclinada uma vertente, maiores são os riscos de processos erosivos se acentuarem.

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 (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.

Declividade (%)	Grau de potencialidade erosiva
0 - 3	Muito Fraca
3 - 8	Fraca
8 - 12	Média
12 - 20	Forte
> 20	Muito Forte

Tabela 9. Grau de potencial erosivo (Xavier, 2010).

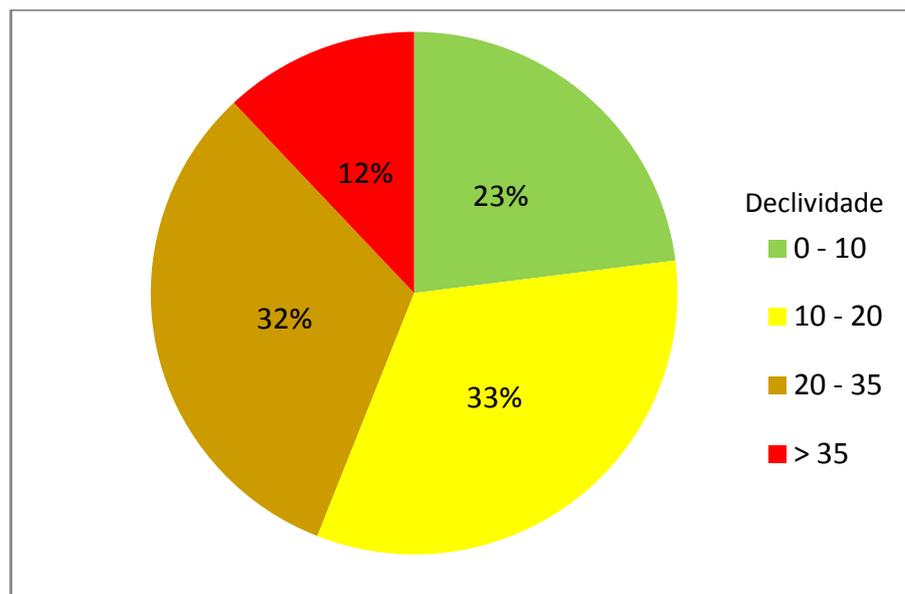


Figura 51. Relação declividade por feição erosiva.

