



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO DO FUNIL, OURO PRETO – MINAS GERAIS**

Alessandra Pessoa Protzner Oliveira

MONOGRAFIA nº 410

Ouro Preto, agosto de 2021

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO FUNIL, OURO PRETO –
MINAS GERAIS**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. MSc. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 410

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO FUNIL, OURO PRETO –
MINAS GERAIS**

Alessandra Pessoa Protzner Oliveira

Orientador

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

Coorientadora

Letícia Pereira Araujo

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2020/2.

OURO PRETO

2021

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Alessandra Pessoa Protzner Oliveira
Cláudio Eduardo Lana

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O482c Oliveira, Alessandra Pessoa Protzner.
Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego do
Funil, Ouro Preto - Minas Gerais. [manuscrito] / Alessandra Pessoa
Protzner Oliveira. - 2021.
68 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana.
Coorientadora: Ma. Letícia Pereira Araújo.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geomorfologia fluvial. 2. Geoprocessamento. 3. Geologia estrutural -
Neotectônica. 4. Morfometria. I. Araújo, Letícia Pereira. II. Lana, Cláudio
Eduardo. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 551.432

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

<http://www.sisbin.ufop.br>

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil, Ouro Preto – Minas Gerais

AUTORA: ALESSANDRA PESSOA PROTZNER OLIVEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

Aprovada em: 25 de agosto de 2021

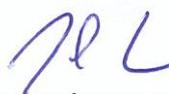
BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro



DEGEO/UFOP

Prof^a. Dr^a. Maria Eugênia Silva de Souza



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 25/08/2021

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela minha vida, pela companhia constante e pelas bênçãos a mim concedidas.

Aos meus pais, Jair e Flávia e à minha avó Beth por toda a minha formação e suporte.

À minha irmã e grande exemplo, Carol, que se foi tão cedo, mas permanece sempre presente em meu coração.

Ao meu amor Samir por todos os conselhos, companhia e grande incentivo.

Aos queridos Letícia Araujo e Rafael Canabrava, pelas ideias, companheirismo e apoio.

Ao professor Cláudio Lana, pela orientação, confiança e comprometimento.

Aos professores Maria Eugênia e Paulo de Tarso, pela participação na banca de TCC, pelas sugestões e pelo incentivo.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram e ainda fazem parte da minha caminhada até aqui. “Estradas sempre em frente vão...”

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	viii
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 JUSTIFICATIVA	2
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	2
1.4.1 Revisão Bibliográfica e Compilação de Dados Cartográficos	3
1.4.2 Elaboração dos Mapas	3
1.4.3 Cálculos dos Índices Morfométricos e dos Indicadores de Neotectônica.....	5
1.4.4 Análise dos Lineamentos de Drenagem e Morfoestruturais	5
1.5 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	6
1.6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	8
1.6.1 Clima.....	8
1.6.2 Vegetação.....	9
1.6.3 Hidrografia	9
1.6.4 Solos.....	12
1.6.5 Geomorfologia	12
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	15
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	15
2.1.1 Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero	16
2.1.2 Aspectos Estruturais e Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero.....	17
2.1.3 Coberturas Sedimentares do Quadrilátero Ferrífero	19
2.2 GEOLOGIA LOCAL	20
2.2.1 Supergrupo Rio das Velhas.....	20
2.2.2 Grupo Caraça	20
2.2.3 Grupo Itabira	21
2.2.4 Grupo Piracicaba.....	21
2.2.5 Grupo Sabará.....	21
2.2.6 Grupo Itacolomi	22

2.2.7	Cobertura cenozoica	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	25
3.1.1	Hierarquia Fluvial.....	28
3.1.2	Padrões de Drenagem	29
3.1.3	Análise Linear da Rede Hidrográfica	31
3.1.4	Análise Areal da Bacia Hidrográfica.....	32
3.1.5	Análise Hipsométrica	34
3.2	NEOTECTÔNICA.....	35
3.2.1	Índices Geomorfométricos Indicadores de Neotectônica.....	36
3.3	ANÁLISE DOS LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIIS	39
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	41
4.1.1	Hierarquia Fluvial.....	41
4.1.2	Padrões de Drenagem	42
4.1.3	Análise Linear da Rede Hidrográfica	45
4.1.4	Análise Areal da Rede Hidrográfica.....	46
4.1.5	Análise Hipsométrica	47
4.2	NEOTECTÔNICA.....	51
4.3	ANÁLISE DOS LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIIS	59
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fluxograma para delimitação da bacia hidrográfica pelo <i>software</i> ArcGis® 10.6.1.....	4
Figura 1.2 – Exemplo de tabela de dados para obtenção da Curva Hipsométrica.....	5
Figura 1.3 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil.....	7
Figura 1.4 – Vias de acesso da capital Belo Horizonte (A) ao município de Ouro Preto (B).....	8
Figura 1.5 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Doce.	10
Figura 1.6 - Rede Hidrográfica de Ouro Preto.	11
Figura 2.1 - Modelo de Elevação Digital e Mapa Geológico Simplificado do Quadrilátero Ferrífero.....	15
Figura 2.2 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.	17
Figura 2.3 - Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil.....	23
Figura 3.1 – Representações gráficas das Leis de Horton. (a) Lei do número de canais, (b) Lei do comprimento de canais e (c) Lei da declividade de canais.....	27
Figura 3.2 - Hierarquia Fluvial segundo (a) Horton (1945) e (b) Strahler (1952)	29
Figura 3.3 - Padrões de drenagem.	30
Figura 3.4 - Parâmetros para o cálculo do RDE	36
Figura 3.5 - Bloco esquemático do Fator de assimetria da bacia.	37
Figura 3.6 - Bloco esquemático do Fator de simetria topográfica transversal.	38
Figura 3.7 - Razão fundo/altura de vale	39
Figura 4.1 - Mapa de Hierarquia Fluvial.	42
Figura 4.2 – Padrões de drenagem e geologia local.	44
Figura 4.3 – Mapa de Declividade.....	48
Figura 4.4 – Mapa Hipsométrico.....	50

Figura 4.5 – Curva Hipsométrica.	51
Figura 4.6 - Índice Relação Declividade-Extensão (<i>RDE</i>).	52
Figura 4.7 – Densidade de <i>knickpoints</i>	53
Figura 4.8 – Anomalias de 1ª Ordem (<i>RDE_{REAL}</i>).	55
Figura 4.9 – FSTT da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil e sentidos do distanciamento.	57
Figura 4.10 – Seções para o cálculo de <i>RFAV</i>	58
Figura 4.11 – Lineamentos de Drenagem	59
Figura 4.12 – Rosetas dos lineamentos de drenagem de 1ª e 2ª Ordem (a), dos lineamentos de drenagem de 1ª Ordem (b) e dos lineamentos de drenagem de 2ª Ordem (c). 60	
Figura 4.13 – Lineamentos Morfoestruturais.	61
Figura 4.14 – Roseta dos lineamentos morfoestruturais.	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Atributos da bacia hidrográfica e parâmetros morfométricos utilizados neste trabalho.....	28
Tabela 3.2 - Classes do relevo.	35
Tabela 3.3 - Índices geomorfométricos indicadores de neotectônica.	36
Tabela 4.1 – Hierarquia fluvial.....	41
Tabela 4.2 – Relação de Bifurcação (R_B).....	45
Tabela 4.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (R_{LM})...	45
Tabela 4.4 - Relação entre os índices de bifurcação e do comprimento médio dos canais (R_{LB}).....	46
Tabela 4.5 – Declividade e Classes de Relevo.	47
Tabela 4.6 – Intervalo Altimétrico.....	49
Tabela 4.7 – Valores encontrados de $FSTT$	56
Tabela 4.8 – Resultados da $RFAV$	59

LISTA DE SIGLAS

BHRC – Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo

C_M – Coeficiente de Manutenção

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

D_d – Densidade de Drenagem

D_h – Densidade Hidrográfica

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

E_{PS} - Extensão do Percurso Superficial

FAB - Fator de Assimetria da Bacia

F_f – Fator de Forma

FSTT - Fator de Simetria Topográfica Transversal

H_m – Amplitude Altimétrica

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

I_C – Índice de Circularidade

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INQUA - International Union for Quaternary Research

I_R – Índice de Rugosidade

I_S – Índice de Sinuosidade

MDE – Modelo Digital de Elevação

QF – Quadrilátero Ferrífero

R_B – Relação de Bifurcação

RDE - Relação Declividade-Extensão

RFAV - Razão Fundo/Altura do Vale

R_{LB} - Relação entre o Índice do Comprimento Médio dos Canais e o Índice de Bifurcação

RLM - Relação entre o Comprimento Médio dos Canais de cada Ordem

R_R – Relação de Relevô

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UTM - Universal Transversa de Mercator

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil localiza-se no Município de Ouro Preto – Minas Gerais, na região leste do Quadrilátero Ferrífero (QF), sobre rochas altamente deformadas e de diferentes resistências e topografia acidentada, o que confere aos seus córregos um caráter confinado. Neste trabalho são apresentadas análises morfométricas e neotectônicas para caracterizar a dinâmica fluvial da bacia e prever possíveis impactos na comunidade local, uma vez que os rios são importantes agentes nos processos morfogenéticos e podem indicar fenômenos ligados à tectônica ressurgente. A partir da delimitação da bacia e dos mapas de Drenagem, Hipsometria, Declividade e Geológico, foram analisados os seguintes atributos e parâmetros morfométricos e neotectônicos: Hierarquia Fluvial, Padrão de Drenagem, Relação de Bifurcação (R_B), Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RL_m), Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{LB}), Índice de sinuosidade (I_S), Área da bacia (A), Comprimento da bacia (L), Índice de circularidade (I_c), Fator de Forma (F_f), Densidade hidrográfica (D_h), Densidade de drenagem (D_d), Coeficiente de manutenção (C_M), Extensão do percurso superficial (E_{PS}), Amplitude altimétrica da bacia (H_m), Relação de relevo (R_R), Índice de rugosidade (I_R), Índice relação declividade-extensão (RDE) ou Índice de Hack, Fator de assimetria da bacia (FAB), Fator de simetria topográfica transversal ($FSTT$), Índice Razão Fundo/Altura do Vale ($RFAV$). Os resultados obtidos indicam altas taxas de erosão e propensão a inundações no baixo curso do canal principal, além de possíveis soerguimentos e indícios de atividades tectônicas ativas ou recentes presentes na bacia.

Palavras chave: Geomorfologia fluvial, Geoprocessamento, Geologia estrutural - Neotectônica, Morfometria, Córrego do Funil.

1.1 APRESENTAÇÃO

Os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos (Christofolletti 1980). Diante disso, é necessário compreender a dinâmica fluvial e seu comportamento morfossedimentar para interpretar a evolução da paisagem, fenômenos de erosão e inundação e possíveis impactos na área em que uma dada bacia se insere. Uma das formas de se estudar a dinâmica fluvial e a rede hidrográfica é por meio da análise morfométrica e da neotectônica eventualmente atuante na região.

A análise morfométrica é uma importante metodologia para caracterizar a dinâmica de um sistema fluvial. A aplicação de parâmetros morfométricos e índices geomorfológicos é uma das principais formas de se avaliar quantitativamente o comportamento das bacias hidrográficas diante dos diferentes condicionantes geomorfológicos que atuam sobre elas (Barros *et al.* 2010).

Os estudos voltados aos processos neotectônicos no Brasil têm sido cada vez mais explorados pela geomorfologia, como forma de entender a gênese e evolução de formas de relevo que antes eram interpretadas apenas como formas relictuais de oscilações climáticas pretéritas em relação à resistência de suas rochas (Firmino 2015). Na abordagem geomorfológica, a neotectônica tem se mostrado um poderoso mecanismo de análise morfogenética e morfoevolutiva (Maia & Bezerra 2011).

Com base no exposto e no intuito de compreender a evolução fluvial a partir de dados morfométricos e neotectônicos, o presente estudo foi desenvolvido na bacia do Córrego do Funil, localizada na cidade de Ouro Preto que, por sua vez, situa-se na região leste do Quadrilátero Ferrífero (QF).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo primordial deste trabalho é analisar a propensão da bacia do Córrego do Funil à inundação, acumulação de sedimentos, erosão de bancos e reajustes neotectônicos.

Para tal, como objetivos específicos, têm-se:

- Delimitar a bacia por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE);

- Confeccionar mapas e modelos tridimensionais derivados (Drenagem, Hipsometria, Declividade e Geológico) para a localidade;
- Analisar os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica e de seus canais por meio de operações matemáticas;
- Estudar a tectônica recente a partir dos cálculos de índices geomorfométricos específicos (Índice de Hack, Fator de Assimetria da Bacia, Fator de Simetria Topográfica Transversal e Razão Fundo/Altura do Vale) e da análise de lineamentos morfoestruturais, em especial os de drenagem.

1.3 JUSTIFICATIVA

A topografia acidentada da cidade de Ouro Preto confere aos seus córregos um caráter confinado, o que faz com que a população dos bairros localizados nas bordas dos vales conviva com fenômenos de inundação e erosão dos bancos fluviais e margens.

Apesar de serem fenômenos de simples identificação, a cidade carece de estudos geomorfológicos capazes de predizê-los tecnicamente, a partir da integração de dados cartográficos e índices morfométricos. Com uma investigação nos moldes aqui propostos, será possível verificar a eficácia da análise morfométrica na previsão da propensão da bacia a inundações, erosão e, eventualmente, áreas em que esses fenômenos sejam potencializados por questões litoestruturais convencionais ou fenômenos ligados à tectônica ressurgente (neotectônica).

Considerando que a dinâmica fluvial pode ser influenciada por fatores antrópicos e naturais, compreender o comportamento morfossedimentar do Córrego do Funil é de fundamental importância para deduzir as relações de causa e efeito entre a degradação ambiental, o uso e ocupação do solo e os potenciais impactos sobre a comunidade local.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desse trabalho foi dividida nas seguintes etapas: 1) Revisão bibliográfica e compilação de dados cartográficos; 2) Elaboração dos mapas e modelos tridimensionais derivados (Drenagem, Hipsometria, Declividade e Geológico); 3) Determinação e cálculo de índices morfométricos e 4) Apresentação e análise dos resultados.

1.4.1 Revisão Bibliográfica e Compilação de Dados Cartográficos

A revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de se conhecerem os parâmetros de caracterização morfométrica e indicadores neotectônicos já existentes na literatura, os quais são empregados na caracterização de uma bacia hidrográfica. Foram consultados livros, teses, artigos e outros trabalhos acadêmicos.

Os dados cartográficos e ferramentas (programas) utilizados foram os seguintes:

- Modelo Digital de Elevação do satélite Alos Palsar, com resolução espacial de 12,5 metros, disponibilizado pelo *site* do *Alaska Satellite Facility*;
- Mapas Geológicos na escala 1:50.000 das folhas Ouro Preto (SF-23-X-A-III-4) e Mariana (SF-X-B-I-3), ambos de 2005, disponibilizados pela CODEMIG;
- Rede de Drenagem de Minas Gerais, nas escalas 1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000. Base elaborada a partir do "Projeto de Ottocodificação da Drenagem de Minas Gerais - IGAM/UFMG", de 2012;
- Limites Municipais disponibilizados pelo IBGE;
- *Software* de elaboração dos mapas: ArcGis® 10.6.1;
- *Software* de elaboração dos mapas: AutoCAD® 2018;
- *Software* de geoprocessamento e SIG: Global Mapper 20;
- *Software* para análises de sensoriamento remoto: Google Earth Pro.

1.4.2 Elaboração dos Mapas

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil foi delimitada de forma automática pelo *software* ArcGis® 10.6.1 e validada por meio da comparação com trabalhos já realizados anteriormente. Na Figura 1.1, é apresentado um fluxograma do procedimento adotado para a delimitação da bacia, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE Alos Palsar).

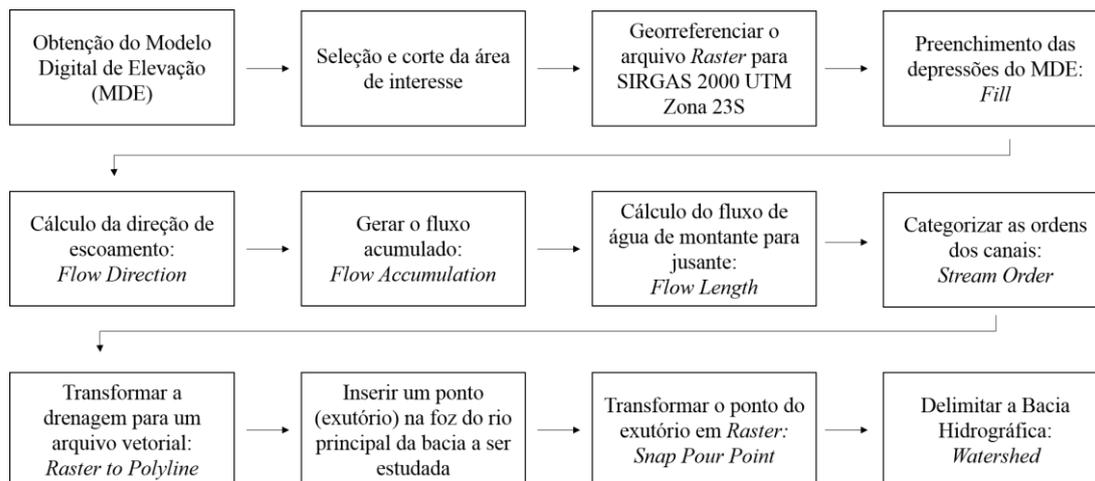


Figura 1.1 - Fluxograma para delimitação da bacia hidrográfica pelo *software* ArcGis® 10.6.1.

Após a delimitação da bacia, juntamente com a base de dados cartográficos, foi possível elaborar as figuras de Localização, Vias de Acesso, Hidrografia de Minas Gerais e Rede Hidrográfica de Ouro Preto, visando à contextualização da área.

Feitas a caracterização fisiográfica e a contextualização da área, foram elaborados os mapas de Hipsometria, Declividade, Hierarquia Fluvial e Geologia Local.

O Mapa Hipsométrico foi gerado a partir do MDE e das curvas de nível pelas extensões *Spatial Analyst Tools > Surface > Contour* e depois *3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN*.

O Mapa de Declividade também foi gerado a partir do MDE pela extensão *Spatial Analyst Tools > Surface > Slope* com os intervalos de saída em porcentagem.

Para a geração do Mapa de Hierarquia Fluvial, utilizou-se a rede hidrográfica elaborada pelo IGAM, em 2012. A rede disponibilizada contém informações, na *Attribute Table*, de comprimento e ordem dos canais, assim como os nomes das principais drenagens. As ordens dos canais foram comparadas com as obtidas na fase de delimitação da bacia e confirmou-se a veracidade das informações. A ordem de cada canal foi diferenciada por categorias em *Properties > Symbology > Categories*.

Já o Mapa Geológico foi elaborado a partir da junção das folhas Ouro Preto e Mariana, escala 1:50.000, disponibilizadas pela CODEMIG.

A Curva Hipsométrica foi elaborada no *software Excel 2013* a partir dos dados obtidos no Mapa Hipsométrico. Utilizaram-se os valores das cotas a jusante e da porcentagem da área acumulada de cada intervalo, como exemplificado na Figura 1.2.

	1	2	3	4	5	6
Cota a Montante	Cota a Jusante	Ponto Médio	Área (km ²)	Área Acumulada (km ²)	% da área acumulada	Ponto Médio * Área
1640	1575	1607,5	0,64777089	0,64777089	1,178152438	1041,291705
1574	1509	1541,5	0,632756859	1,280527749	2,328997664	975,3946984
1508	1443	1475,5	1,728909678	3,009437427	5,473503205	2551,00623
1442	1377	1409,5	4,89126749	7,900704917	14,36964042	6894,241528
1376	1311	1343,5	8,985340395	16,88604531	30,71199364	12071,80482
1310	1245	1277,5	10,94327231	27,82931762	50,61539337	13980,03038
1244	1179	1211,5	11,14716989	38,97648751	70,88963784	13504,79632
1178	1113	1145,5	9,846790806	48,82327832	88,79877944	11279,49887
1112	1047	1079,5	5,514010126	54,33728844	98,82754822	5952,373931
1046	980	1013	0,644636559	54,981925	100	653,0168347
			54,981925			68903,45531
Altitude ou Cota média =		1253,201944				
Altura média =		273,2019443				
0,5 * Área da Bacia =		27,4909625				
Mediana =		1247,040655				

Figura 1.2 – Exemplo de tabela de dados para obtenção da Curva Hipsométrica.