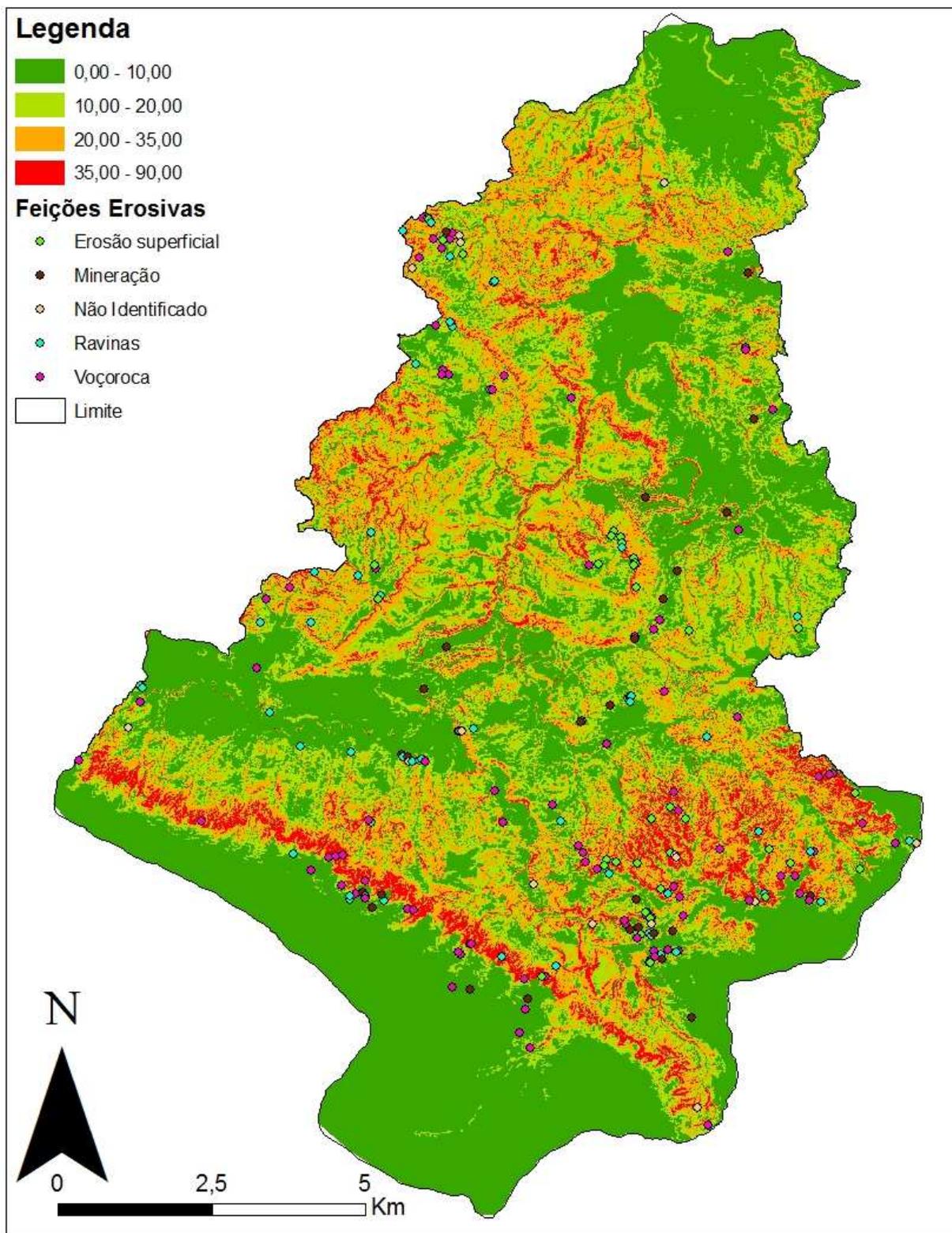


Figura 52. Imagem da declividade da bacia com feições erosivas

6.5. Curvatura e Feições Erosivas

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. (figura 52).

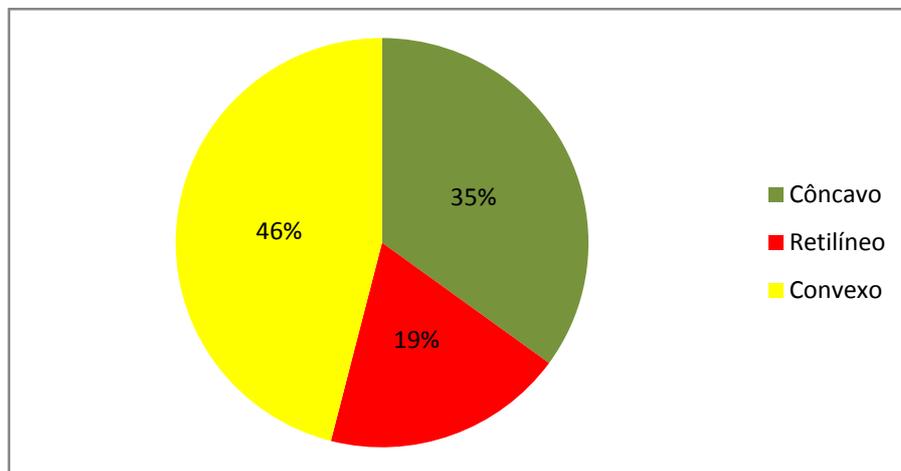


Figura 53. Porcentagem de forma côncavo, retilíneo e convexo da bacia

Na bacia estudada, 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 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, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam, pois estas possuem uma fragilidade ambiental maior.

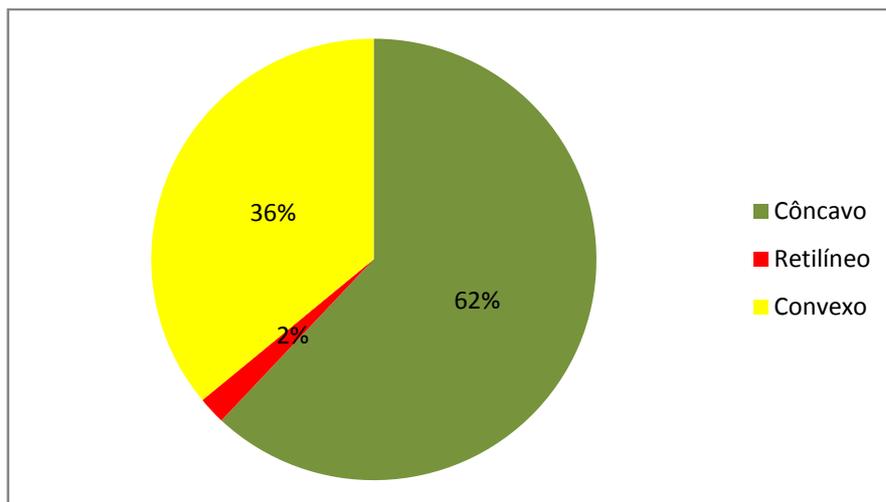


Figura 54..Relação feições erosivas por forma de encosta.

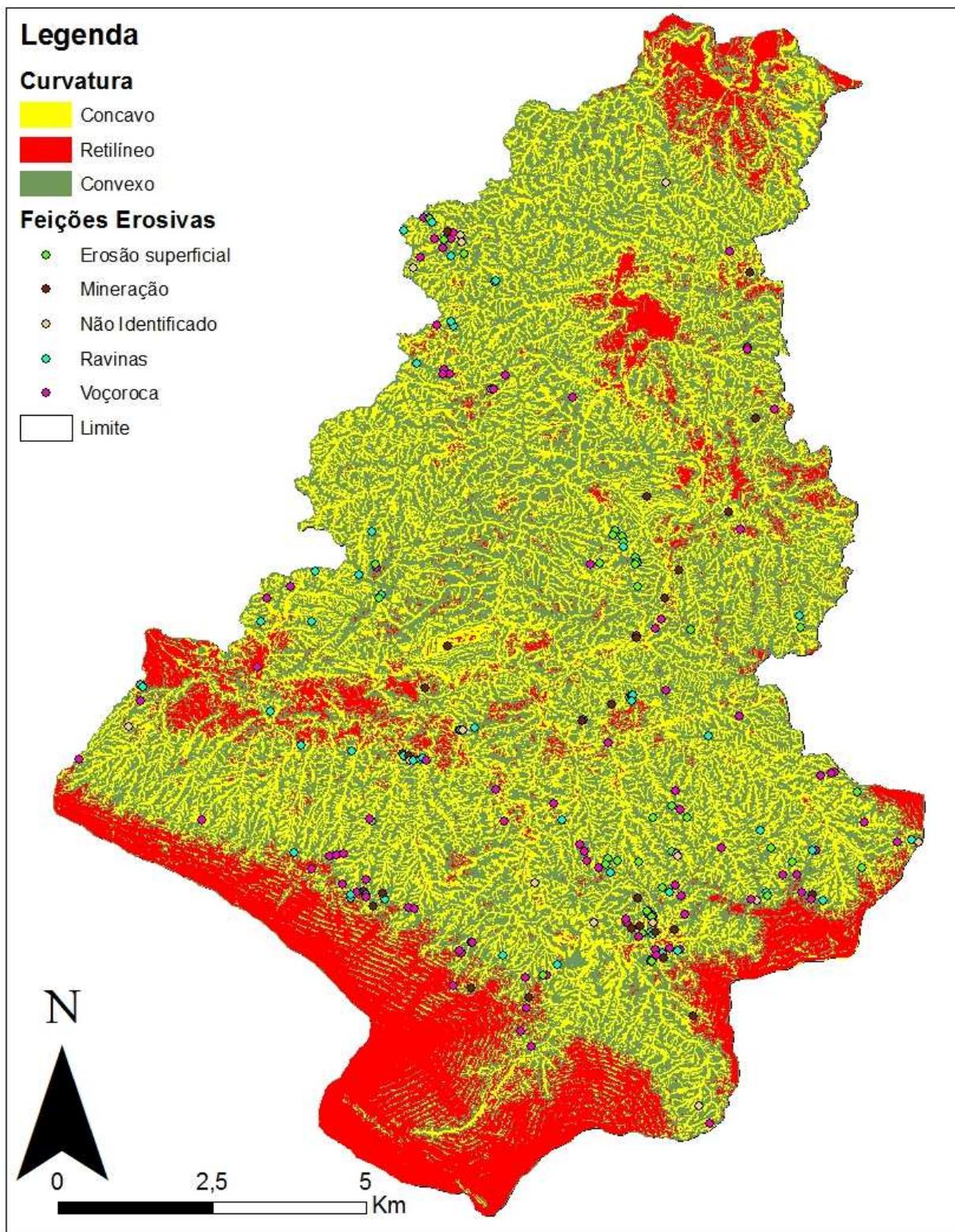


Figura 55. Imagem da curvatura da bacia com feições erosivas

6.6. Mapa de Formas e feições erosivas

Foi gerado mapa de formas segundo os critérios de Coelho Neto et al (2006). Áreas com declividade $> 10^\circ$, foram consideradas com potencial deposicional. Áreas côncavas com declividade de $10-20^\circ$ corresponde 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 $>35^\circ$ também estão associadas com alto potencial de deslizamentos de terra.

No mapa de formas, a maioria das feições (55%) ficaram em áreas de alto potencial erosivo e 45% ficaram em áreas de baixo potencial erosivo. Observou-se também que 63% mapeadas na bacia (Braga 2012) ficaram em regiões de alto potencial erosivo.