1.4.3 Cálculos dos Índices Morfométricos e dos Indicadores de Neotectônica

Os atributos da bacia, os índices morfométricos e os indicadores de neotectônica foram definidos e extraídos dos mapas gerados anteriormente.

O Índice Relação Declividade-Extensão (*RDE*), um dos indicadores de neotectônica, foi definido por meio da ferramenta *Knickpoint Finder* para o ArcGis®, desenvolvida por Salamuni *et al.* (2013), baseada nos conceitos de Etchebehere *et al.* (2004).

Para a aplicação da Razão Fundo/Altura do Vale (*RFAV*), foram feitas quatro seções perpendiculares ao canal de maior expressão da bacia e em locais previamente determinados (Barbosa *et al.* 2013). As seções foram traçadas próximas às anomalias de primeira ordem encontradas no cálculo do *RDE_{REAL}*.

O Fator de Simetria Topográfica Transversal (*FSTT*) foi obtido por meio da geração de nove perfis distribuídos de forma equidistante ao longo da bacia e perpendiculares ao eixo central da bacia, como proposto por Firmino (2015).

Todos os cálculos foram feitos no *Excel* 2013.

1.4.4 Análise dos Lineamentos de Drenagem e Morfoestruturais

A análise dos lineamentos foi feita por meio do sombreamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado no software ArcGis® pelas extensões *Spatial Analyst Tools > Surface > Hillshade*. Os azimutes dos lineamentos traçados foram obtidos pela ferramenta *AzimuthFinder* elaborada pela

equipe de Neotectônica da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os azimutes foram interpretados em diagramas de rosetas gerados no aplicativo *Stereonet* da Seequent.

1.5 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil, localizada no distrito sede do município de Ouro Preto que, por sua vez, situa-se na região centro-sul do estado de Minas Gerais, sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF). O Córrego do Funil está localizado nas cabeceiras da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) e, a partir da sua nascente, drena a cidade de Ouro Preto, em grande parte pela área urbana.

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil possui 54,99 km² e é limitada a norte pela Serra de Ouro Preto e a sul pela Serra do Itacolomi (Figura 1.3).

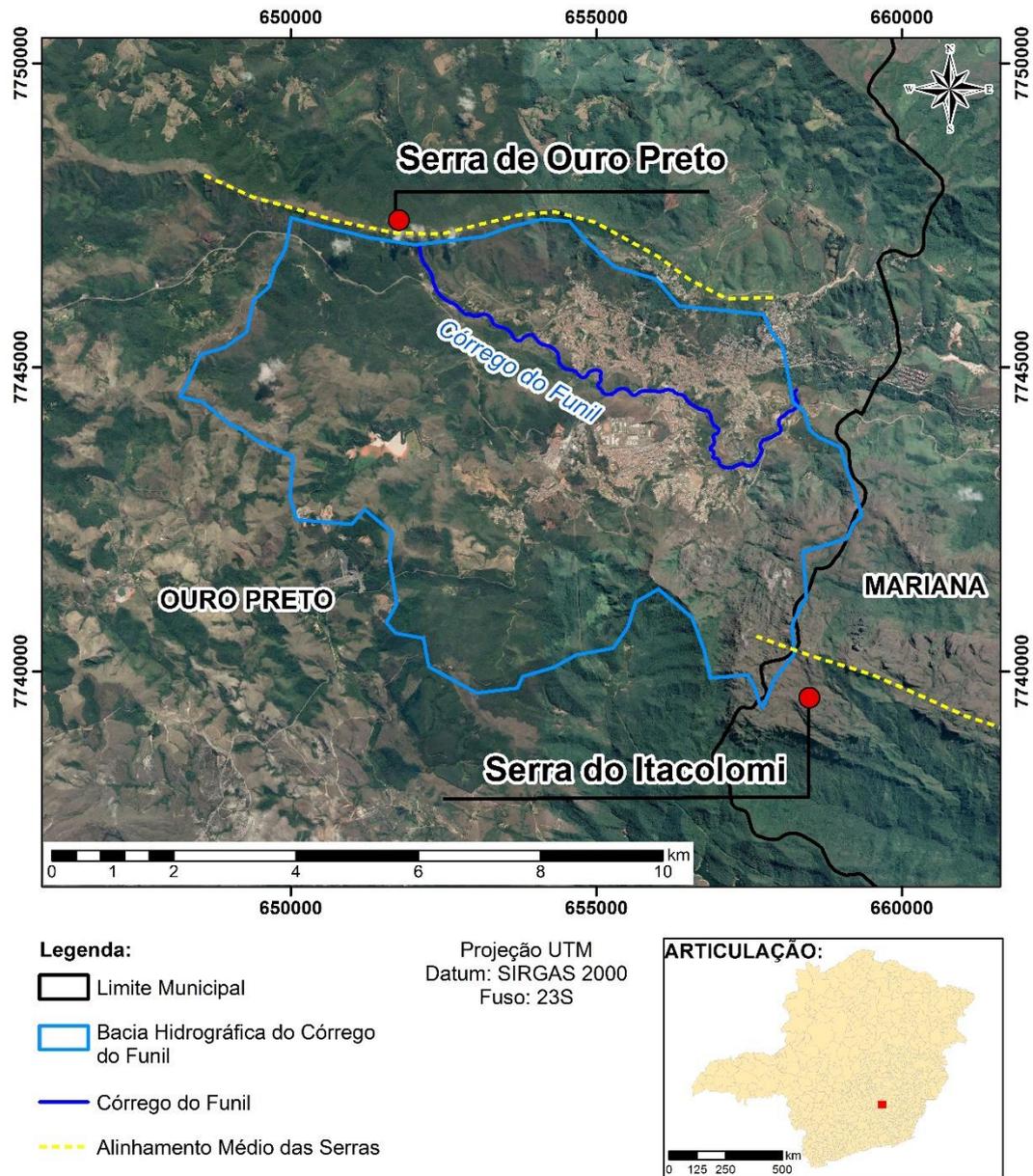


Figura 1.3 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil, elaborada a partir de um recorte do Google Earth (acesso em 11/09/2020).

A região pode ser acessada, a partir de Belo Horizonte, pela rodovia BR-040, sentido sul. Depois de cerca de 22 km, segue-se a BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes) na direção sudeste, por aproximadamente 70 km até chegar ao município de Ouro Preto (Figura 1.4).

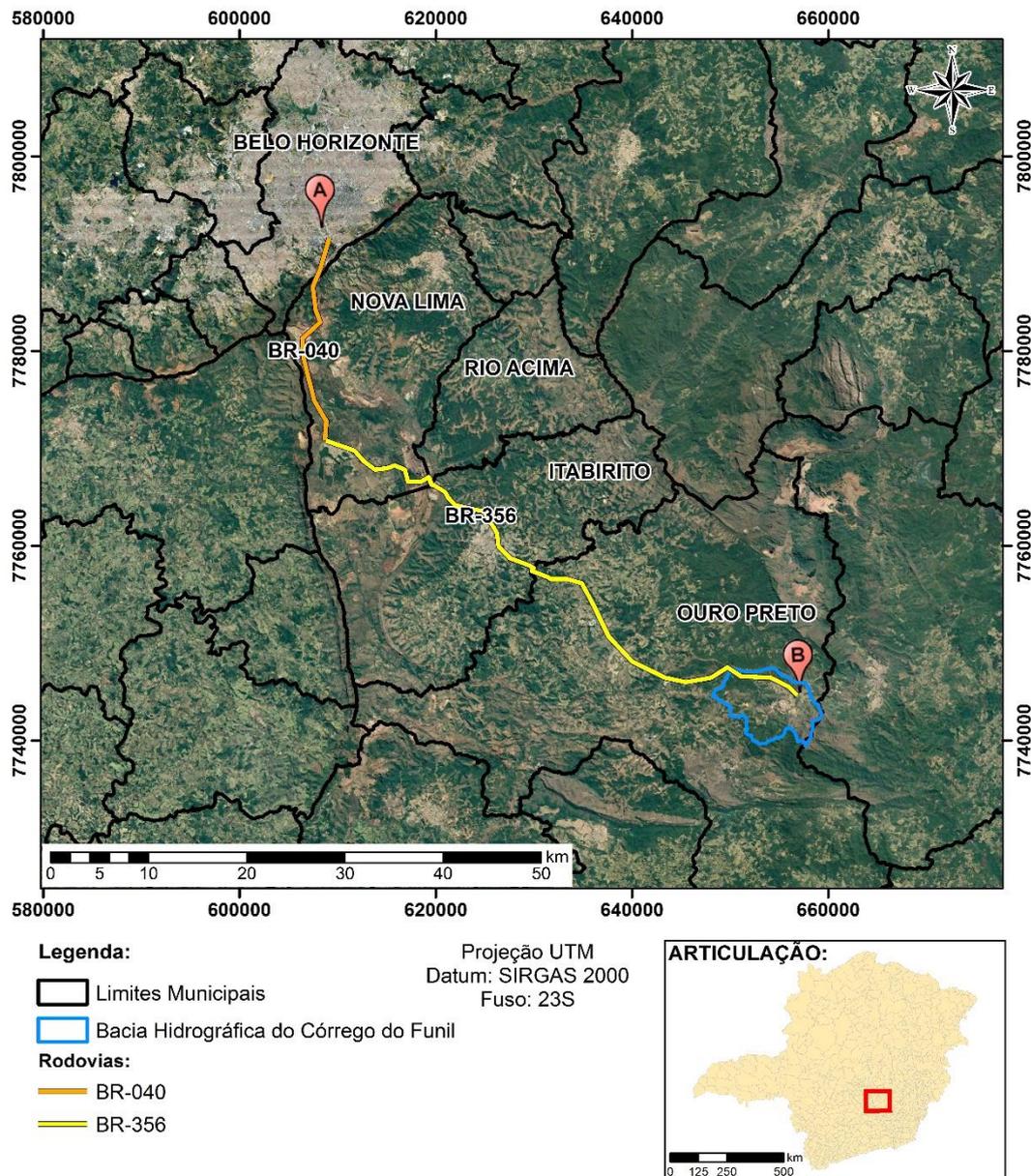


Figura 1.4 – Vias de acesso da capital Belo Horizonte (A) ao município de Ouro Preto (B) traçadas sobre recorte do Google Earth (acesso em 29/04/2021).

1.6 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

1.6.1 Clima

O clima de Ouro Preto é caracterizado, segundo a classificação climática de Köppen (1936), como tipo *Cwb* (clima úmido, mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso). Já segundo a classificação de Thornthwaite (1948), que leva em consideração a distribuição temporal das chuvas, o clima de Ouro Preto é caracterizado como tipo *ArB'2A'* (super úmido, com reduzido ou nenhum déficit de água, mesotérmico e com pouca variação de calor ao longo do ano).

A média anual da temperatura em Ouro Preto é de 18,5°C, sendo o mês de janeiro o mais quente e o mês de julho o mais frio. As temperaturas mais elevadas coincidem com o período chuvoso enquanto as temperaturas mais baixas ocorrem no período seco (Castro 2006).

A pluviometria da região de Ouro Preto apresenta características que a incluem no regime tropical com uma média de 1.723,6 mm (IGA 1995).

1.6.2 Vegetação

Segundo Romano & Rezende (2017) toda a região do Quadrilátero Ferrífero está situada no domínio do grande bioma Mata Atlântica e a cidade de Ouro Preto se encontra no domínio denominado Zona de Amortecimento, área esta compreendida entre as serras delimitantes do Quadrilátero Ferrífero, na qual subsistem núcleos com vegetação preservada.

IGA (1995) caracterizou na área de estudo os seguintes remanescentes da vegetação: “Floresta Estacional Semidecidual Submontana, que incluem as áreas com a mata de Candeias, Savana Gramíneo Lenhosa (Campo Cerrado) e o Refúgio Ecológico Altimontano (Campo Rupestre) ambas podendo ser consideradas como formações abertas.”

Em posição mais elevada, a vegetação é de campos naturais, composta essencialmente de gramíneas, com subarbustos disseminados (Oliveira 2010). Há também as áreas denominadas antrópicas, que consistem nas áreas em que a vegetação original foi retirada devido à degradação ambiental, à mineração, aos loteamentos e invasões populacionais e substituída por pastagens artificiais e reflorestamento com vegetação secundária (IGA 1995).

1.6.3 Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, como observado na Figura 1.5.

Segundo Oliveira (2010), a morfologia local, condicionada por fatores estruturais, exhibe, ao norte da cidade, a Serra de Ouro Preto, e a sul, a Serra do Itacolomi, onde se destaca o pico homônimo, formado principalmente por quartzitos. A Serra de Ouro Preto é o divisor de águas de duas grandes bacias hidrográficas brasileiras: a do Rio São Francisco e a do Rio Doce. A Bacia do Ribeirão do Carmo, um dos afluentes do Rio Doce, é a principal bacia hidrográfica onde se insere a cidade de Ouro Preto.

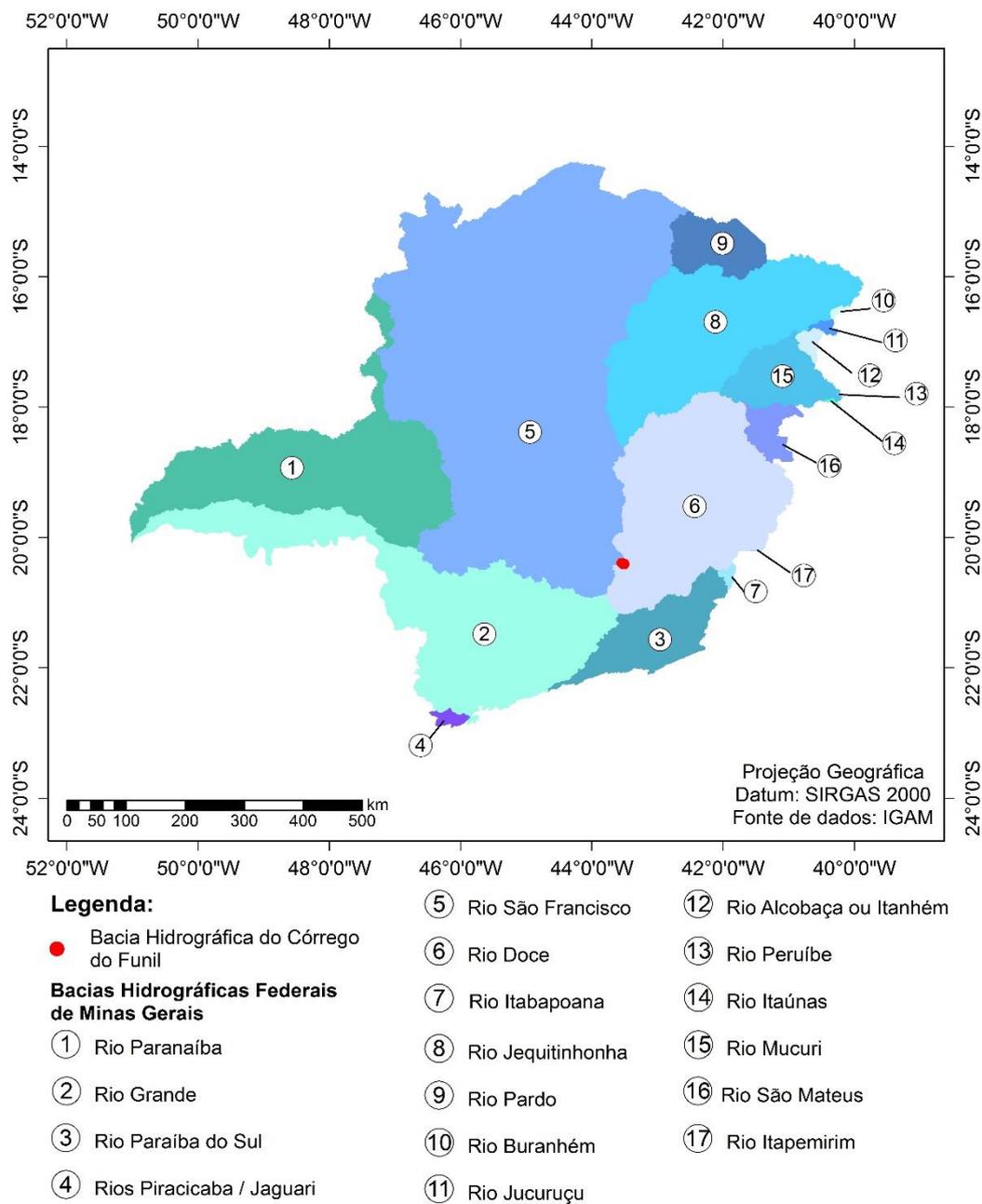


Figura 1.5 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Ainda segundo Oliveira (2010), dentro da cidade de Ouro Preto, o Ribeirão do Carmo recebe o nome de Ribeirão do Funil, ou Córrego do Funil, e seu padrão de drenagem é predominantemente dendrítico (sem uma orientação evidente dos canais sobre o terreno), como se observa na Figura 1.6:

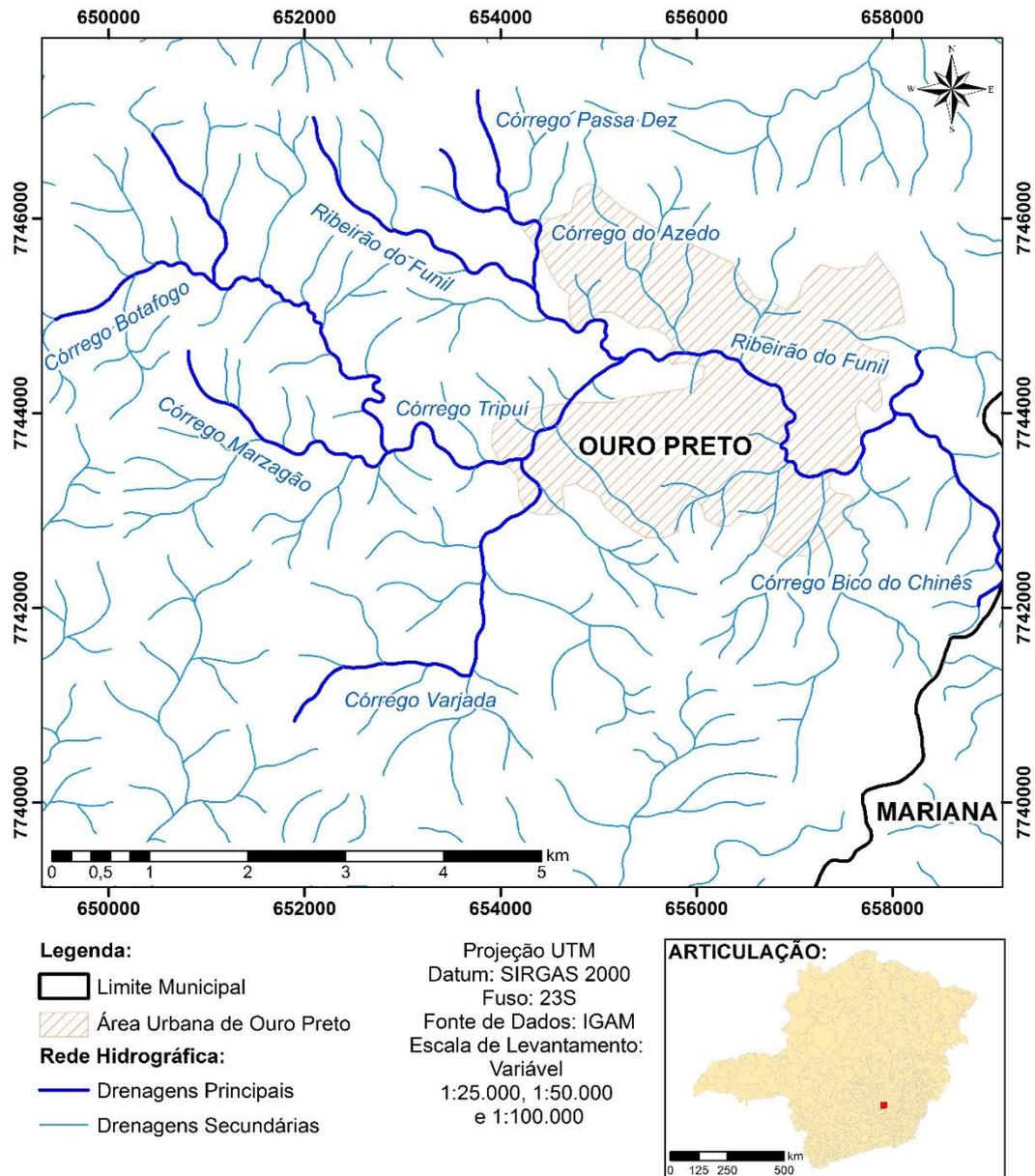


Figura 1.6 - Rede Hidrográfica de Ouro Preto.