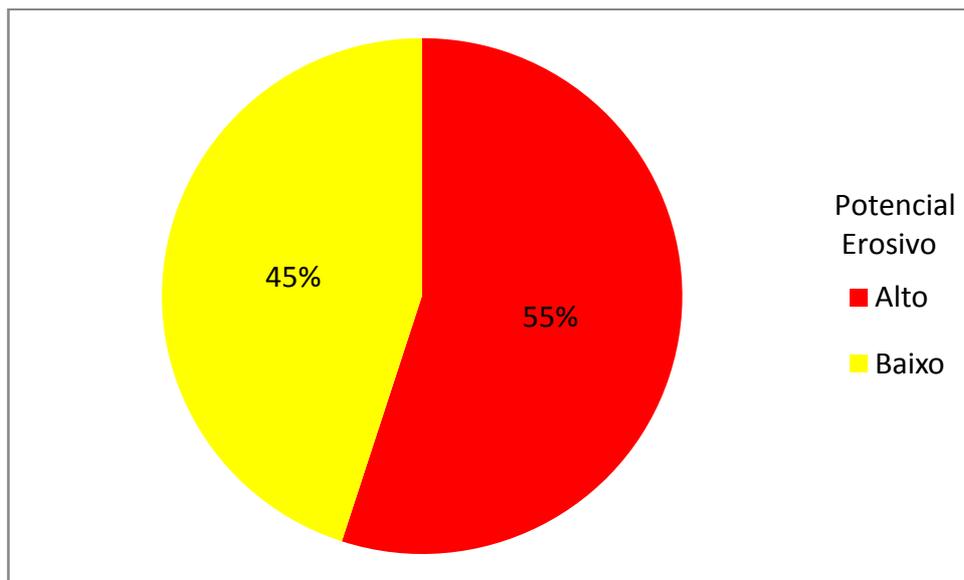


Figura 56. Potencial erosivo da bacia com relação à forma do relevo.

Na figura 59 está localizado o movimento de massa da figura 63, que se encontra em uma região de alto potencial erosivo de acordo com o mapa de formas aqui gerado.

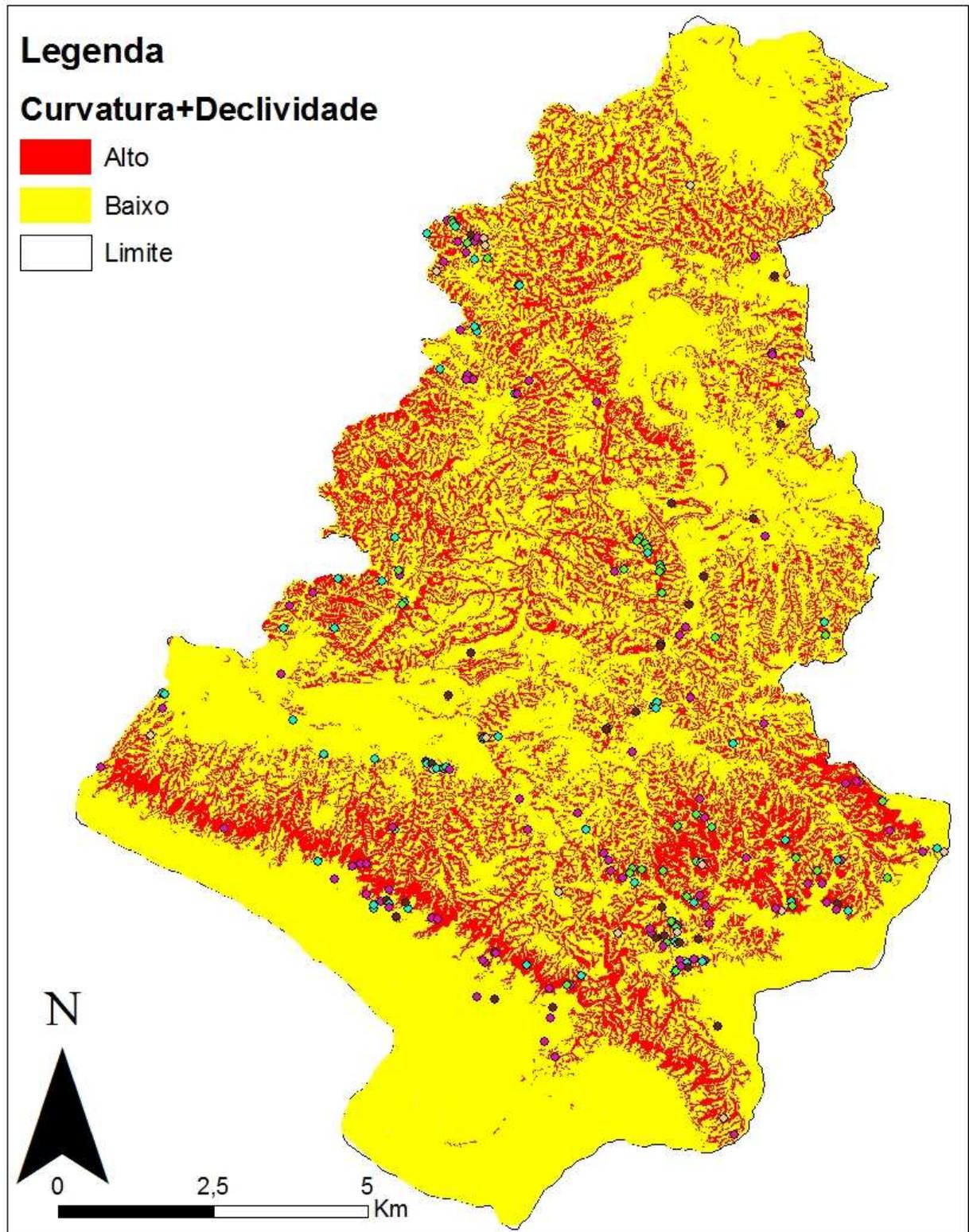


Figura 57. Imagem de formas da bacia.