Os potenciais aquíferos da área urbana da cidade de Ouro Preto são representados pelas formações Cauê, Cercadinho e Moeda, em maciços de itabiritos e quartzitos. As infiltrações são limitadas, ao norte, pelas unidades impermeáveis do Grupo Nova Lima, presentes nas zonas de cumes da Serra de Ouro Preto e, ao sul, pelas seqüências do Grupo Sabará, que podem ser consideradas como sendo praticamente impermeáveis. Assim, as zonas de recarga estão associadas às litologias permeáveis do Supergrupo Minas assentes nos flancos da Serra de Ouro Preto, induzindo fluxos subterrâneos com direção geral norte-sul, aproximadamente, e gerando surgências que alimentam os tributários da margem direita do Ribeirão Funil (Fontes 2011).

1.6.4 Solos

Os processos pedogenéticos na área em estudo são influenciados pelo relevo fortemente acidentado e escarpado, o que condiciona baixa taxa de pedogênese e predominância de afloramentos de rochas, saprólitos e litossolos (IGA 1995). Souza (2015) estabeleceu as seguintes classes de solos: *Afloramentos Rochosos*, *Neossolo Litólico* (distrófico, ou seja, ácido e de baixa fertilidade, presente nas regiões de relevo forte ondulado e montanhoso) e *Cambissolo* (distrófico, também presente nas áreas com relevo forte ondulado e montanhoso).

IGA (1995) descreveu 4 classes:

- *Litossolos*: apresentam um horizonte organo-mineral (horizonte A) sobreposto a saprólito de filitos. Distribuídos em relevo fortemente acidentado e, por isso, facilmente removidos pela erosão, com exposição do saprólito. Possuem baixos níveis de fertilidade e elevada acidez.
- *Cambissolos*: inclusões em unidades litossólicas, ocupando sopés de vertentes onde o declive se suaviza. Apresentam horizonte A de natureza organo-mineral sobreposto a horizonte B incipiente com textura argilo-arenosa. O horizonte B argiloso tende a acumular água nos períodos chuvosos, o que propicia deslizamentos de solos por acréscimo de peso.
- *Latossolos*: ocorrem pontualmente na região, como inclusão em topos de elevações mais aplainadas.
- *Solos Aluviais*: restringem-se às planícies fluviais dos córregos Tripuí, Marzagão e Ribeirão do Funil, que não possuem área expressiva.

1.6.5 Geomorfologia

A morfologia da cidade de Ouro Preto é profundamente condicionada pela litologia. Caracteriza-se por vales encaixados e profundos e por vertentes íngremes. Os interflúvios são caracterizados por áreas aplainadas, quase sempre protegidas por cobertura de canga (IGA, 1995).

Barbosa (2004) distingue duas unidades geomorfológicas: Quadrilátero Ferrífero (originada por processos erosivos e por movimentos tectônicos pós-cretácicos que contribuíram para a evolução geomorfológica da área) e Planaltos Dissecados (possui como característica a dissecação fluvial que, atuando sobre as rochas predominantemente granito-gnáissicas do embasamento Pré-cambriano, originou formas de colinas e cristas com vales encaixados e ou de fundo chato).

Já Fontes (2011) delimitou cinco principais unidades morfológicas na área de estudo: Relevo de Serra, Relevo Escarpado, Relevo Ondulado, Relevo Suave-Ondulado e Relevo de Planalto. As porções mais representativas do Relevo de Serra são as serras de Ouro Preto e do Itacolomi. A unidade

Relevo Escarpado/Montanhoso ocorre predominantemente nas regiões NW e SW da cidade de Ouro Preto. O Relevo Ondulado representa a morfologia mais marcante dentro do território urbano da cidade de Ouro Preto. A unidade Relevo Suave-Ondulado reflete as elevações típicas de planalto dissecado, posteriormente erodido, formando conjunções de morros com vertentes mais suaves. A unidade Relevo de Planalto apresenta declividades típicas de platôs e manutenção de rochas resistentes a processos erosivos (canga) e é representada na região do Morro do Cruzeiro.

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está localizada na porção central de Minas Gerais na região conhecida, geologicamente, como Quadrilátero Ferrífero (QF). Geograficamente, corresponde a uma extensa área situada na extremidade meridional da Serra do Espinhaço e nela se inserem as nascentes dos rios que compõem as três grandes bacias hidrográficas do sudeste brasileiro: do Rio São Francisco, do Rio Doce e do Rio Grande (Endo 1997). A área do QF é delimitada pelas cidades de Belo Horizonte e Caeté a norte, Itabira e João Monlevade a nordeste, Ouro Preto e Mariana a sudeste, Congonhas a sudoeste e Ouro Branco a sul, expressando um formato semelhante a um quadrilátero, conforme a Figura 2.1.

O Quadrilátero Ferrífero compreende uma área de aproximadamente 7.000 km² e localiza-se entre as latitudes 19°45' e 20°30' Sul e longitudes 43°22'30'' e 44°7'30'' Oeste (Dorr 1969).

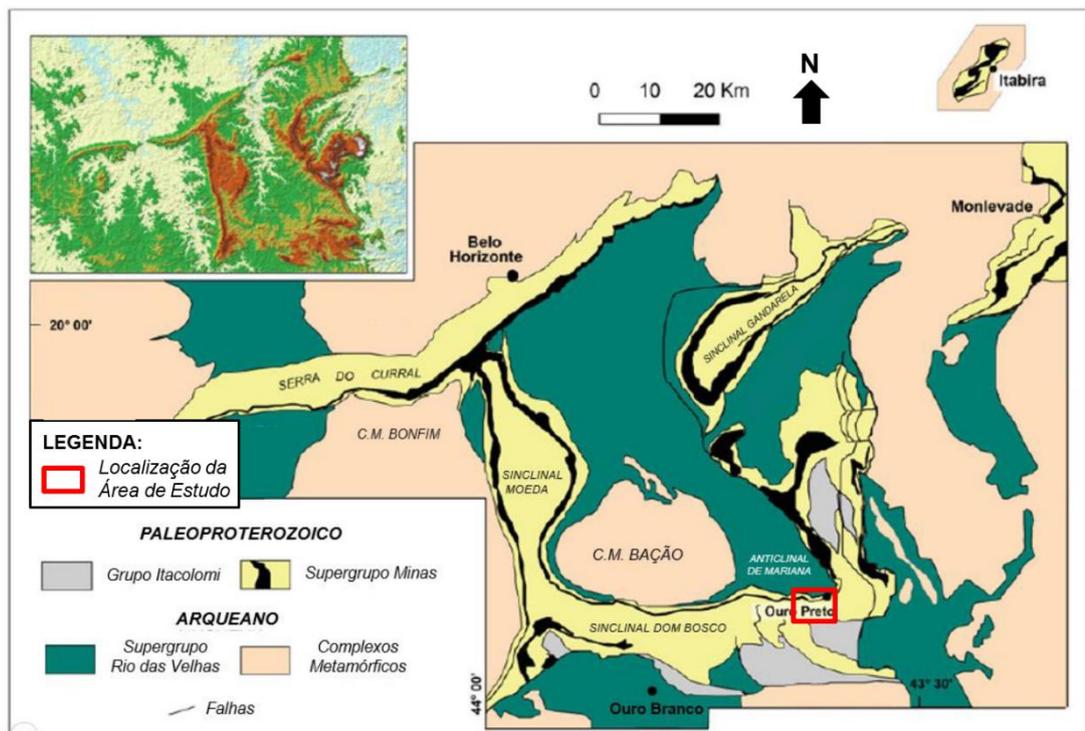


Figura 2.1 - Modelo de Elevação Digital e Mapa Geológico Simplificado do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Alkmim & Teixeira 2017).

2.1.1 Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero compreende cinco principais unidades litoestratigráficas: Embasamento/Complexos Metamórficos de idade Arqueana, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Rochas Intrusivas e Grupo Itacolomi (Alkmim & Marshak 1998), de acordo com a Figura 2.2.

Os Complexos Metamórficos, de idade Arqueana, são constituídos predominantemente por gnaisses bandados ou homogêneos, com ou sem inclusões anfibolíticas, migmatitos e granitos de composições variadas (Endo 1997).

O Supergrupo Rio das Velhas é composto por uma sequência *greenstone* e subdividido em três grupos, Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné. O Grupo Quebra Osso é composto por basaltos e komatiitos metamorfizados. O Grupo Nova Lima compreende, principalmente, rochas metavulcânicas, carbonatos e metapelitos, intercalados com formações ferríferas bandadas. Já o Grupo Maquiné, compreende quartzitos, filitos e conglomerados (Dorr 1969, Alkmim & Marshak 1998, Baltazar & Zucchetti 2007).

O Supergrupo Minas é uma sequência metassedimentar de idade paleoproterozoica constituída por xistos, quartzitos, dolomitos e formação ferrífera, assentada discordantemente sobre gnaisses e mica-xistos (Endo 1997). É constituído em sua base pelo Grupo Caraça, caracterizado por quartzo-arenitos e conglomerados da Formação Moeda e pelitos contendo *chert* e lentes de dolomitos da Formação Batatal. Sobreposto ao Grupo Caraça está o Grupo Itabira, caracterizado pelas formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior e itabiritos da Formação Cauê, e rochas carbonáticas, pelitos e dolomitos da Formação Gandarela. Na porção superior, está o Grupo Piracicaba, constituído por quartzitos, dolomitos e filitos prateados da Formação Cercadinho; filitos dolomíticos e dolomitos da Formação Fecho do Funil; ortoquartzitos da Formação Taboões e xistos e filitos grafitosos da Formação Barreiro. No topo da sequência, está o Grupo Sabará, caracterizado principalmente por conglomerados, diamictitos e tufos (Dorr 1969, Farina *et al.* 2015, Alkmim & Teixeira 2017).

O Grupo Itacolomi é formado por metassedimentos clásticos proterozoicos (Alkmim & Marshak 1998) que se sobrepõem em discordância ao Supergrupo Minas (Dorr 1969). É composto por quartzitos, quartzitos conglomeráticos e ferruginosos (Endo 1997).

Além das principais unidades, há os diques e *sills* máficos que cortam as sequências do Supergrupo Minas e do Grupo Itacolomi em toda a região, de aproximadamente 1.714 Ma (Alkmim & Teixeira 2017).

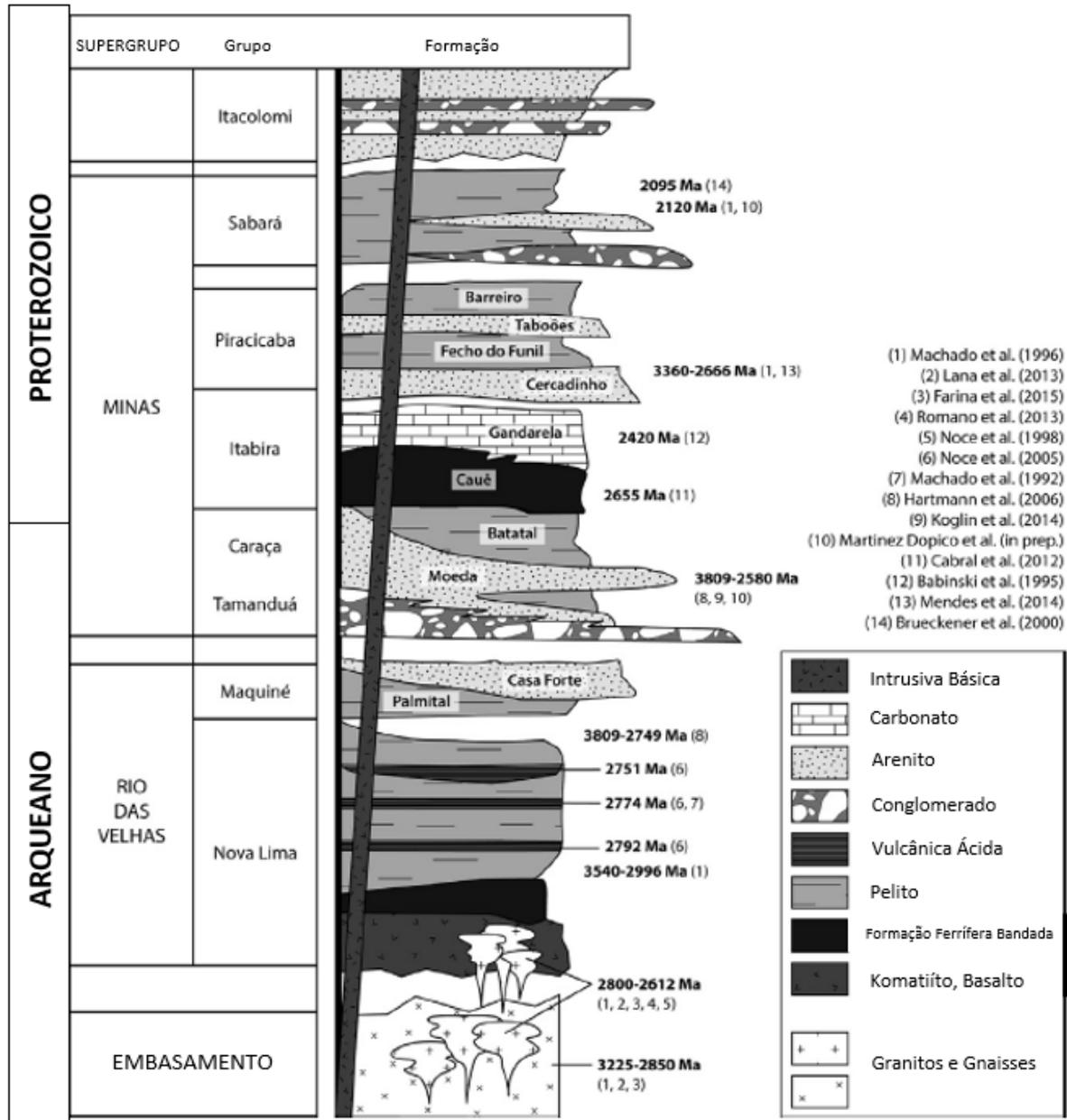


Figura 2.2 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Farina *et al.* 2015).

2.1.2 Aspectos Estruturais e Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero

A evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero é complexa e vários modelos foram propostos a fim de se compreender as feições regionais.

Dorr (1969) sugeriu três eventos tectônicos. O primeiro evento consistiu na deformação Oeste-Leste sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas. O segundo evento se deu após a deposição do Supergrupo Minas, e o terceiro, sobre o Grupo Itacolomi, gerou deformações com alinhamentos sistemáticos de sinclinais e anticlinais.

Chemale *et al.* (1991) sugeriram dois eventos tectônicos, sendo o primeiro de caráter extensional (Transamazônico), com idade entre 2.1 a 1.7 Ga e com geração de estruturas NE-SW, e o segundo de caráter compressional (Brasiliano), com idade entre 0.6 a 0.5 Ga, formando um cinturão de dobramentos *fold and thrust belt* e estruturas E-W.

Endo (1997) interpretou a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero como resultado da superposição de três ciclos tectono-deformacionais principais: Jequié, Transamazônico e Brasiliano.

O ciclo orogênico Jequié, de idade entre 2,78 Ga e 2,55 Ga, consiste em um regime tectônico transpressional caracterizado por três eventos distintos: orogênese Rio das Velhas, caracterizada pela deformação cisalhante dúctil e dextral do *greenstone* Rio das Velhas e nucleação de fraturas crustais de direções NE-SW e N-S que possibilitaram a ascensão e alojamento sintectônico de granitoides; segundo evento que se manifesta na forma da superposição plano-paralela de cisalhamentos com deslocamentos sinistrais e nucleação de descontinuidades crustais de orientações NW-SE e E-W, seguida da intrusão de diques máficos; orogênese Maquiné, responsável pela deformação e colocação de *plutons* graníticos controlada pela reativação de descontinuidades prévias.

O ciclo orogênico Transamazônico é caracterizado por dois megaeventos tectônicos progressivos. O primeiro, conhecido como orogênese Minas, consistiu na inversão tectônica da Bacia Minas, formação de megassinclinais, domos gnáissicos, esforços regionais NE/SW e pela deposição dos sedimentos do Itacolomi. Já o segundo, conhecido como orogênese Itacolomi, consistiu na inversão da Bacia Itacolomi e formação de um sistema de falhas e empurrões com vergência para NW.

Por fim, o ciclo Brasiliano é constituído por dois eventos tectônicos desenvolvidos em regime transpressional, com plano de fluxo NE-SW, sendo o primeiro caracterizado por sistemas de dobramentos e cavalgamentos com transporte para NW, na região meridional da área, e para W, na região setentrional, com envolvimento do embasamento, e o segundo caracterizado por dobramentos em escala mesoscópica vergentes para leste, soerguimento de blocos do embasamento e cisalhamentos normais

Alkmim & Marshak (1998) sugeriram o modelo de domos e quilhas para explicar as estruturas de serras e vales presentes no Quadrilátero Ferrífero. O modelo consiste em uma evolução a partir de uma margem passiva pré-transamazônica na qual se depositou o Supergrupo Minas que, posteriormente, foi deformado no evento Transamazônico, com a colisão do arco vulcânico e corpos acrescionários continentais, gerando dobramentos e empurrões com vergência para NW. Durante o colapso transamazônico, as estruturas em domos foram formadas devido ao aquecimento da crosta e soerguimento do embasamento e as rochas supracrustais afundaram nas estruturas em quilhas, formando, assim, falsos sinclinais e anticlinais.

2.1.3 Coberturas Sedimentares do Quadrilátero Ferrífero

Em Lobato *et al.* (2005), são descritos sete principais tipos de depósitos de sedimentos cenozoicos na região do Quadrilátero Ferrífero, os quais preenchem pequenas bacias tectonicamente controladas e de ampla distribuição geográfica.

- *Mudstones*: depósitos de argila, cartografados no flanco sul da Serra do Curral e no extremo sul do Quadrilátero Ferrífero. São argilas lateritizadas, não plásticas e sem estratificação, com alto teor de titânio e localmente com um conglomerado basal. Dorr (1969) sugere que sejam depósitos do início da era cenozoica.

- *Chapadas de Canga*: depósitos elúvio-coluviais cenozoicos, do período Paleógeno (Dorr 1969) que ocorrem principalmente no setor ocidental do Quadrilátero Ferrífero. São chapadas de canga constituindo capeamento limonítico.

- *Sedimentos Lacustres*: arenitos e argilitos com registros de folhas fósseis, sedimentos lacustres e fluviais, contendo conglomerado, arenito, siltito e argilito com algumas camadas de sublinhito. Segundo Maizatto (2001), são sedimentos depositados no início do período Paleógeno.

- *Coberturas detrito-lateríticas*: concentrações supergênicas de óxidos de ferro e concreções ferruginosas preenchendo fraturas e cobertura detrito-laterítica, na forma de solo laterítico residual, material areno-argiloso, concreções ferruginosas e fragmentos de quartzo. Ocorrem nas porções nordeste e noroeste do Quadrilátero Ferrífero, depositadas no intervalo entre os períodos Paleógeno e Neógeno (Silva & Monteiro 2004)

- *Sedimentos flúvio-lacustres*: depósitos aluviais de argila e cascalho fluvial em terraços e sedimentos lacustres e de enchimento de vales, com depósitos de bauxita associados em algumas regiões. Lobato *et al.* (2005) atribuem, segundo Endo (1997) e Lipski (2001), a idade mioceno-pleiocênica a esses depósitos, já que suas bacias de deposição são relacionadas ao tectonismo cenozoico Sul-Atlântico, com sedimentação que se estende do Mioceno ao Plioceno.

- *Sedimentos plio-pleistocênicos*: depósitos aluvionares, eluvionares e coluvionares no setor nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Coberturas de canga e detrito-lateríticas constituídas de areia e argila, com níveis de cascalho, em parte limonitizadas.

- *Sedimentos pleistoceno-holocênicos*: depósitos aluvionares de areia, argila e cascalho ao longo dos rios principais e distribuídos por toda a área do Quadrilátero Ferrífero.

Segundo Lana (2010), Lipski (2002) caracterizou quatro eventos deformacionais recentes na evolução tectônica dos depósitos sedimentares do Quadrilátero Ferrífero:

D1: ocorreu sob regime trativo na direção NNE-SSW, do Oligoceno ao Eomioceno, associado a geração de *grabens* e sedimentação de alta energia, com depósito de sedimentos por fluxo de detritos.