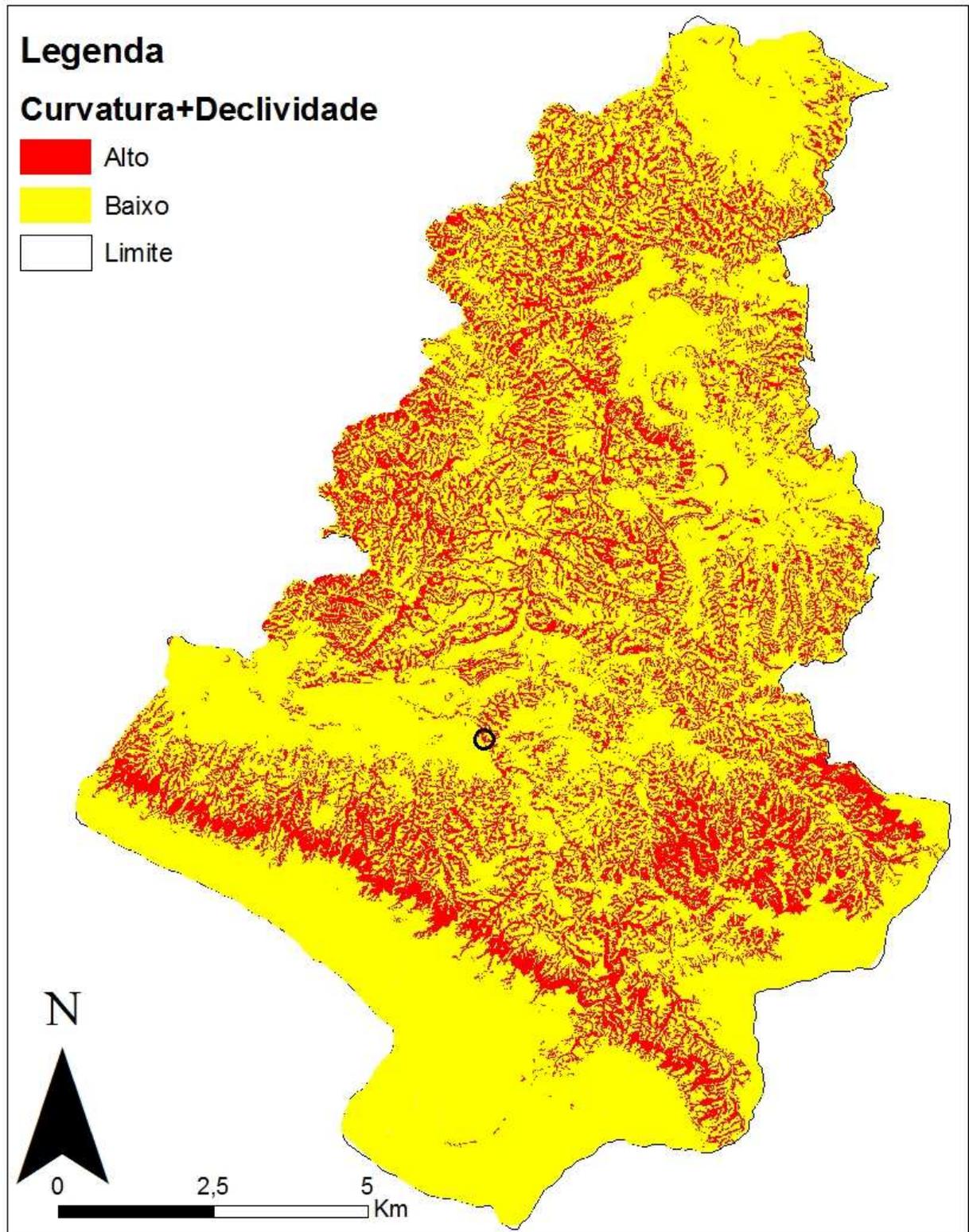


Figura 58. Imagem de localização do movimento de massa da figura 63.

6.7. Mapa Hidro-Geomorfológico da Bacia do Ribeirão Contagem

Este mapa leva em conta o caminho de fluxos de água que são controlados pela geometria das bacias e inclinação das encostas. Ele sintetiza relevantes parâmetros morfométricos que podem afetar o potencial de iniciação aos movimentos de massa. Segundo Guerra e Cunha (2008), *"movimentos 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, Curvatura e de Declividade. 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° corresponde m 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.

A partir dos parâmetros e classes dos mapas de IED, curvatura e declividade foi gerado o mapa Hidro-Geomorfológico que mostra áreas de potencial erosivos. Ele possui três tipos de classificação: Alto, Médio e Baixo.

Segundo os critérios aqui estabelecidos, o mapa resultante demonstra que há áreas susceptíveis a movimentos de massa. No mapeamento feito por Braga (2012) constam: voçorocas, ravinas, 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 (figuras 63 e 64), porém estes ainda não foram mapeados. Este movimento de massa por está perto da calha do rio, não apareceu no mapa Hidro-geomorfológico e nem no mapa IED por abranger só as bacias de segunda e terceira ordem. Porém de acordo com o mapa de formas (figura 59), o movimento de massa está localizado em uma área de

alto potencial erosivo. Futuros projetos podem ser feitos para mapear esses rastreamentos e movimentos de massas na região.

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 relacionada aos movimento de massa, por causa dos parâmetros já mencionados acima.

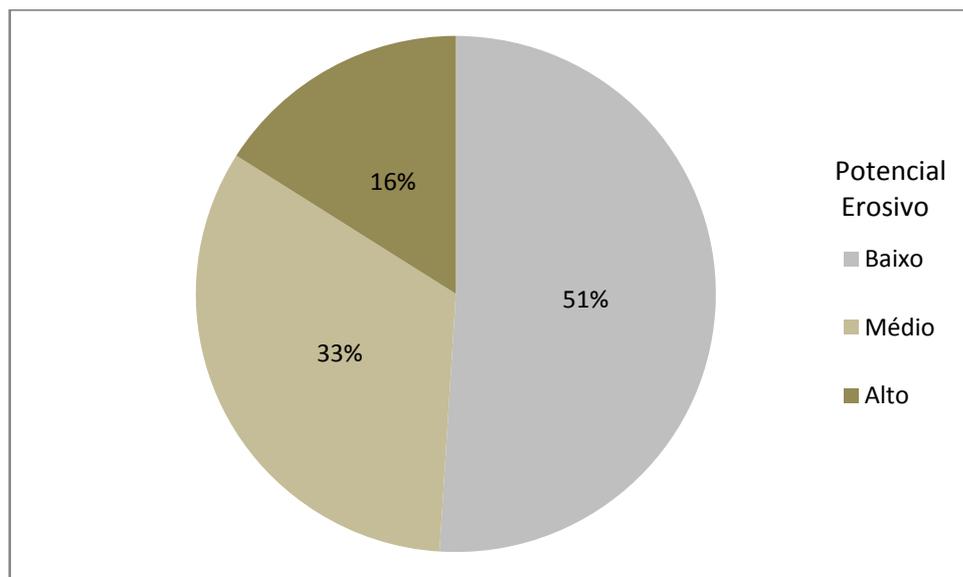


Figura 59. Relação entre feições erosivas mapeadas por Braga (2012) e potencial erosivo. As feições erosivas nas áreas de deposição foram incluídas no baixo potencial de erosão.

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 12% alto potencial erosivo.

Motivo pelo qual, provavelmente, a maioria das feições mapeadas foram erosões lineares, pois apenas 34% das áreas classificadas (figura 61) possuem susceptibilidade a movimentos de massa. Segundo considera Braga (2012) as feições erosivas lineares da região podem estar sendo geradas por ajuste de declive, a nova condição hidrológica das encostas, mesmo em áreas planas.

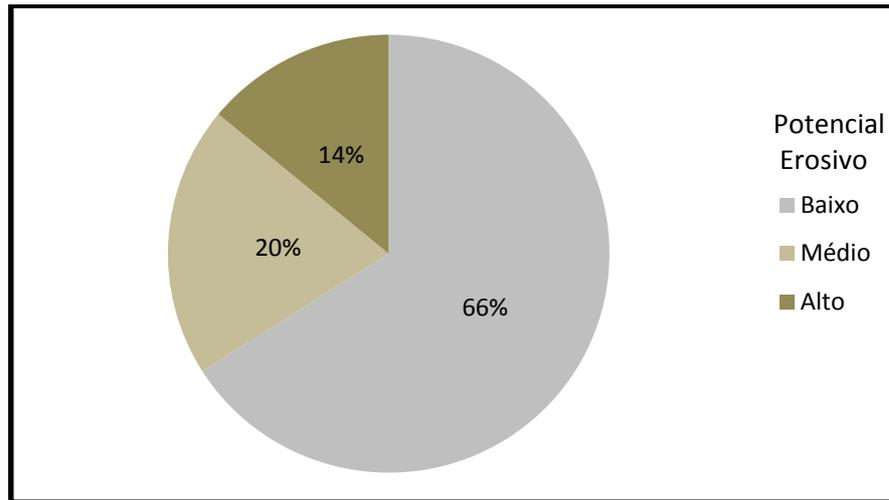


Figura 60. Porcentagem potencial erosivo geral da bacia. Não levando em conta as áreas de deposição.