D2: evento compressivo na direção predominante NW-SE, com geração de falhas reversas e transcorrentes, entre o Oligoceno Superior e Mioceno Superior.

D3: marcado pelo relaxamento tectônico das estruturas formadas em D2, antes do Plioceno, com direção predominante E-W.

D4: evento de caráter trativo, caracterizado por falhas normais em coberturas lateríticas e feições extensionais, de idade pliocênica.

2.2 GEOLOGIA LOCAL

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil situa-se no flanco sul da Anticlinal de Mariana (Oliveira 2010). Nela afloram rochas constituintes de três grandes unidades de caráter metassedimentar do pré-cambriano: Supergrupo Rio das Velhas (Grupo Nova Lima), Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi (IGA 1995). Essas unidades estão bem distribuídas espacialmente na bacia, como mostra a Figura 2.3, de acordo com dados da CODEMIG (2005).

As rochas encontram-se, em geral, profundamente intemperizadas, com exceção de certas porções em que afloram quartzitos localmente frescos e dolomito (IGA 1995). Essa é uma situação comum na região, por ter uma predominância de clima úmido e tropical, o que favorece os processos intempéricos.

2.2.1 Supergrupo Rio das Velhas

Esta unidade é representada pelo Grupo Nova Lima e aflora em uma porção limitada a norte da bacia, na Serra de Ouro Preto. Segundo Cavalcanti (1999), é composta por sericita-quartzo xistos alterados de cor rosa a roxo, formados localmente pela intercalação de camadas milimétricas de sericita e quartzo. Os litotipos dessa unidade encontram-se totalmente intemperizados (Cavalcanti 1999).

2.2.2 Grupo Caraça

O Grupo Caraça Indiviso, unidade basal do Supergrupo Minas, também aflora em uma porção limitada a norte da bacia, na Serra de Ouro Preto. É representado principalmente por quartzitos, filitos,

quartzo-sericita xistos e conglomerados. Segundo Oliveira (2010), o contato inferior com o Grupo Nova Lima é altamente tectonizado, inclusive contendo veios de quartzo intensamente deformados e foliação com aspecto milonítico.

2.2.3 Grupo Itabira

O Grupo Itabira é representado pelas formações Cauê e Gandarela, as quais afloram na porção norte da bacia.

A Formação Cauê é composta por itabiritos silicosos típicos, formados por bandas de sílica intercaladas com bandas de hematita; itabiritos ocre compostos por bandas de material argiloso ocre (de alteração intempérica) intercaladas com bandas ferruginosas limoníticas e formações ferríferas carbonáticas alteradas (Cavalcanti 1999). Em alguns locais está coberta por canga de idade cenozoica. O contato da Formação Cauê com a Formação Gandarela é gradacional, isto é, à medida em que se aproxima do contato, a porcentagem dos minerais de ferro diminui e a dos minerais carbonáticos aumenta (Oliveira 2010).

A Formação Gandarela é representada, tipicamente, por calcário dolomítico de cor creme-claro, localmente com tons róseos ou acinzentados (IGA 1995).

2.2.4 Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba é representado pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil e Barreiro.

A Formação Cercadinho aflora na porção oeste da bacia e é caracterizada pela presença de quartzito ferruginoso de cor cinza esbranquiçado intercalado com níveis de filito prateado hematítico (Oliveira 2010).

A Formação Fecho do Funil aflora na porção oeste e central da bacia e é caracterizada por filitos, filitos dolomíticos e dolomitos.

A Formação Barreiro aflora na porção central da bacia e é caracterizada por filito preto grafitoso intercalado com xisto avermelhado e bastante decomposto (Oliveira 2010).

2.2.5 Grupo Sabará

O Grupo Sabará é a unidade geológica de maior distribuição na área da bacia. Consiste em um espesso pacote de rochas clásticas com intercalações localizadas de sedimentos químicos e rochas vulcânicas que se posiciona no topo do Supergrupo Minas (Almeida *et al.* 2005).

2.2.6 Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi aflora na porção sudeste da bacia e é caracterizado por quartzitos com lentes de conglomerado e filito. Na área, apresenta estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno e médio porte (Oliveira 2010). O Grupo Itacolomi repousa em discordância erosiva e angular sobre xistos e filitos do Grupo Sabará (Almeida *et al.* 2005).

2.2.7 Cobertura cenozoica

A cobertura de idade cenozoica é evidenciada por cangas, aluviões de areia, argila e cascalho, lateritas e bauxitas. Ocorre principalmente sobre as formações do Supergrupo Minas.

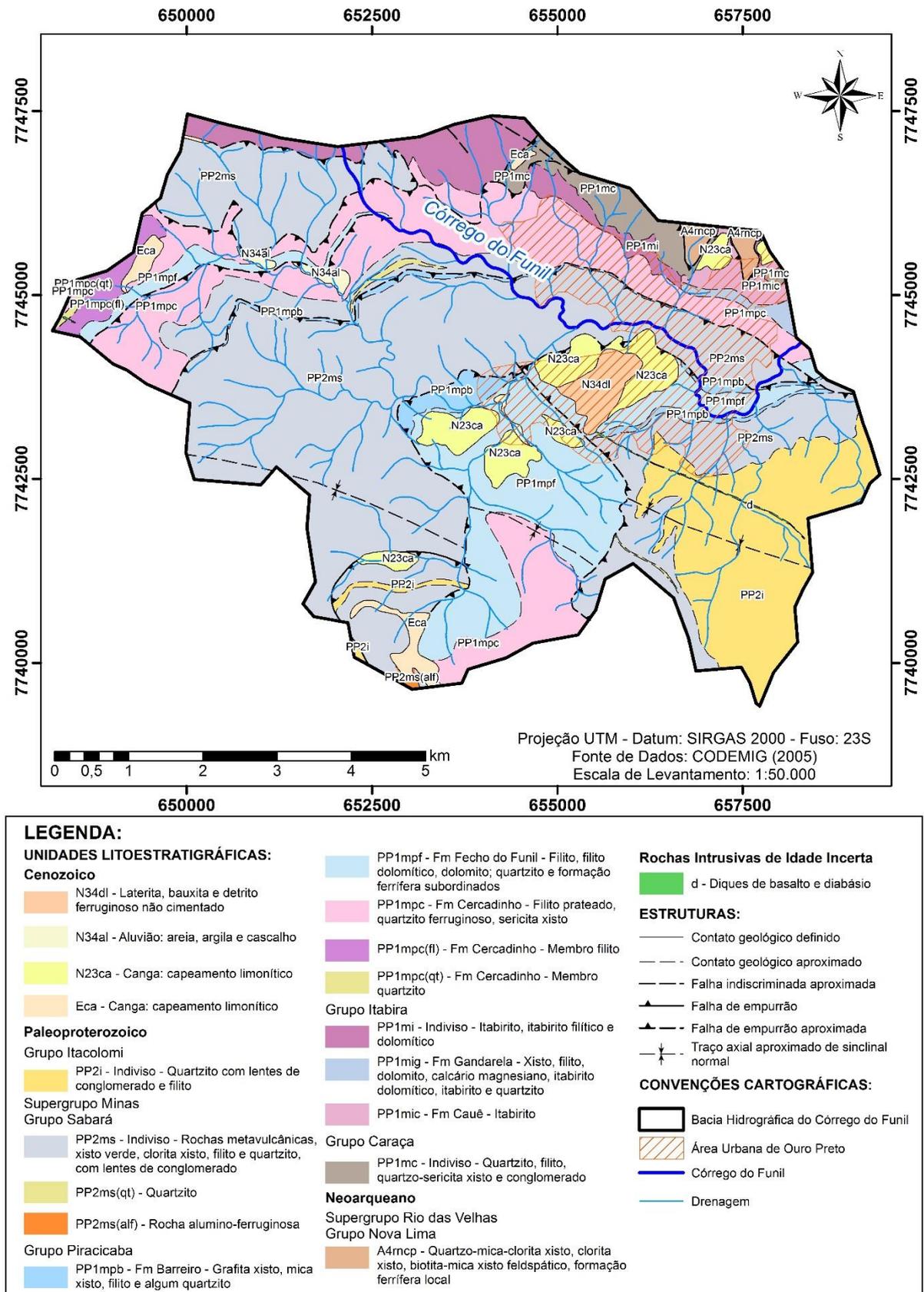


Figura 2.3 - Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil.

3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Neste capítulo, serão apresentados os parâmetros de caracterização morfométrica utilizados para a elaboração deste trabalho. Segundo Barros *et al.* (2010), os parâmetros morfométricos são gerados a partir da correlação entre os atributos da bacia hidrográfica e o relevo.

Os atributos da bacia hidrográfica analisados são: área, perímetro e comprimento da bacia, comprimento dos canais fluviais, comprimento vetorial (comprimento do vale) dos canais fluviais, número de canais fluviais, declividade da bacia (mínima, média e máxima), declividade dos canais e altimetria (mínima, média e máxima) (Cherem 2008).

Para caracterização morfométrica, Horton (1945) estabeleceu as leis de composição de bacias hidrográficas, que foram apresentadas por Vestena *et al.* (2006) como:

- *Lei do número de canais:* o número de segmentos de ordens sucessivamente inferiores de uma bacia dada tende a formar uma progressão geométrica, que começa com o único segmento de ordem mais elevado e cresce segundo uma taxa constante de bifurcação.
- *Lei do comprimento de canais:* o comprimento médio dos segmentos de ordens sucessivas tende a formar uma progressão geométrica cujo primeiro termo é o comprimento médio dos segmentos de primeira ordem e tem por razão uma relação de comprimento constante.
- *Lei da Declividade de canais:* em uma determinada bacia há uma relação definida entre a declividade média dos canais de certa ordem e a dos canais de ordem imediatamente superior, que pode ser expressa por uma série geométrica inversa, na qual o primeiro termo é a declividade média dos canais de primeira ordem e a razão é a relação entre os gradientes dos canais.
- *Lei da área da bacia de canais:* as áreas médias das bacias de segmentos de canais de ordem sucessivos tendem a formar uma progressão geométrica cujo primeiro termo é a área média das bacias de primeira ordem e a razão de incremento constante é a taxa de área.

As Leis de Horton são graficamente representadas por retas que apresentam a correlação entre a ordem dos canais (eixo das abcissas) e o logaritmo do valor dos parâmetros por ordem de canal (eixo das ordenadas), como as exemplificadas na Figura 3.1. Essas retas correspondem ao comportamento ideal das bacias hidrográficas para Horton (1945) e, caso esse comportamento seja observado em uma bacia, significa dizer que não há anomalias em sua configuração (Cherem 2008).

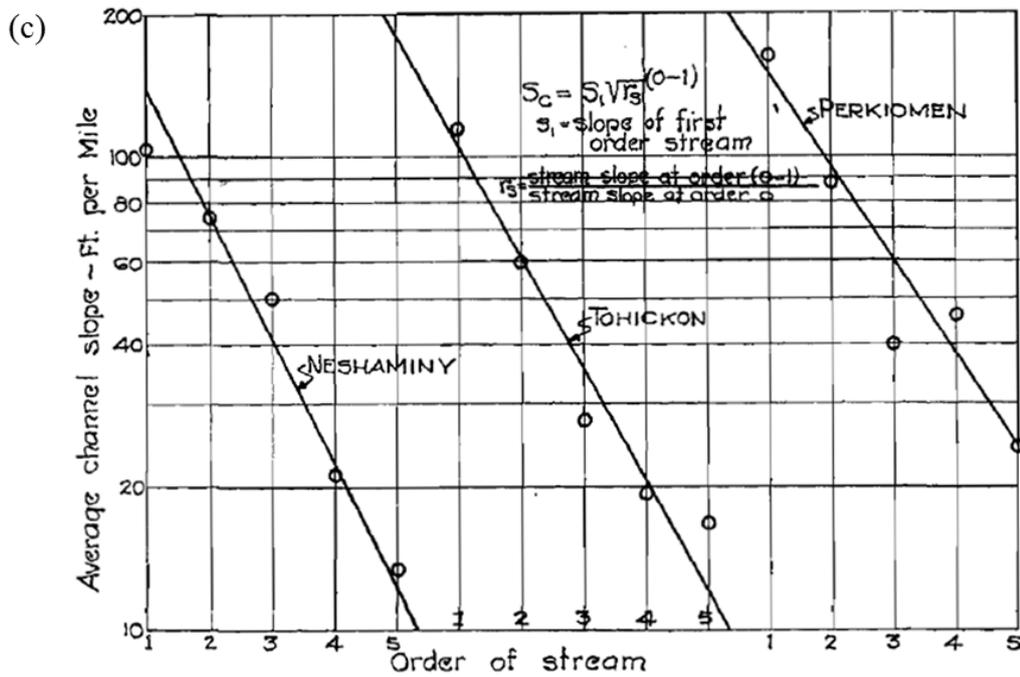


Figura 3.1 – Representações gráficas das Leis de Horton. (a) Lei do número de canais, (b) Lei do comprimento de canais e (c) Lei da declividade de canais (Horton 1945).

Christofolletti (1980) estabeleceu quatro principais parâmetros para o estudo analítico: hierarquia fluvial, análise linear da rede hidrográfica, análise areal das bacias hidrográficas e análise hipsométrica.

Tonello (2005) estabeleceu que a morfometria da bacia hidrográfica pode ser representada pelas características geométricas, características do relevo e características da rede de drenagem.

Os parâmetros morfométricos e atributos da bacia hidrográfica utilizados neste trabalho estão indicados na Tabela 3.1 e detalhados posteriormente.

Tabela 3.1 - Atributos da bacia hidrográfica e parâmetros morfométricos utilizados neste trabalho.

Hierarquia Fluvial	
Padrão de Drenagem	
Análise Linear da Rede Hidrográfica	
Relação de bifurcação (R_B)	Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{LB})
Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RL_m)	Índice de sinuosidade (I_S)
Análise Areal da Bacia Hidrográfica	
Área da bacia (A)	Densidade hidrográfica (D_h)
Comprimento da bacia (L)	Densidade de drenagem (D_d)
Índice de circularidade (I_c)	Coefficiente de manutenção (C_M)
Fator de Forma (F_f)	Extensão do percurso superficial (E_{PS})
Análise Hipsométrica	
Amplitude altimétrica da bacia (H_m)	Índice de rugosidade (I_R)
Relação de relevo (R_R)	Carta Clinográfica

3.1.1 Hierarquia Fluvial

A Hierarquia Fluvial refere-se a uma classificação dos cursos d'água e das bacias correspondentes, segundo um sistema proposto por Horton, em 1954, e modificado por Strahler, em 1952 (Florenzano 2008). Essa classificação é feita com a função de facilitar e tornar mais objetivos os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas (Christofolletti 1980).

Para Horton (1945), os canais de primeira ordem correspondem aos canais de cabeceiras de drenagem, que não apresentam tributários. Porém, não são todas as cabeceiras que correspondem aos canais de primeira ordem, visto que os canais de maior hierarquia estendem-se até a cabeceira de maior extensão, como pode-se observar na Figura 3.2a (Cherem 2008).

Strahler (1952) considera os canais de primeira ordem como aqueles que não apresentam tributários, ou seja, são canais de cabeceiras de drenagem. Já os canais de segunda ordem, são os canais subseqüentes à confluência de dois canais de primeira ordem e assim sucessivamente (Figura 3.2b), sendo que a confluência com canais de ordem hierárquica menor não altera a hierarquização da rede (Cherem 2008).

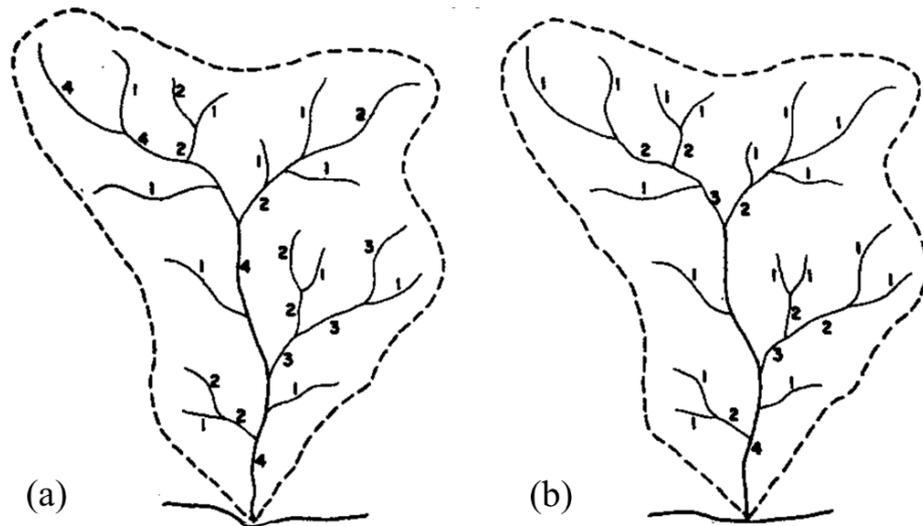


Figura 3.2 - Hierarquia Fluvial segundo (a) Horton (1945) e (b) Strahler (1952) (Christofoletti 1980).

3.1.2 Padrões de Drenagem

Os padrões de drenagem, como observados na Figura 3.3, referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região (Christofoletti 1980).

Ao erodir, depositar e transportar sedimentos, os rios produzem canais de diferentes padrões de formas. Os padrões dos canais fluviais refletem o ajustamento do rio ao tipo, tamanho e volume da carga sedimentar por ele transportada para uma dada resistência de seu substrato e para uma dada vazão (Florenzano 2008).

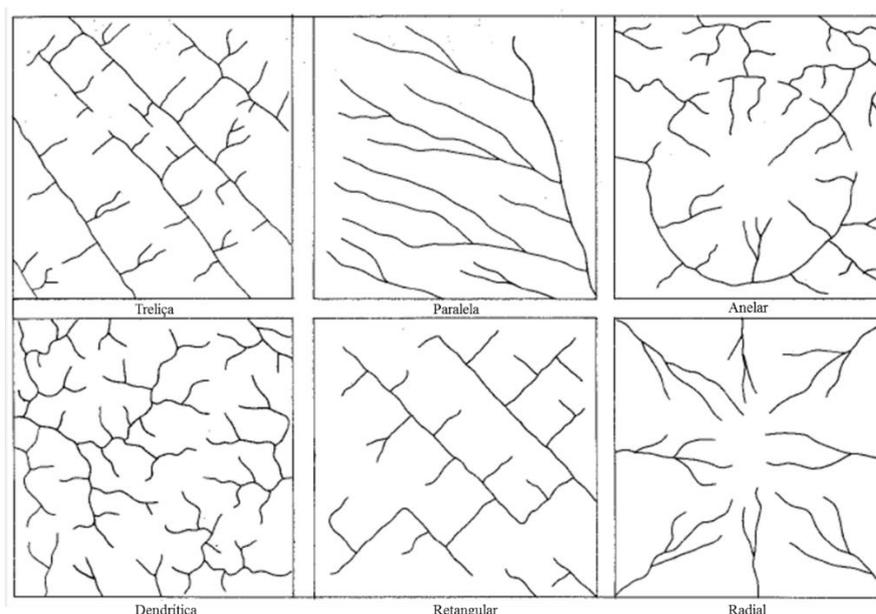


Figura 3.3 - Padrões de drenagem (Christofolletti 1980).

Os principais padrões de drenagem, segundo a geometria e disposição fluvial são:

- *Drenagem em treliça:* composta por rios principais correndo paralelamente, recebendo afluentes que fluem em direção transversal aos primeiros. Em geral, as confluências realizam-se em ângulos retos. Associa-se a estruturas sedimentares homoclinais, estruturas falhadas e cristas anticlinais (Christofolletti 1980).

- *Drenagem paralela:* quando os cursos de água escoam quase paralelamente uns aos outros sobre uma área considerável. Esse tipo de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular, quase paralelo, das correntes fluviais (Christofolletti 1980). Ocorrem em áreas de falhas muito próximas e espaçadas e dobras monoclinais ou isoclinais (Summerfield 1991). Também são conhecidas como drenagem rabo de cavalo.

- *Drenagem anelar:* semelhantes a anéis, típicas das áreas dômicas profundamente entalhadas, em estruturas com camadas duras e frágeis. Os rios principais têm um padrão circular com canais secundários em ângulo reto, acomodando-se aos afloramentos das rochas menos resistentes (Christofolletti 1980, Summerfield 1991).

- *Drenagem dendrítica:* espalhamento semelhante ao dos ramos das árvores sem uma orientação evidente dos canais sobre o terreno. As correntes tributárias se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar nunca ao ângulo reto. Padrão

tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais (Christofolletti 1980, Summerfield 1991).

- *Drenagem retangular*: forma uma rede perpendicular com as duas direções igualmente desenvolvidas. Controlada por sistemas de juntas ou falhas (Summerfield 1991). É uma modificação da drenagem em treliça.

- *Drenagem radial*: apresenta canais dispostos como raios de uma roda, em relação a um ponto central, e o fluxo flui para fora do centro. Pode apresentar configuração *Centrífuga*, quando as correntes divergem a partir de um ponto que se encontra em posição elevada, como as desenvolvidas em domos, cones vulcânicos ou morros isolados; ou configuração *Centrípeta*, quando os rios convergem para um ponto ou área central localizada em posição mais baixa, como as desenvolvidas em bacias sedimentares periclinais, crateras vulcânicas ou depressões topográficas.

3.1.3 Análise Linear da Rede Hidrográfica

A análise linear compreende os índices e relações a respeito da rede hidrográfica, em que as medições e cálculos são efetuados ao longo das linhas de escoamento (Christofolletti 1991).

Relação de bifurcação (R_B)

A relação de bifurcação, segundo Cherem (2008), foi definida por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem (N_U) e o número total dos de ordem imediatamente superior (N_{U+1}), cujos valores, dentro de uma mesma bacia, devem ser constantes e jamais inferiores a 2.

A relação é representada pela equação 3.1:

$$R_B = \frac{N_U}{N_{U+1}} \quad \text{(Equação 3.1)}$$

Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RL_M)

Segundo Horton (1945): “Em uma bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem (L_{m_u}) ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem ($L_{m_{u-1}}$), e a razão é a relação entre os comprimentos médios (RL_M)”.

Para calcular a relação entre os comprimentos médios, emprega-se a equação 3.2:

$$RL_M = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{LB})

Essa relação (Equação 3.3) é um importante fator na relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas. Se a relação entre os comprimentos médios dos canais (RL_M) for igual à relação de bifurcação (R_B), o tamanho médio do canal crescerá ou diminuirá na mesma proporção que R_B , caso contrário seguirá a variação da ordem da drenagem (Christofolletti 1980).

$$R_{LB} = \frac{RL_M}{R_B} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Índice de Sinuosidade (I_S)

Interpretado por Alves & Castro (2003), como sendo uma das formas de representar a influência da carga sedimentar, a compartimentação litológica e estrutural na sinuosidade dos canais. É representado pela razão entre o comprimento do canal principal (L) e a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal (d_v), segundo a Equação 3.4.

$$I_S = \frac{L}{d_v} \quad (\text{Equação 3.4})$$

3.1.4 Análise Areal da Bacia Hidrográfica

Na análise areal das bacias hidrográficas estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas e lineares, além de indicar o arranjo espacial das drenagens na área da bacia (Christofolletti 1980).

Área da Bacia (A)

É toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal (Christofolletti 1980).

Comprimento da Bacia (L)

É a distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro da bacia (Christofolletti 1980).

Índice de Circularidade (I_C)

De acordo com Alves & Castro (2003), o índice de circularidade, proposto por Miller (1953), define a forma da bacia e sua influência em processos de escoamento e inundação. Bacias mais alongadas, com $I_C < 0,51$, favorecem o escoamento, enquanto bacias circulares, com $I_C > 0,51$, favorecem os processos de inundação. Pode ser expresso pela razão entre a área total da bacia (A) e a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia (A_C) (Equação 3.5).

$$I_C = \frac{A}{A_C} \quad (\text{Equação 3.5})$$

Fator de Forma (F_f)

Relaciona a forma da bacia com a de um quadrado, correspondendo à razão entre a área de drenagem da bacia (A) e o comprimento axial da bacia, da foz ao ponto mais longínquo do espigão (L) (Tonello 2005). É determinado pela Equação 3.6:

$$F_f = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Densidade Hidrográfica (D_h)

Estabelece a relação entre o número de cursos d'água e a área de uma dada bacia, sendo expressa pela razão entre o número total de rios (N) e a área (A) da bacia considerada (Equação 3.7). Cherem (2008) estabelece que esse parâmetro, quando gerado para os canais de primeira ordem de hierarquia fluvial, representa o comportamento hidrográfico das bacias, uma vez que, em bacias com alta densidade hidrográfica, pode-se inferir uma maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões.

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (\text{Equação 3.7})$$

Densidade da Drenagem (D_d)

A densidade da drenagem (D_d) correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento (L_t) com a área (A) da bacia hidrográfica, visto na Equação 3.8. À medida que o valor numérico da densidade aumenta, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem. Esse parâmetro representa o comportamento hidrológico definido pela litologia e estrutura geológica, identificando a capacidade de infiltração e de formação de canais superficiais (Christofolletti 1980, Cherem 2008).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Equação 3.8})$$

Coefficiente de Manutenção (C_M)

Índice proposto por Schumm, em 1956, tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (Christofolletti 1980). É expresso pela Equação 3.9, sendo D_d o valor da densidade de drenagem.

$$C_M = \frac{I}{D_d} \times 1.000 \quad (\text{Equação 3.9})$$

Extensão do Percurso Superficial (E_{PS})

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. É calculado pela Equação 3.10:

$$E_{PS} = \frac{I}{2D_d} \quad (\text{Equação 3.10})$$

3.1.5 Análise Hipsométrica

A análise hipsométrica relaciona a variação altimétrica da área com a rede de drenagem da bacia em estudo.

Amplitude Altimétrica da Bacia (H_m)

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica.

Relação de Relevô (R_R)

Estabelece a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento total do canal principal (Alves & Castro 2003). Relação expressa pela Equação 3.11, em que H_m é a amplitude altimétrica da bacia e L é o comprimento do canal principal.

$$R_R = \frac{H_m}{L} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Índice de Rugosidade (I_R)

O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H_m) e a densidade de drenagem (D_d) (Christofolletti 1980), segundo a Equação 3.12.

$$I_R = H_m \times D_d \quad (\text{Equação 3.12})$$

Carta Clinográfica

A carta clinográfica representa, graficamente, as declividades do terreno e, segundo Tonello (2005), é de grande importância a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica, pois estas influenciam na precipitação, nas perdas de água por evaporação e transpiração e no deflúvio médio.

Embrapa (1979) classifica o relevo em seis classes de acordo com a declividade do terreno, como observado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Classes do relevo, de acordo com Embrapa (1979).

Declividade (%)	Classe
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

3.2 NEOTECTÔNICA

Obruchev, em 1948, designou o termo neotectônica como “movimentos tectônicos ocorridos no fim do Terciário e no Quaternário, os quais desempenharam um papel decisivo na configuração topográfica contemporânea na superfície terrestre” (Suguio 2010).

Já em 1978, a Comissão de Neotectônica da INQUA (International Union for Quaternary Research) definiu movimentos tectônicos como “quaisquer movimento ou deformação do nível geodésico de referência, seus mecanismos e sua origem geológica”, sem limites temporais rígidos, assumindo para a neotectônica um período que vai dos movimentos “instantâneos” (sísmicos) até os de idade superior a 10^7 anos (Saadi *et al.* 2005).

Os estudos das relações entre as feições fisiográficas e as estruturas neotectônicas de uma região preocupa-se com a interação das deformações vertical e horizontal da crosta terrestre com os processos erosivo ou deposicional (Suguio 2010).

Como identificado em Suguio (2010), Goy *et al.* (1991) definiram cinco grupos de anomalias geomorfológicas indicadoras de atividades neotectônicas:

- a) relacionadas a escarpas de falha e lineamentos;
- b) relacionadas a depósitos superficiais deformados;
- c) relacionadas a interflúvios e vertentes;
- d) relacionadas à rede de drenagem;
- e) relacionadas à disposição geométrica-espacial dos depósitos superficiais.

Assim, para a detecção de descontinuidades da crosta terrestre relacionadas à tectônica ressurgente, são utilizados os índices geomorfométricos indicadores de neotectônica.

Os índices geomorfométricos utilizados neste trabalho estão indicados na Tabela 3.3 e detalhados posteriormente.

Tabela 3.3 - Índices geomorfométricos indicadores de neotectônica.

Índices Geomorfométricos Indicadores de Neotectônica	
Índice relação declividade-extensão (<i>RDE</i>) ou Índice de Hack	Fator de simetria topográfica transversal (<i>FSTT</i>)
Fator de assimetria da bacia (<i>FAB</i>)	Índice Razão Fundo/Altura do Vale (<i>RFAV</i>)

3.2.1 Índices Geomorfométricos Indicadores de Neotectônica

Índice Relação Declividade-Extensão (RDE) ou Índice de Hack

Índice proposto por Hack em 1973, pode ser usado para avaliar a atividade tectônica relativa e se refere à declividade de um determinado trecho de um rio normalizada pela distância do referido trecho às cabeceiras (Figura 3.4) (El Hamdouni *et al.* 2008).

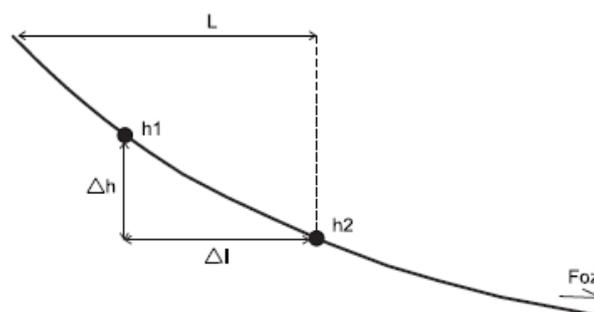


Figura 3.4 - Parâmetros para o cálculo do RDE (Etchebehere 2004).

Segundo Etchebehere (2004), os índices RDEs se correlacionam com os níveis de energia da corrente (*stream power*), refletida na capacidade de erodir o substrato e de transportar a carga sedimentar. O objetivo é identificar trechos anômalos na drenagem.

O RDE pode ser calculado para um trecho, pela Equação 3.13, em que Δh é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água; Δl é a projeção horizontal da extensão do referido segmento e L corresponde ao comprimento total do curso d'água a montante do ponto para o qual o índice RDE está sendo calculado (Etchebehere 2004).

$$RDE_{TRECHO} = \frac{\Delta h}{\Delta l} \times L \quad (\text{Equação 3.13})$$

E pode ser calculado para todo o canal, pela Equação 3.14.

$$RDE_{TOTAL} = \frac{\Delta h}{\Delta l} \times \ln L \quad (\text{Equação 3.14})$$

Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

O fator de assimetria da bacia (A_f) foi proposto por Hare e Gardner, em 1985, e indica áreas sugestivas de basculamento tectônico (Figura 3.5). Faz-se uma relação entre a área da margem direita da bacia (A_r) e a área total da bacia (A_t), segundo a Equação 3.15 (Firmino 2015).

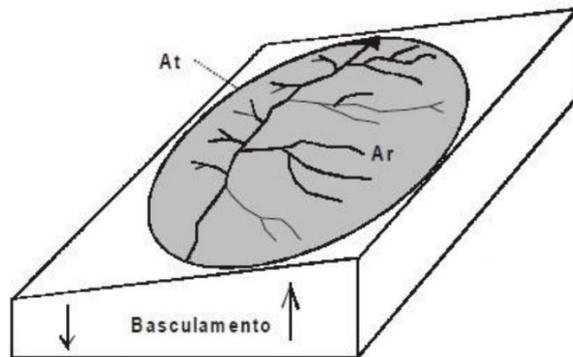


Figura 3.5 - Bloco esquemático do Fator de assimetria da bacia (Firmino 2015).

$$A_f = 100 \left(\frac{A_r}{A_t} \right) \quad (\text{Equação 3.15})$$

Ainda segundo Firmino (2015), baseado em Hare e Gardner (1985), quando o valor obtido está próximo a 50, significa que não há indicativo de basculamento, porém, quando o valor é menor que 50, pode indicar basculamento para a margem esquerda da bacia, e quando é maior que 50, para a margem direita da bacia.

Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT)

O fator de simetria topográfica transversal foi proposto por Cox em 1998 e, assim como o fator de assimetria da bacia, indica áreas sugestivas de basculamento tectônico. Os resultados são obtidos por meio da Equação 3.16, que indica a relação entre a distância do eixo principal da bacia ao percurso fluvial principal (D_a) e a distância deste mesmo eixo ao divisor da bacia (D_d) naquele mesmo alinhamento, em que os valores de $FSTT$ podem variar de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 0, mais simétrico, e quanto mais próximo de 1, menos simétrico, podendo indicar basculamento (Firmino 2015). A Figura 3.6 exemplifica os parâmetros do cálculo.

$$FSTT = \frac{D_a}{D_d} \quad \text{(Equação 3.16)}$$



Figura 3.6 - Bloco esquemático do Fator de simetria topográfica transversal (Firmino 2015). T equivale ao valor de $FSTT$ encontrado na equação 3.17.

Índice Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV)

O índice razão Fundo/Altura de vale (RFAV) foi definido por Bull e McFadden em 1977.

Para calcular os valores do RFAV, utiliza-se a Equação 3.17, definida por Bull e McFadden (1977), onde L_{fv} é a largura do fundo do vale, A_{de} é a altura do divisor esquerdo do vale, E_{fv} é a elevação do fundo do vale e A_{dd} é a altura do divisor direito do vale (Suguio 2010). Esses parâmetros estão dispostos segundo a Figura 3.7.

$$RFAV = \frac{L_{fv}}{(A_{de} - E_{fv}) + (A_{dd} - E_{fv})/2} \quad \text{(Equação 3.17)}$$

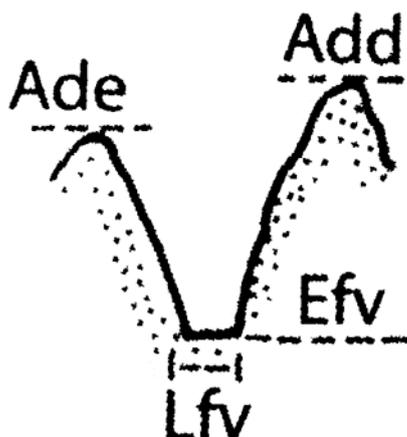


Figura 3.7 - Razão fundo/altura de vale (Suguio 2010).

Barbosa *et al.* (2013) afirmam, baseados em Andrades Filho (2010), que valores de $RFAV < 1$ indicam que a área tem grandes possibilidades de ter passado por soerguimento tectônico recente, já os valores de $RFAV > 1$ sugerem que a atividade tectônica na região em que o rio está situado já cessou há longo período de tempo.

3.3 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIS

Hobbs, em 1912, definiu o termo lineamento para “caracterizar as relações espaciais de feições como cristas, bordas de áreas elevadas, alinhamentos de contatos geológicos ou tipos petrográficos, ravinas ou vales e fraturas e zonas de falhas visíveis como tais” (Veneziani 1987).

Etchebehere *et al.* (2007) definiram lineamentos como “feições lineares topográficas ou tonais observáveis nas imagens fotográficas, que podem representar descontinuidades estruturais”.

Bricalli (2016) considera os lineamentos como “feições geológicas lineares identificáveis no terreno e em imagens de sensores remotos, que podem ser associadas a estruturas de subsuperfície, especialmente às linhas de fraqueza pré-cambrianas”. Os estudos dessas feições têm sido fundamentais para compreender como a neotectônica atua no Brasil de forma geral.

O mapeamento de lineamentos de drenagem e morfoestruturais pode levar ao reconhecimento de falhas e descontinuidades no terreno, visto que estes representam importantes elementos para interpretar o contexto tectônico de uma determinada área (Andrades Filho & Fonseca 2009). No mapeamento são analisados os lineamentos positivos (altos morfoestruturais): feições salientes no terreno, como cristas, escarpas e limites de áreas elevadas; e os lineamentos negativos (baixos morfoestruturais): vales e linhas de drenagem que podem indicar zonas de fraqueza estrutural.

Lineamentos de drenagem e morfoestruturais são observados, por meio do sensoriamento remoto, em imagens aeroespaciais da superfície terrestre.

Com base em Florenzano (2008), pode-se resumir a contribuição das imagens aeroespaciais no estudo e mapeamento geomorfológico em três categorias: 1) base cartográfica para o lançamento de informações e apoio de campo; 2) extração de dados geomorfológicos e na elaboração de cartas morfométricas, cartas de risco (erosão e inundação) e cartas geomorfológicas completas; 3) análise integrada e mapeamento da paisagem.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil ocupa uma área de aproximadamente 54,99 km² e possui um perímetro de 35,22 km. Seu canal principal é o de maior extensão, o qual possui 14,86 km de comprimento.

Segundo Christofletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais a fim de se estabelecer a hierarquia fluvial. A partir de então, processam-se as análises lineares, areais e hipsométricas.

4.1.1 Hierarquia Fluvial

O ordenamento dos canais foi definido segundo o sistema proposto por Strahler (1952) e obtido na tabela de atributos da rede hidrográfica elaborada pelo IGAM. A bacia possui 179 canais classificados em 5 ordens, o que a caracteriza como uma bacia de quinta ordem. Os canais foram distribuídos em 134 de 1ª Ordem, 34 de 2ª Ordem, 8 de 3ª Ordem, 2 de 4ª Ordem e 1 canal de 5ª Ordem (Tabela 4.1 e Figura 4.1). Neste trabalho, o canal de maior ordem é o que dá nome à bacia de estudo.

Tabela 4.1 – Hierarquia fluvial

Hierarquia	Número de Canais	Comprimento Total (km)	Comprimento Médio (km)
1ª Ordem	134	79,04	0,59
2ª Ordem	34	30,14	0,89
3ª Ordem	8	13,11	1,64
4ª Ordem	2	8,51	4,26
5ª Ordem	1	4,88	-
Total:	179	135,67	-

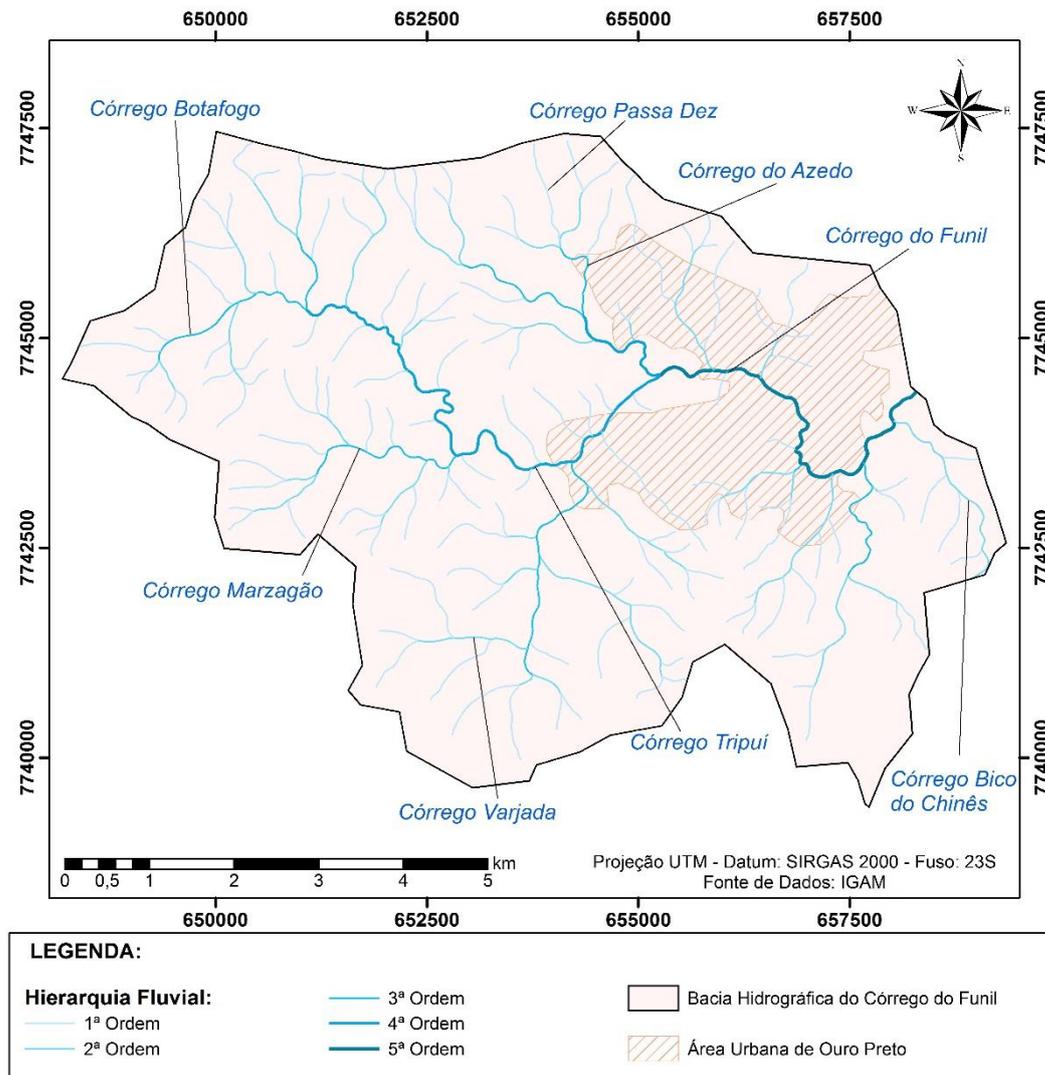


Figura 4.1 - Mapa de Hierarquia Fluvial.