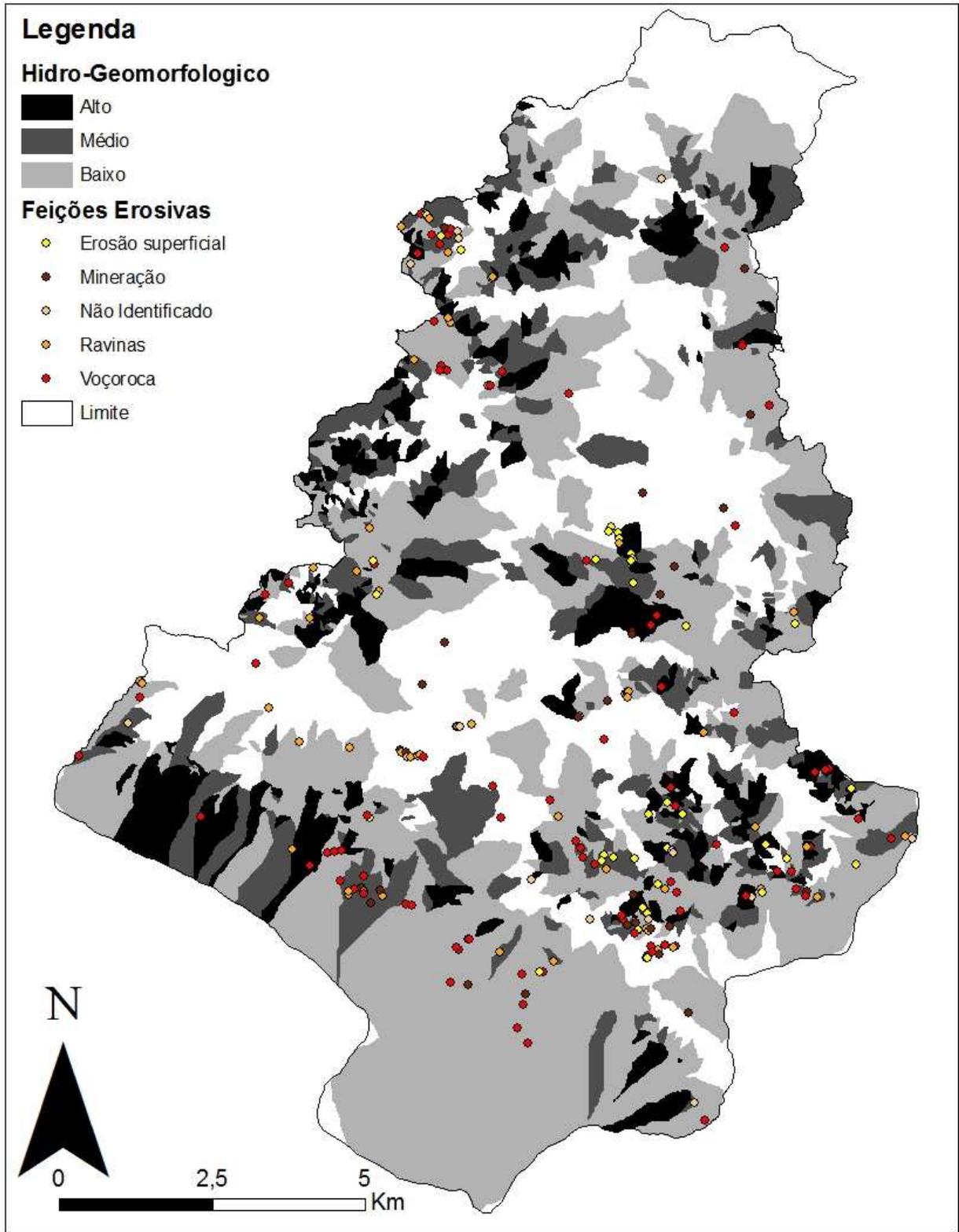


Figura 61. Hidro-Geomorfológico com as feições erosivas.



Figura 62. Movimento rotacional na bacia do ribeirão da Contagem UTM:X:190525; Y: 8273420



Figura 63. Movimento Rotacional na bacia do ribeirão da Contagem UTM:X:190525; Y: 8273420

7. CONCLUSÃO

Com a hierarquização da rede de drenagem da bacia do Ribeirão contagem, pode-se chegar a 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.

Alguns fatores geomorfológicos são diretamente ligados ao IED, pois ao identificar o nível de drenagem do ambiente, é possível visualizar possíveis voçorocamentos, erosões e cursos de bacias hidrográficas presentes no terreno. Partindo desse princípio, foram cruzados o IED com as feições erosivas feitas por Ligier Braga (2012). No trabalho realizado por Braga (2012), foi verificado um controle geológico em relação as feições erosivas e a litologia *Clorita Filitos* e, ao cruzar o IED com a litologia em questão, foi possível perceber que a maior parte litologia encontrava-se em áreas onde é IED 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 bacias de segunda e terceira ordens 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 IED gerado, ou seja, o mapa abrangeu quase 80% das erosões existentes na bacia, de acordo com as feições mapeadas por Braga (2012).