Lima (2006) afirmou que a geometria dos canais de ordem mais inferior são os principais indicadores da movimentação neotectônica, enquanto a geometria dos de ordem mais elevada estão relacionados a estruturas regionais mais antigas.

4.1.2 Padrões de Drenagem

O padrão de drenagem predominante é o dendrítico, tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais (Christofolletti 1980). O que não se aplica no caso desta bacia, visto que a drenagem escoia majoritariamente sobre rochas dos grupos Sabará e Piracicaba, caracterizados, principalmente, por rochas clásticas, vulcânicas, xistos, filitos e dolomitos, de diferentes resistências e significativamente deformadas (Figura 4.2).

Também é possível observar o padrão de drenagem paralela na porção central da bacia e a oeste, ao longo dos córregos Tripuí e Marzagão, afluentes do Córrego do Funil. Esse padrão, segundo Christofolletti (1980), localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência quase paralela das correntes fluviais. Na bacia, esse padrão ocorre sobre filitos da Formação Fecho do Funil e sobre metavulcânicas do Grupo Sabará, em uma região onde há falhas de empurrão (Figura 4.2).

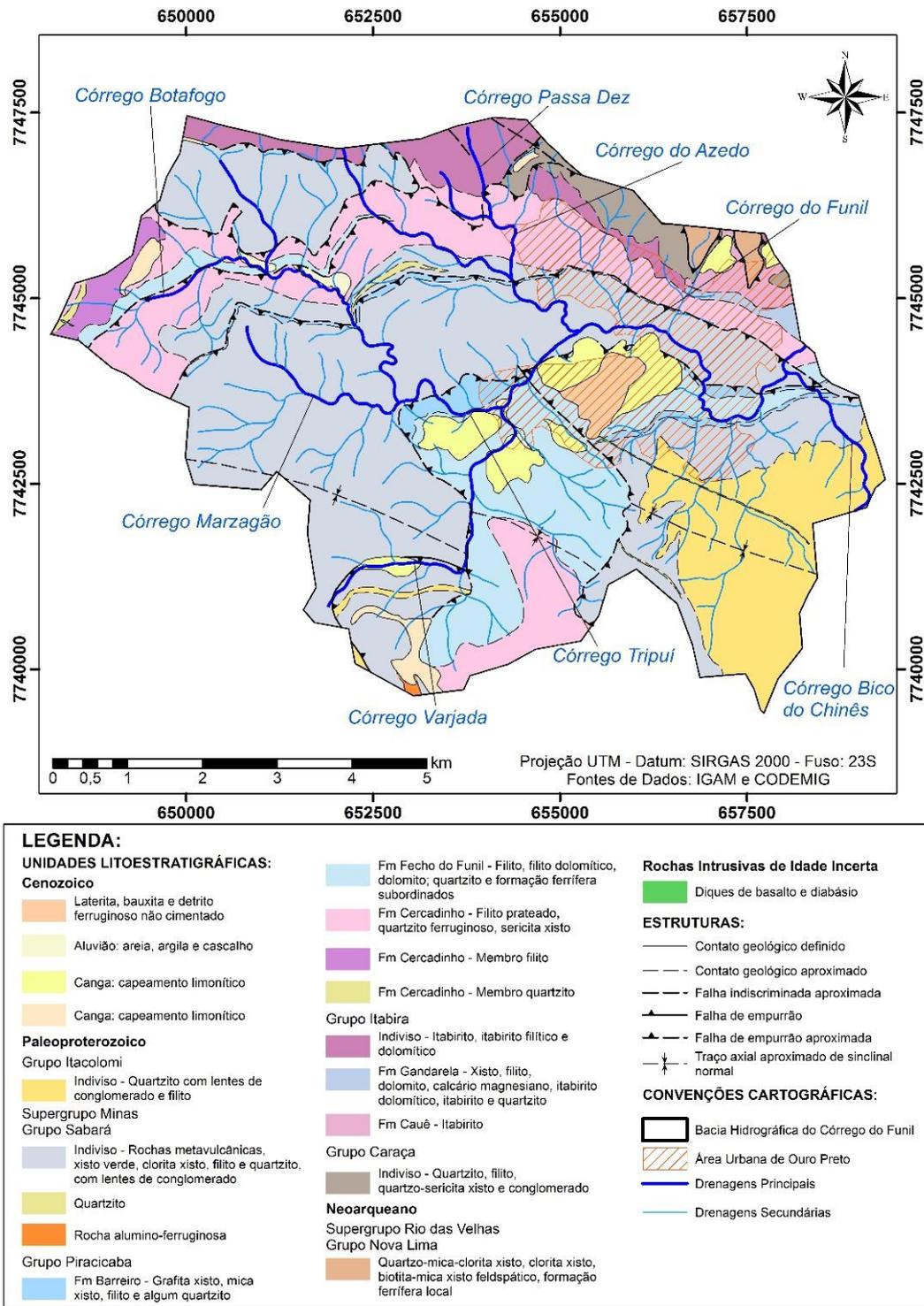


Figura 4.2 – Padrões de drenagem e geologia local.

4.1.3 Análise Linear da Rede Hidrográfica

A relação de bifurcação (R_B) (Tabela 4.2) é de 3,94 entre os canais de 1ª e 2ª Ordem, 4,25 entre os canais de 2ª e 3ª Ordem e 4,00 entre os canais de 3ª e 4ª ordem.

Tabela 4.2 – Relação de Bifurcação (R_B).

Canais	Relação de Bifurcação (R_B)
1ª - 2ª Ordem	3,94
2ª - 3ª Ordem	4,25
3ª - 4ª Ordem	4,00

Segundo Horton (1945), valores entre 3 e 4 para a relação de bifurcação indicam bacias montanhosas ou altamente dissecadas. A relação de bifurcação é estável e apresenta pequenas variações entre diferentes regiões ou ambientes, exceto onde há intenso controle estrutural (Strahler 1957). França (1968) estabelece que valores maiores podem indicar solos menos permeáveis e valores menores, solos mais permeáveis.

A relação do comprimento médio dos canais de cada ordem (R_{LM}) calculada aumenta com o aumento da ordem hierárquica dos canais (Tabela 4.3), o que indica um estado geomorfológico maduro da bacia (Singh & Singh 1997 *in* Vittala *et al.* 2004). Essa maturidade está relacionada a taxas moderadas de erosão (Harsha *et al.* 2020).

Tabela 4.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (R_{LM}).

Canais	Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (R_{LM})
1ª - 2ª Ordem	1,51
2ª - 3ª Ordem	1,84
3ª - 4ª Ordem	2,60

Já os valores da relação entre os índices de bifurcação (R_B) e do comprimento médio dos canais (R_{LM}) (Tabela 4.4), indicam baixa capacidade de armazenamento de água durante o período chuvoso e alta taxa de erosão ($R_{LB} < 0,67$; Mesa 2006).

Tabela 4.4 - Relação entre os índices de bifurcação e do comprimento médio dos canais (R_{LB}).

Canais	Relação entre os índices de bifurcação e do comprimento médio dos canais (R_{LB})
1ª - 2ª Ordem	0,38
2ª - 3ª Ordem	0,43
3ª - 4ª Ordem	0,65

O índice de sinuosidade (I_s) para o canal principal é de 1,70, caracterizando-o como um canal sinuoso ($I_s > 1,5$; Dey 2014).

4.1.4 Análise Areal da Rede Hidrográfica

Na análise areal da bacia, obtiveram-se os valores de 0,56 para o índice de circularidade (I_C) e 0,54 para o fator de forma (F_f), o que indica uma bacia circular ($I_C > 0,51$; Miller 1953), com crescente ação erosiva ($F_f > 0,45$; Altaf *et al.* 2013) e mais propensa a inundações nas proximidades do canal principal em seu baixo curso, uma vez que seu escoamento superficial é mais intenso. Lima *et al.* (2007) relacionam o índice de circularidade com o grau de permeabilidade da rocha, quanto mais permeáveis forem as rochas e os solos, mais alongada será a bacia.

O valor obtido para a densidade de drenagem (D_d) foi de 2,47 km/ km², o qual, de acordo com Beltrame (1994), qualifica a densidade como alta, ou seja, possui alta tendência ao escoamento superficial e a enxurradas. Em locais de rochas impermeáveis, a densidade pode indicar valores mais elevados (Lana *et al.* 2001).

O coeficiente de manutenção (C_M) obtido foi de 404,86 m²/m e a densidade hidrográfica (D_h) foi de 2,44 canais/ km², o que indica abundância de canais e mostra também que, em média, as rochas da região apresentam baixa permeabilidade, o que facilita o escoamento superficial (Alves e Castro 2003).

A extensão do percurso superficial (E_{PS}) é de 0,20 km e representa a distância percorrida pela água pluvial antes de se integrar ao curso d'água. O valor obtido é considerado alto e indica que o escoamento é maior que a infiltração (Sousa & Rodrigues 2012).

4.1.5 Análise Hipsométrica

Foram encontradas na bacia todas as classes de relevo definidas por Embrapa (1979). O relevo predominante é o fortemente ondulado, presente em 56,71% da área total da bacia. As classes e suas áreas de abrangência correspondentes estão detalhadas na Tabela 4.5 e na Figura 4.3.

Segundo Embrapa (1979), o relevo forte ondulado é caracterizado por uma topografia movimentada formada por outeiros e/ou morros, com elevações de 100 a 200 metros de altitude relativa e com predominância de declives de 20 a 45%. Nesse tipo de relevo ocorre ação generalizada do escoamento superficial e origina canaletas.

Os pontos mais notáveis onde ocorre relevo plano, correspondente a declives de 0 a 3%, são no Córrego Marzagão, onde há uma barragem homônima, pertencente à empresa Hindalco, sobre rochas do Grupo Sabará Indiviso; e no Córrego Tripuí, sobre rochas das formações Fecho do Funil e Cercadinho em um local com diversas falhas de empurrão, como observado anteriormente na Figura 4.2.

Tabela 4.5 – Declividade e Classes de Relevo.

Declividade (%)	Classe (Embrapa 1979)	Área (km ²)	%
0 a 3	Plano	0,47	0,86
3 a 8	Suave Ondulado	2,42	4,39
8 a 20	Ondulado	11,28	20,51
20 a 45	Forte Ondulado	31,19	56,71
45 a 75	Montanhoso	8,78	15,97
> 75	Escarpado	0,86	1,56

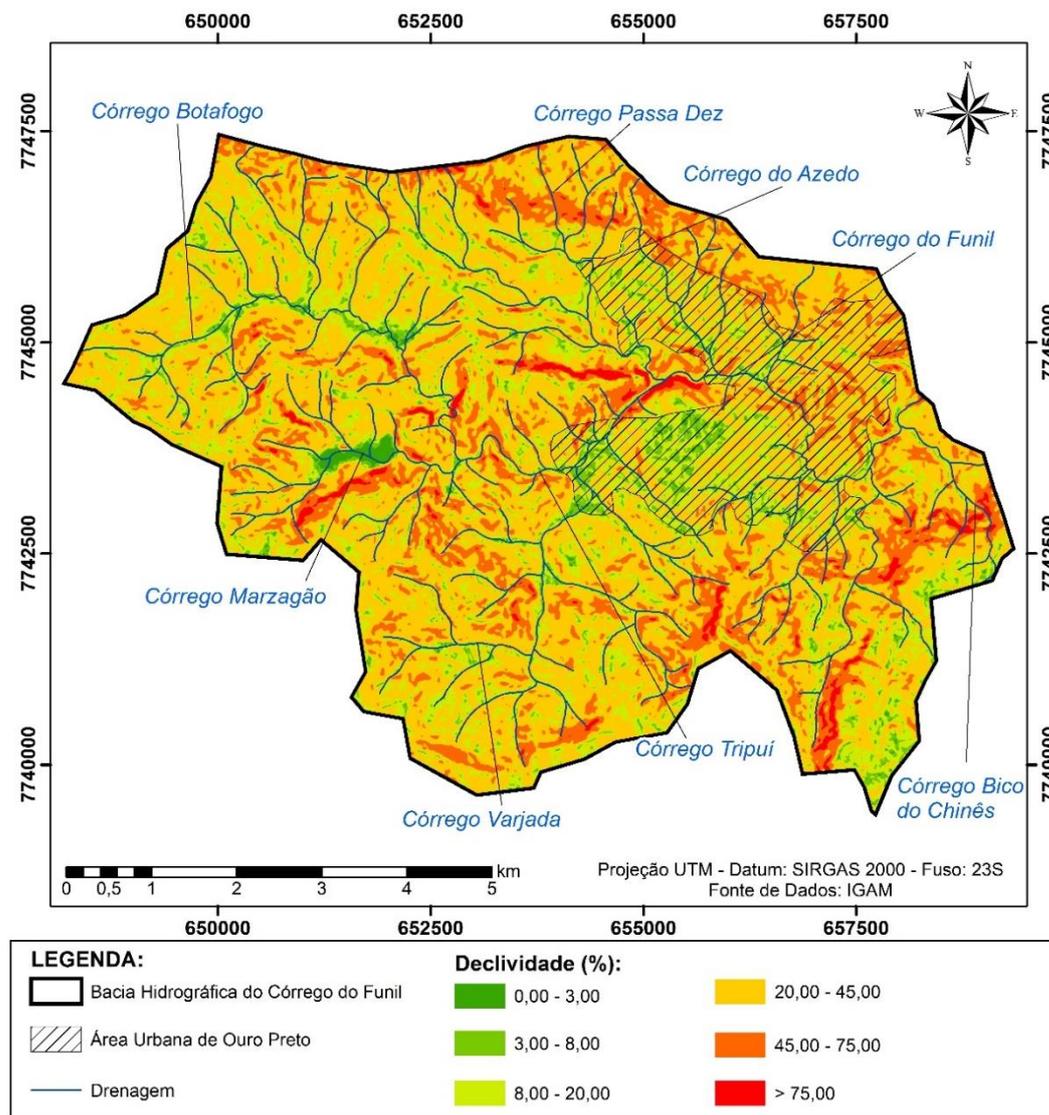


Figura 4.3 – Mapa de Declividade.

O intervalo altimétrico da bacia é de 980 a 1.640 metros, com as altitudes médias e medianas de 1.253 e 1.247 metros, respectivamente, como se observa na Tabela 4.6 e nas figuras 4.4 e 4.5.

As cotas mais elevadas estão a norte, na Serra de Ouro Preto, sobre os itabiritos do Grupo Itabira e a sudeste, na Serra do Itacolomi, sobre os quartzitos do Grupo Itacolomi. A maior parte da bacia está entre as cotas de 1178 a 1310, representando 40,18% da sua área total. Em geral, as cotas aumentam no sentido nordeste-sudoeste (Figura 4.4).

Ao analisar a curva hipsométrica (Figura 4.5), pode-se definir o relevo como em estágio maduro, característico de regiões moderadamente erodidas (Harsha *et al.* 2020). Tanto nas regiões de maiores elevações, como nas de menores, é possível notar uma verticalização na curva, o que

demonstra alta variação altimétrica em áreas relativamente menores. Isso indica que o escoamento é rapidamente drenado nesses locais (Harsha *et al.* 2020).

Tabela 4.6 – Intervalo Altimétrico.

Intervalo Altimétrico (m)	Área (km ²)	%
980 a 1046	0,64	1,17
1046 a 1112	5,51	10,03
1112 a 1178	9,85	17,91
1178 a 1244	11,15	20,27
1244 a 1310	10,94	19,90
1310 a 1376	8,99	16,34
1376 a 1442	4,89	8,90
1442 a 1508	1,73	3,14
1508 a 1574	0,63	1,15
1574 a 1640	0,65	1,18

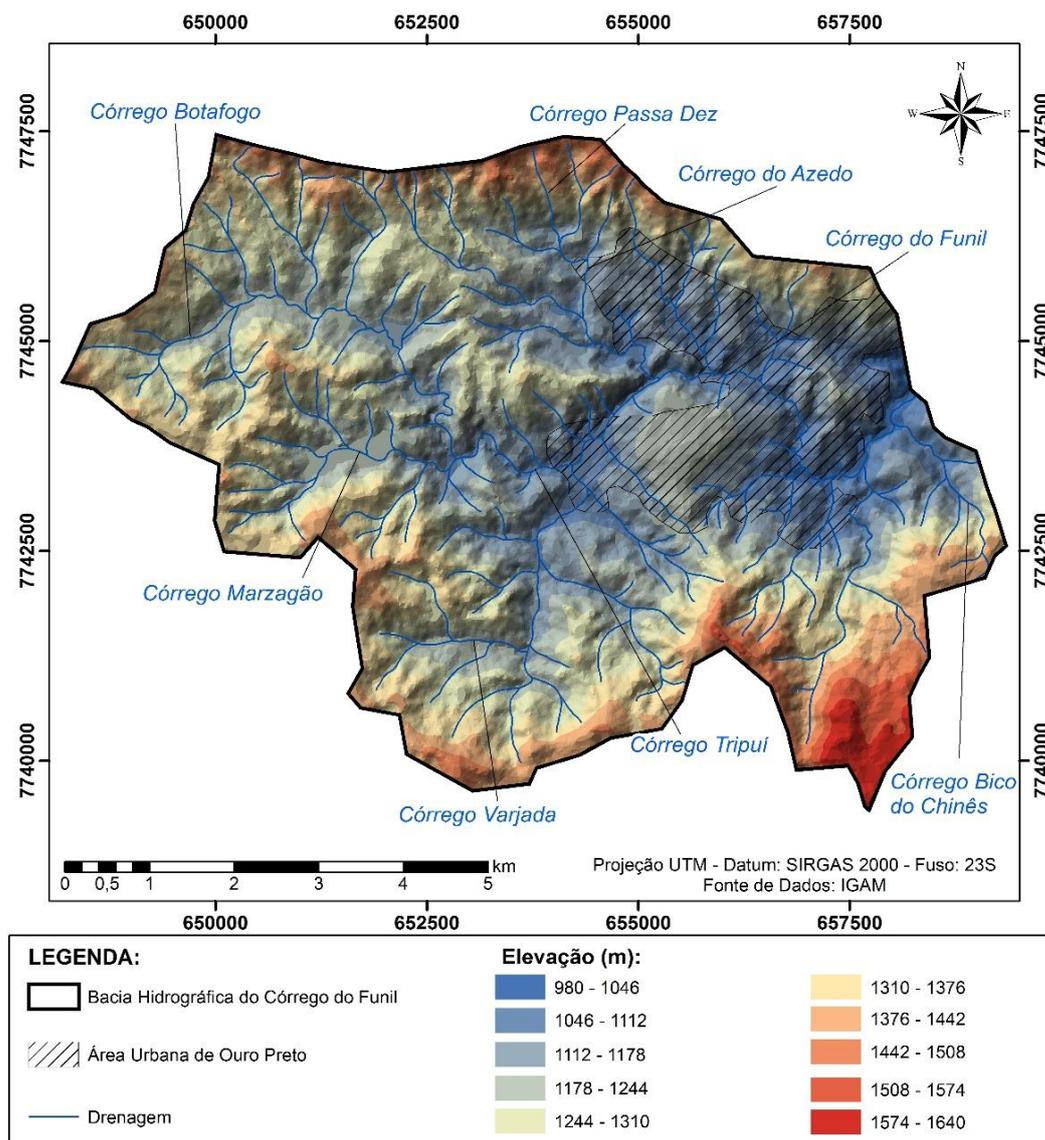


Figura 4.4 – Mapa Hipsométrico.

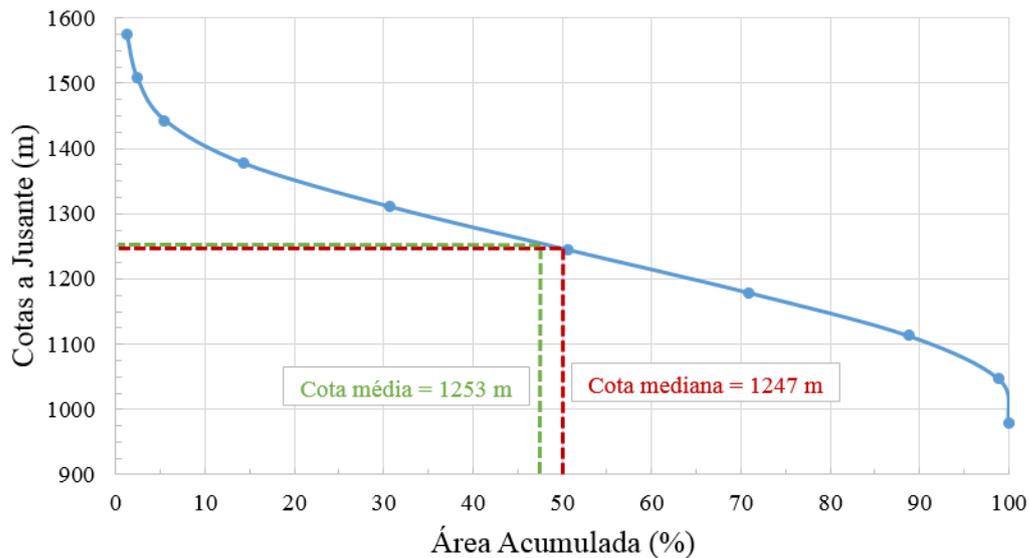


Figura 4.5 – Curva Hipsométrica.

A cota da desembocadura do canal principal é de 1.010 metros e a cota do ponto mais alto da bacia é de 1.640 metros, o que resulta em uma amplitude altimétrica (H_m) de 630 metros. A partir da amplitude altimétrica obtiveram-se a relação de relevo (R_R) de 0,04 e o índice de rugosidade (I_R) de 1,54.

Esses valores indicam alto potencial erosivo e uma superfície rugosa propícia a grande escoamento superficial, com elevado potencial para ocorrência de cheias e alta transmissividade hidráulica, já que indica que todos os pontos da bacia estão mais próximos da rede de drenagem, convertendo o fluxo de vertente em fluxo fluvial em menor tempo (Cherem 2008).

4.2 NEOTECTÔNICA

Com o uso do *software Knickpoint Finder*, elaborado por Salamuni *et al.* (2013), foram gerados na bacia os RDE_{TRECHO} em 960 pontos (*knickpoints*) onde há quebras de relevo notáveis, que são identificadas como anomalias de drenagem possivelmente criadas a partir de processos neotectônicos (Salamuni *et al.* 2013).

As regiões onde mais se concentram os *knickpoints* (Figura 4.6) são no Córrego Marzagão, a jusante da barragem e na sua confluência com o Córrego Tripuí, e nos leitos das drenagens a leste da bacia, a jusante da Serra do Itacolomi e em direção ao ponto de desembocadura do Córrego do Funil. As anomalias nessas regiões podem estar associadas a falhas, mudanças litológicas, diques (figuras 4.6 e 4.7) ou a processos erosivos e/ou intempéricos que agem de forma diversa em litotipos variados, devido às diferenças de resistência entre rochas de natureza diversificadas (Salamuni *et al.* 2013).

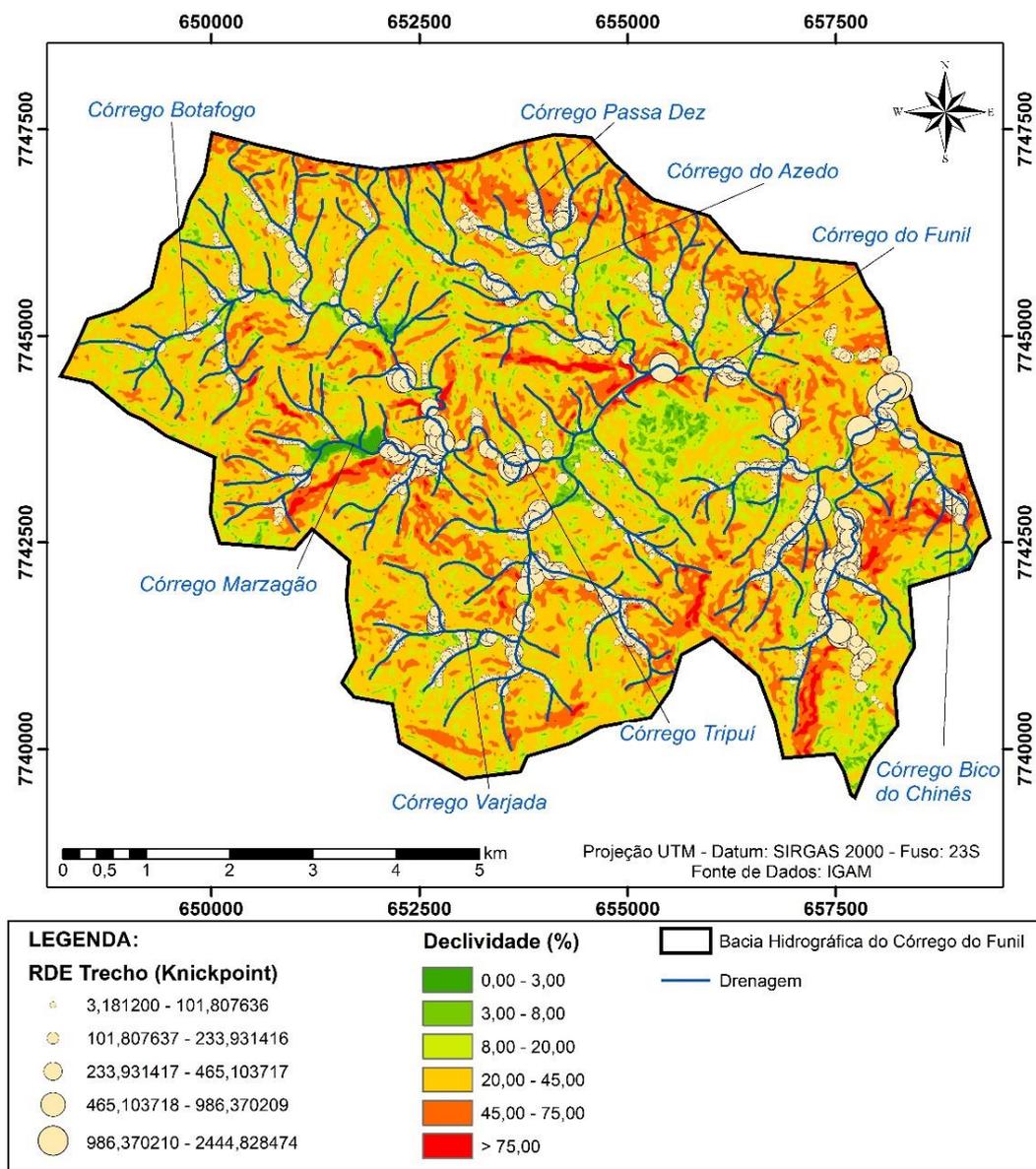


Figura 4.6 - Índice Relação Declividade-Extensão (RDE).

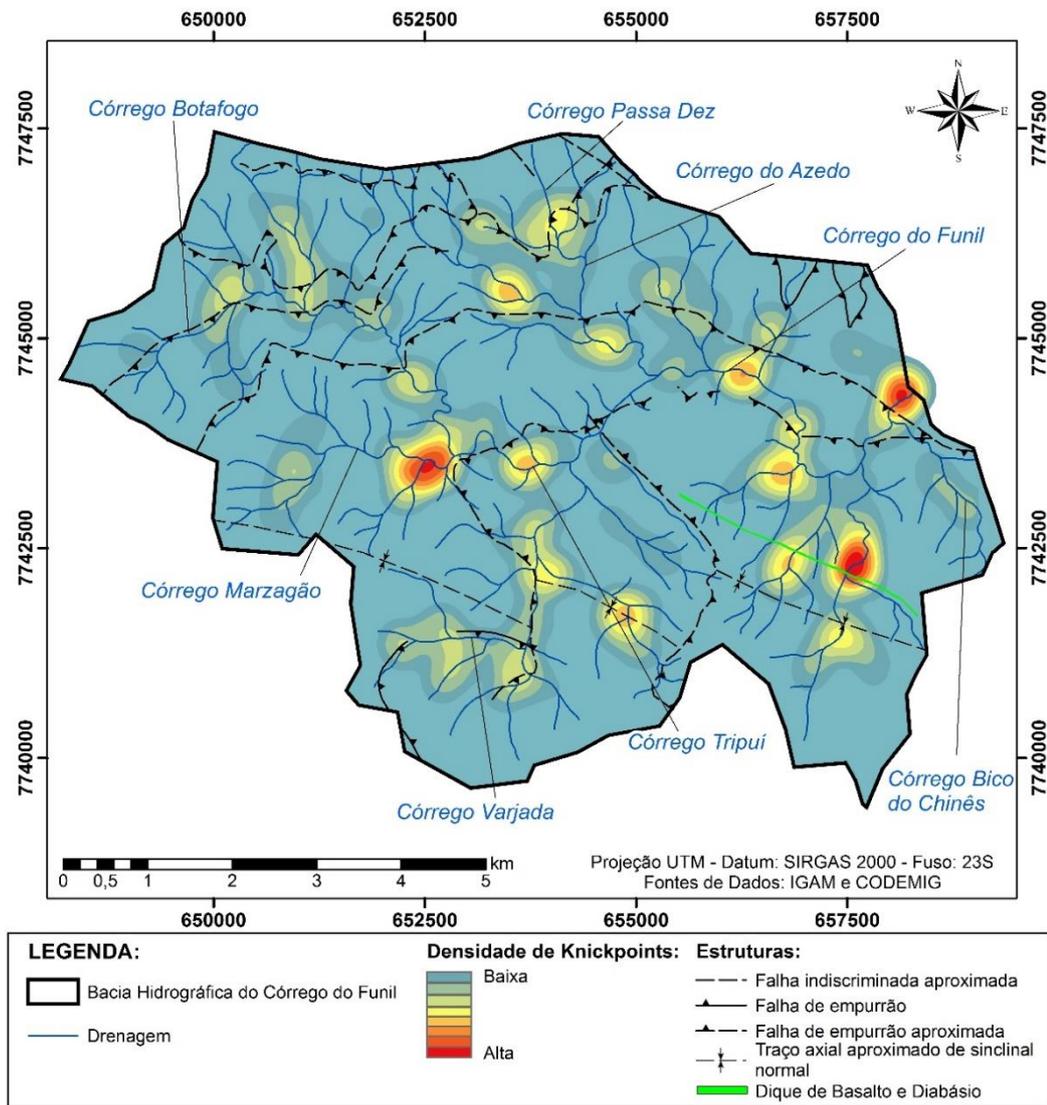


Figura 4.7 – Densidade de *knickpoints*.

O quociente entre os valores do RDE_{TRECHO} e RDE_{TOTAL} do curso analisado é o valor do RDE_{REAL} , utilizado na análise final acerca de influência tectônica (Barbosa *et al.* 2013). De acordo com Seeber & Gornitz (1983), o RDE_{REAL} é dividido em anomalias de primeira ordem ($RDE_{REAL} > 10$) e anomalias de segunda ordem ($2 < RDE_{REAL} < 10$). Valores entre 0 e 2 indicam uma região equilibrada. As anomalias de primeira ordem estão relacionadas aos *knickpoints*, geradas a partir da ampliação do gradiente topográfico.

Segundo Silva *et al.* (2016), as anomalias de primeira ordem indicam regiões com desajustes mais acentuados e elevada declividade, enquanto as anomalias de segunda ordem indicam regiões com desajustes mais suaves ao longo do curso. Essas anomalias, além de influenciarem no escoamento superficial, no transporte e deposição de sedimentos e nos processos de erosão, podem indicar regiões

controladas por movimentações tectônicas, por fatores geológicos e até antrópicos que alteram a condição natural do curso d'água.

Dos 960 trechos analisados, 140 apresentaram anomalias de primeira ordem ($RDE_{REAL} > 10$; Seeber & Gornitz 1983) (Figura 4.8).

Há presença de anomalias de primeira ordem próximas à Barragem do Marzagão e em alguns bairros do município de Ouro Preto, como Vila Aparecida (Barra), Cabeças, Nossa Senhora do Carmo (Pocinho), Novo Horizonte e Saramenha. A presença de anomalias de primeira ordem na zona urbana de Ouro Preto pode reforçar o risco de escorregamento das encostas ou abatimentos de antigas minas subterrâneas. Nos bairros como Nossa Senhora do Carmo e Novo Horizonte, que estão sobre depósitos de encosta provenientes da Serra do Itacolomi, e no Bairro Saramenha, as anomalias podem indicar riscos para duas importantes via de acesso da região, a Rodovia dos Inconfidentes e a estrada para Ouro Branco (MG-129), além de indicar impactos diretos na comunidade com possíveis abalos locais.

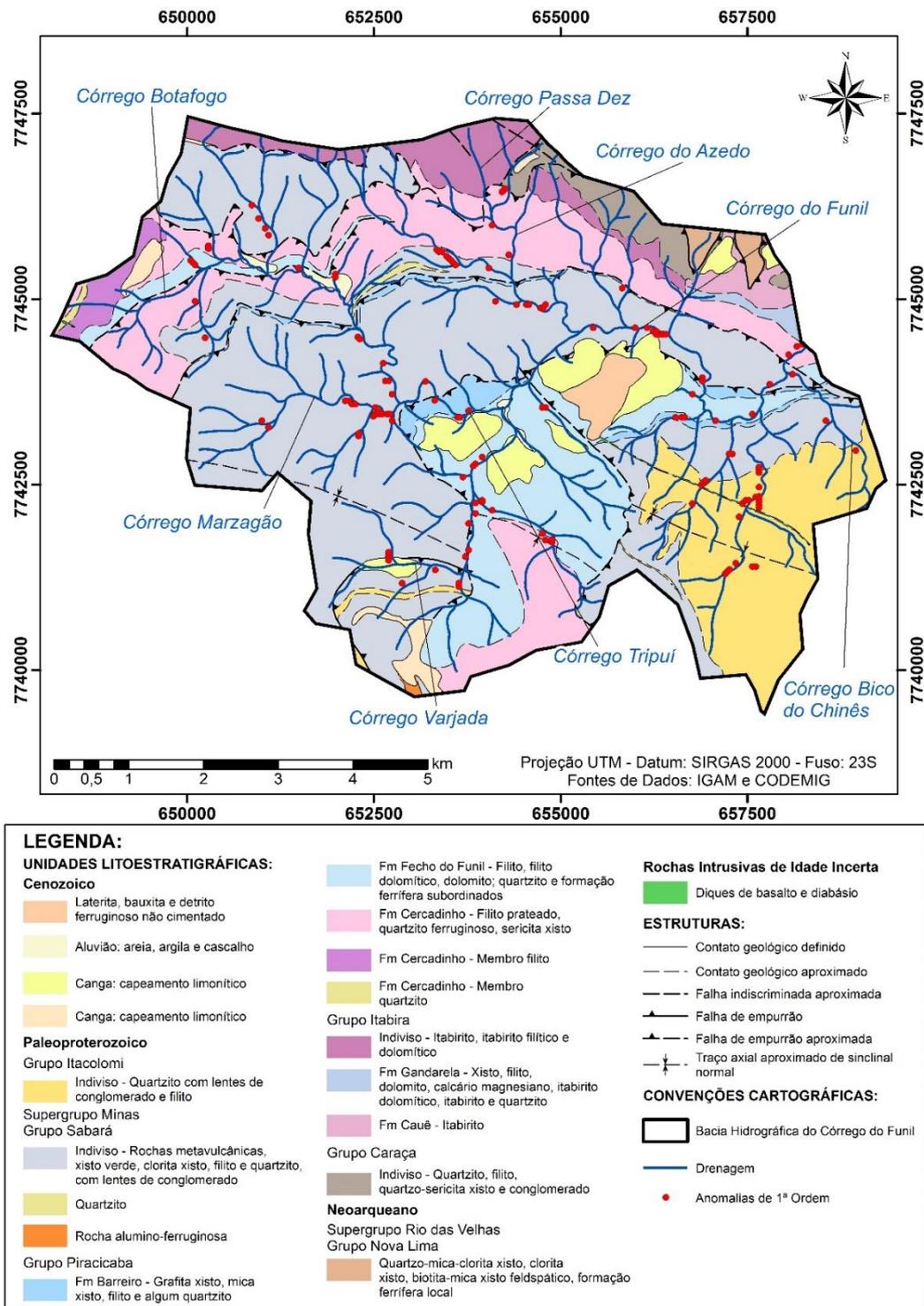


Figura 4.8 – Anomalias de 1ª Ordem (RDE_{REAL}).

Os fatores de Assimetria da Bacia (FAB) e de Simetria Topográfica Transversal ($FSTT$) avaliam a existência de basculamento tectônico na bacia (Vargas *et al.* 2015) e têm por objetivo

visualizar o sentido preferencial deste e se o seu valor é alto ou baixo (Firmino 2015). Foram analisadas oito seções distribuídas ao longo do canal principal

O valor de *FAB* encontrado foi de 59,94 e indica provável basculamento da margem direita do canal ($FAB > 50$; Hare & Gardner 1985), ou seja, há um possível soerguimento do bloco a sul do canal principal. Já os valores do *FSTT* (Tabela 4.7) foram considerados baixos, sendo o mais alto 0,42, com distanciamento de 1,23 km entre o canal principal e o eixo central da bacia, em direção à margem esquerda, como mostra a Figura 4.9. O *FSTT* sugere, assim como o *FAB*, provável basculamento da margem direita do canal.

Tabela 4.7 – Valores encontrados de *FSTT*.

Seção	D_a (km)	D_d (km)	FSTT	Direção do Distanciamento
1	0,41	2,21	0,18	Margem direita
2	0,49	2,72	0,18	Margem esquerda
3	0,90	2,79	0,32	Margem esquerda
4	0,47	3,42	0,14	Margem esquerda
5	0,28	4,01	0,07	Margem direita
6	0,10	3,46	0,03	Margem esquerda
7	1,11	3,09	0,36	Margem esquerda
8	1,23	2,97	0,42	Margem esquerda
9	0,67	3,02	0,22	Margem esquerda

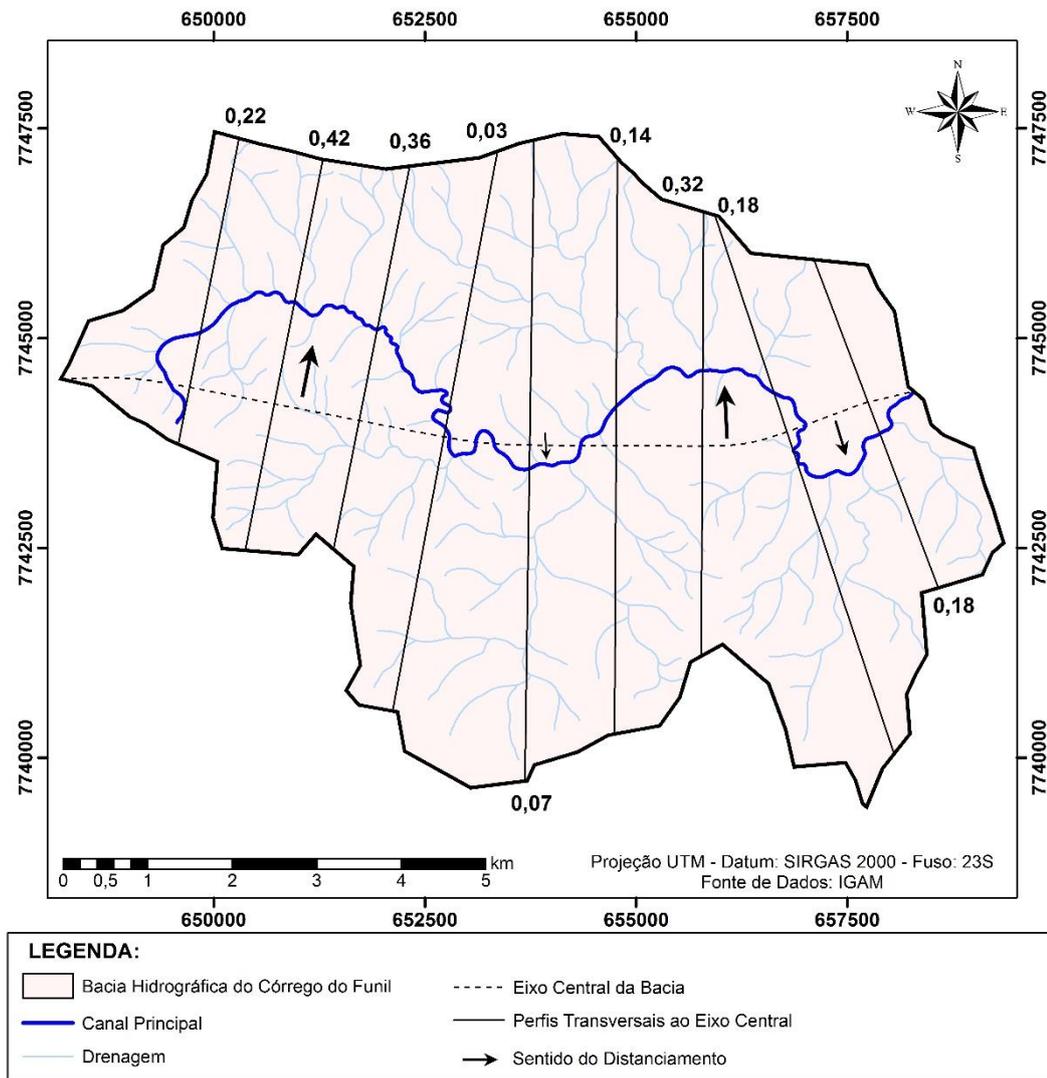


Figura 4.9 – FSTT da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil e sentidos do distanciamento.