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, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam, 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, porém existem áreas com um alto grau erosivos (que são regiões de suscetibilidade a movimentos de massa), no entanto ainda não foram mapeados esse tipo de evento na bacia.

Futuros projetos podem ser feitos para mapear e estudar esses rastejamentos e movimentos de massas na região.

8. BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, W. T; SANTOS, R. L; LAGE, C. S. A modelagem digital de elevação como instrumento de análise da ocupação do sítio urbano. Revista de Sistemas de Informação nº. 01 Jan./Jun. 2008.

BLASZCZYNSKI, J.S., 1997. Landform characterization with geographic information systems, Photogrammetric Engineering 6 Remote Sensing, 63(2):183-191.

BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.

BRAGA, L. Mapeamento de Feições Erosivas e Rede de Canais no Ribeirão Contagem Distrito Federal. 2012.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996.

Cardoso, C.A.; Dias, H.C.T.; Soares, C.P.B.; Martins, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográficoado rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006

CHEREM, L. F. S. Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas, MG. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. USGS, Professional paper 500-B, 1962. (Tradução em Notícia Geomorfológica, v.22, n. 23, p. 3-22, 1971).

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia. 2º ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 188p. 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 236p. 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v.18, n.36, p.130-5, 1978.

CHRISTOFOLETTI A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Rev. Geomorfológica, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

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 Subdivision of the Terrain. In: GEOMORPHOLOGY.

CUNHA, Sandra Baptista da & GUERRA, A.J.T. - A questão ambiental: Diferentes abordagens. 4ª edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008.

FERNANDES, M. C. (2004). Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: uma aplicação em Análises Geoecológicas. Tese de Doutorado. IGEO / UFRJ.

FERNANDES, M. C. ; AVELAR, A. S. ; MENEZES, P. M. L. ; COELHO NETTO, A.L. . Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no Maciço da Tijuca - RJ. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 13, p. 29-37, 2012.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES;R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43

LINSLEY, R.K. Jr. et al. Hydrology for Engineers. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering)

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.

GUERRA, A.J.T. (2007). Processos Erosivos nas Encostas. In: Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª edição, pp. 149-209

HACK, J.T. Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions. Amer. Journ. Sci, New Haven, Conn. v. 258-A, p. 80-97, 1960.

HACK, J.T., Goodlett, J.C., 1960. Geomorphology and Forest ecology of a Mountain Region in the Central Appalachians. US Geological Survey Professional Paper 347.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc America Bulletin, v3, n.56, 1945.

MAIDMENT, D. "ArcHydro". ESRI. 2002

MORGAN, R. P. C. Soil Erosion and Conservation. Randsun Univ. of Stratchcly. Ed. D.A., 269 p., 1986.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2003.

PETTINATTI, F. Modelamento Digital de Terreno e Representação Gráfica de Superfície. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 1983.

Guimarães, R. C. (2012), "Capítulo 2 – Bacia Hidrográfica", in Shaidian, S., Guimarães, C. R. e Rodrigues, C. M. (editores), Hidrologia Agrícola. ISBN: 978-989-97060-4-0. ECT, ICAAM, Universidade de Évora.

ROCHA, César Henrique Barra. Geoprocessamento. tecnologia transdisciplinar. 2. ed. rev., atual e amp. Juiz de Fora, MG: Ed. doAutor, 2002.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy New Jersey. Geological Society of America Bulletin, New Jersey, v. 67, n. 5, p. 597-646, May, 1956.

SOUZA, E. R; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: Unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. InformeAgropecuário, Belo Horizonte, V.21, n.207, p. 15-20, Nov./dez. 2000.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion altopography. Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117- 1142, Nov. 1952.

STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union 38: 913-920

STRAHLER,A.N., Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks In. Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company, New York, Section 4-II, 1964.

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.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975.

VASCONCELOS, V ; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; MARTINS, E. S. ; COUTO JUNIOR, A. F. ; GUIMARAES, R. F. ; GOMES, R. A. T. . Sistema de Classificação Geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: Árvore de Decisão e Classificador Espectral, no Parque Nacional da Serra da Canastra.. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 13, p. 171-186, 2012.

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.

XAVIER-DA-SILVA, J., TAO, J. C., ABDO, O. E. O Sistema de Análise Geo-Ambiental SAGA. In: Revista Brasileira de Cartografia, n. 41. Rio de Janeiro: SBC, 1987.

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.semadur.rj.gov.br/pages/outros_projetos/outrosproj_pdbsepetiba_zoneamento.html>.