Para o cálculo da Razão Fundo/Altura do Vale (*RFAV*), foram definidas quatro seções com extensões que abrangem os divisores esquerdo e direito do vale, perpendiculares ao canal principal e localizadas próximas às anomalias de primeira ordem encontradas no cálculo do *RDE_{REAL}* (Figura 4.10).

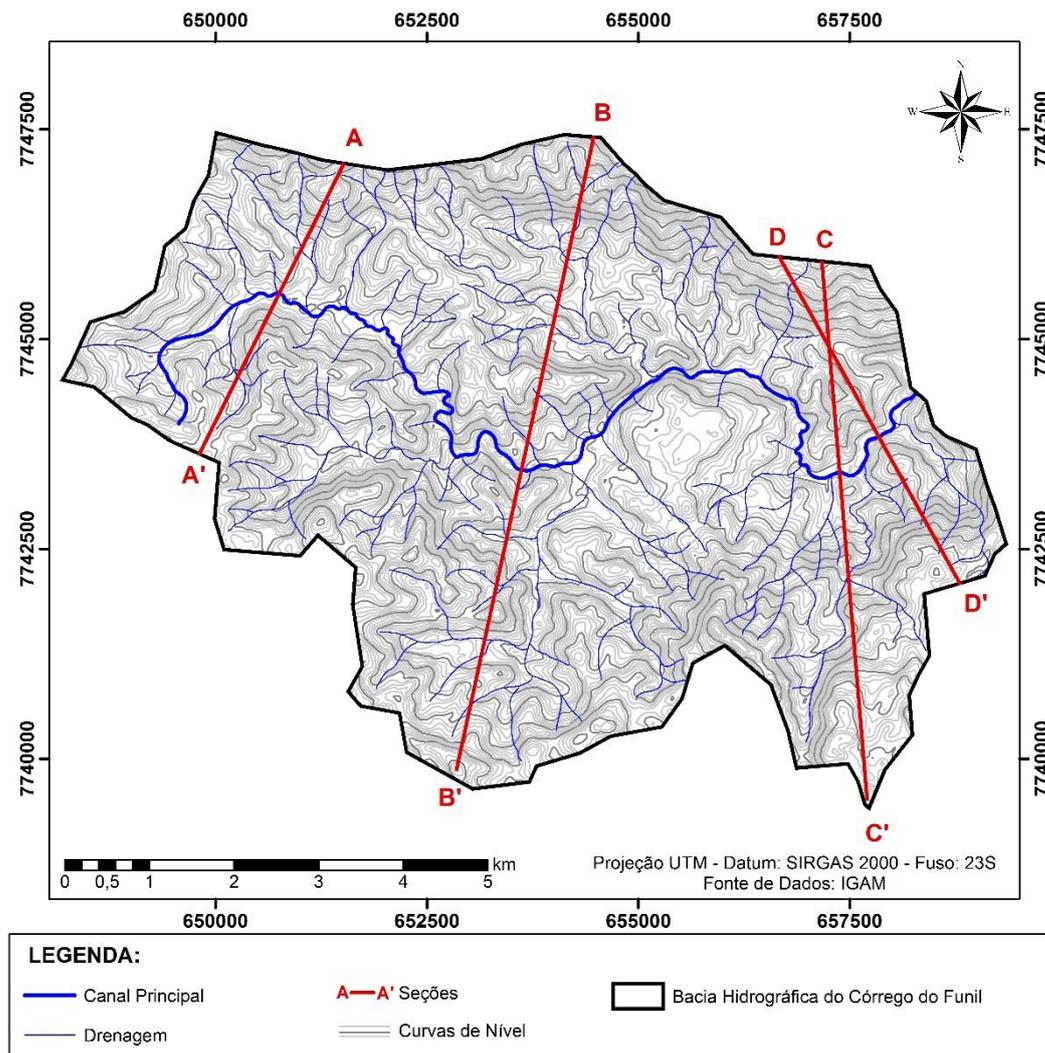


Figura 4.10 – Seções para o cálculo de *RFAV*.

Segundo Barbosa *et al.* (2013), valores de *RFAV* distinguem vales que possuem superfície ampla no fundo de vales estreitos, indicando se o rio está escavando ativamente o substrato rochoso, formando um vale em formato de “V”, característica comum de regiões tectonicamente ativas e soergidas há pouco tempo, ou se está em fase de erosão fluvial das vertentes, geralmente em terras baixas, onde o soergimento tectônico cessou há muito tempo, e formam vales suaves em formato de “U”.

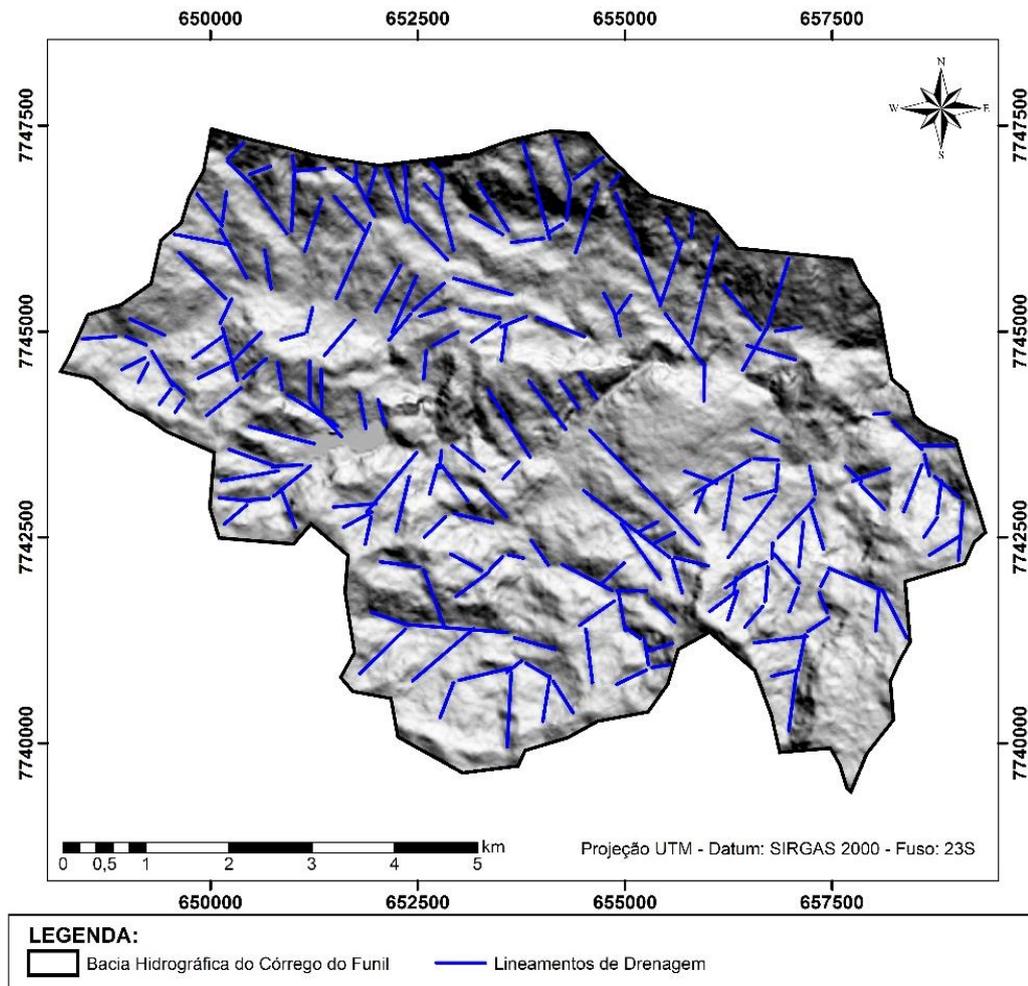
Os valores de *RFAV* encontrados (Tabela 4.8) são considerados baixos ($RFAV < 1$; Andrades Filho 2010) e indicam considerável influência de tectônica recente na região e presença de vales estreitos e profundos (Wells *et al.* 1988), em formato de “V”, refletindo canais que dissecam ativamente o vale, em resposta ao aprofundamento do nível de base local (Machado & Ferreira 2014).

Tabela 4.8 – Resultados da *RFAV*.

Seção	L_{fv} (m)	A_{dd} (m)	A_{de} (m)	E_{fv} (m)	RFAV
A-A'	113,14	1340	1440	1210	0,62854556
B-B'	124,76	1520	1520	1110	0,30429439
C-C'	133,798	1640	1420	1050	0,27874583
D-D'	72,9344	1410	1380	1040	0,20544901

4.3 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIS

Foram traçados 201 lineamentos de drenagem, dos quais 145 são referentes às drenagens de 1ª Ordem e 56 são referentes às drenagens de 2ª Ordem (Figura 4.11).

**Figura 4.11** – Lineamentos de Drenagem

A partir da análise de frequência dos azimutes desses lineamentos, foi identificada a direção preferencial N-S pelo diagrama de rosetas (Figura 4.12a), tanto nos lineamentos das drenagens de 1ª ordem (Figura 4.12b), como nos das drenagens de 2ª Ordem (Figura 4.12c). É possível identificar também uma alta frequência de lineamentos na direção NE-SW.

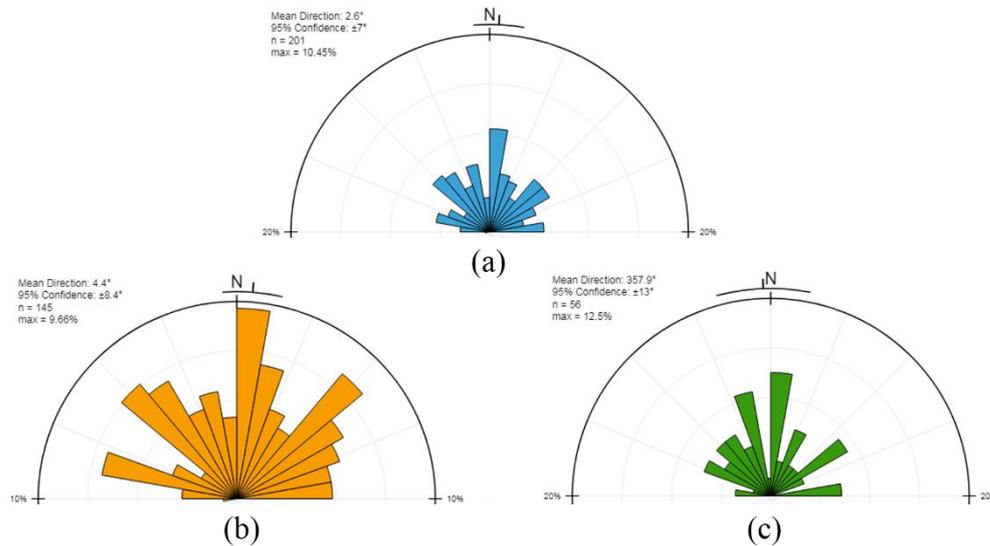


Figura 4.12 – Rosetas dos lineamentos de drenagem de 1ª e 2ª Ordem (a), dos lineamentos de drenagem de 1ª Ordem (b) e dos lineamentos de drenagem de 2ª Ordem (c).

Já para a análise dos lineamentos morfoestruturais, foram traçados 60, como se observa na Figura 4.13.

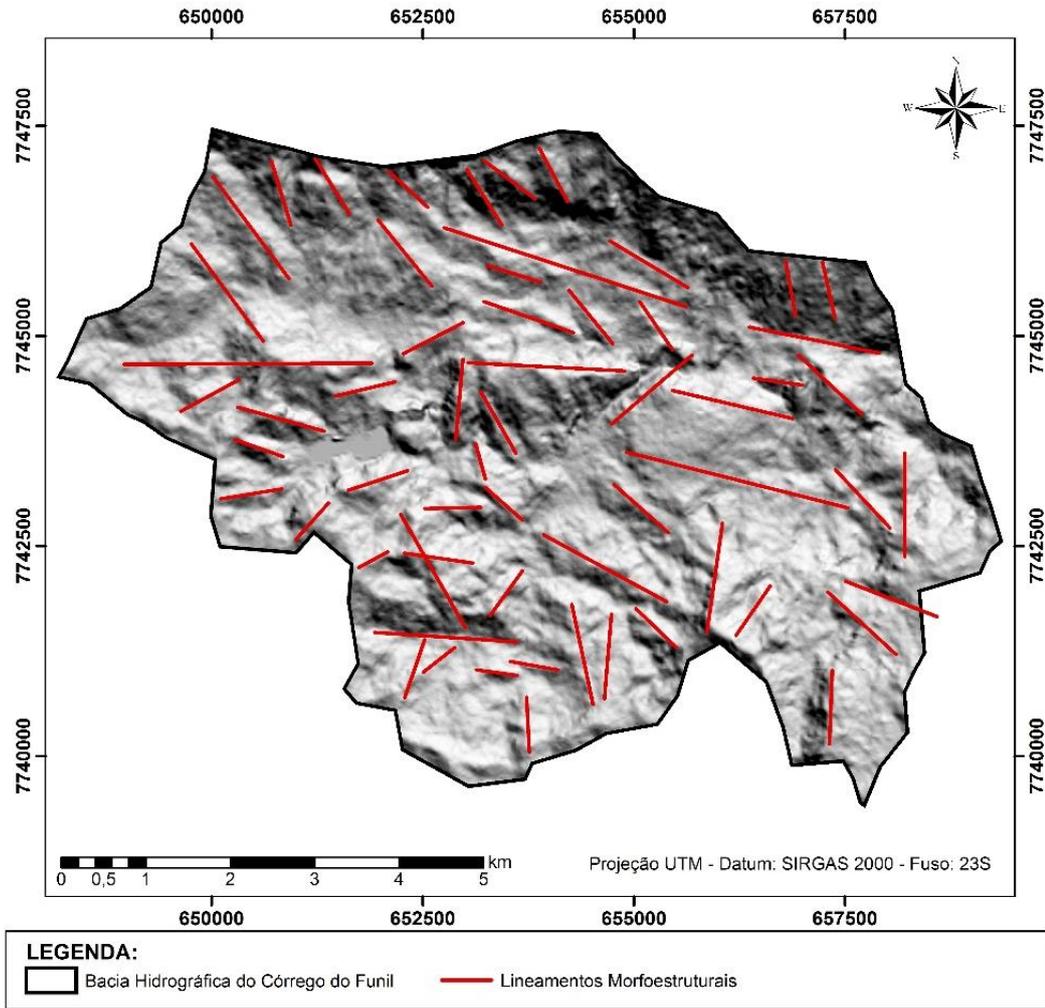


Figura 4.13 – Lineamentos Morfoestruturais.

Os lineamentos traçados possuem direção preferencial NW-SE, como mostra o diagrama de roseta da Figura 4.14. É possível observar também extensos lineamentos e significativa frequência na direção E-W.

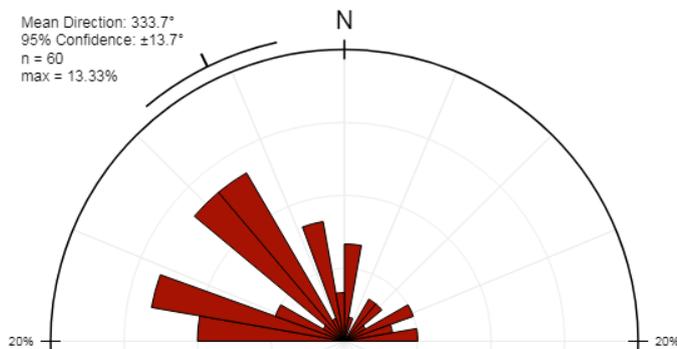


Figura 4.14 – Roseta dos lineamentos morfoestruturais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

A partir da aplicação das metodologias apresentadas, os resultados obtidos neste estudo indicam uma bacia circular, de relevo forte ondulado e altamente dissecado com elevada taxa de erosão e intenso escoamento superficial. Há propensão a inundações no baixo curso do canal principal, o qual é caracterizado como sinuoso.

A bacia possui abundância de canais, em sua maioria no padrão dendrítico, que escoam sobre rochas deformadas, de diferentes resistências e, no geral, com baixa permeabilidade, o que facilita enxurradas e indica baixa capacidade de armazenamento de água com pouca infiltração.

Os índices de *RDE* encontrados na análise neotectônica mostram que as anomalias de primeira ordem podem estar relacionadas às falhas de empurrão e aos diferentes litotipos presentes na bacia, resultando em processos erosivos diferenciais e quebras de relevos significativas. Uma atenção especial deve ser dada a essas anomalias na zona urbana do município de Ouro Preto, por indicarem impactos diretos na comunidade, como escorregamentos das encostas e possíveis abalos locais.

A bacia apresenta basculamento em sua margem direita. Tanto o *FAB* como o *FSTT* sugerem o soerguimento da porção a sul do canal principal, em um bloco localizado entre duas importantes falhas de empurrão, provavelmente controlando essa tendência de basculamento.

Os resultados de *RFAV* indicam aprofundamento do nível de base local, com drenagens que dissecam ativamente o terreno formando vales encaixados em formato de “V”, comum em locais onde há soerguimentos e atividades tectônicas ativas ou recentes.

Com a análise dos lineamentos de drenagem e morfoestruturais, foram identificadas as direções preferenciais N-S e NW-SE, respectivamente. Observa-se, por meio dos mapas gerados, certa conformidade dos cursos d’água com as morfoestruturas, principalmente os de 1ª Ordem.

Por fim, a metodologia e os resultados apresentados mostram sua eficácia na caracterização e interpretação da dinâmica geral de uma bacia hidrográfica. Análises mais precisas das sub-bacias, e das anomalias nelas presentes, podem ser feitas a partir de dados mais detalhados das redes de drenagem e trabalhos de campo em locais vistos como críticos com o objetivo de coletar informações e aprofundar os estudos que auxiliem no ordenamento territorial local e na predição de potenciais impactos diretos sobre a comunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F., Marshak S. 1998. The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. *Precambrian Research*, **90**: 29-58.
- Alkmim F.F., Teixeira W. 2017. The Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Quadrilátero Ferrífero In: Heilbron M., Cordani U.G., Alkmim F.F. (eds.). São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent. Springer International Publishing, Cham, pp. 71–94.
- Almeida L. G.; Castro P.T. A., Endo I., Fonseca M. A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco: Uma Revisão Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **35 (2)**: 177-186.
- Altaf R., Meraj G., Romshoo S.A. 2013. Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. *Geography Journal*, 1-14 p.
- Alves J.M.P. & Castro P.T.A. 2003. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, **33(2)**:117-127.
- Andrades Filho C. & Fonseca L.M.G. 2009. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, *Anais*, **14**:3151-3158.
- Baltazar O.F., Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Achaean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, **32**:471–499.
- Barbosa, S. E. S. 2004. *Análise de dados hidrogeológicos e regionalização de vazões da Bacia do Rio do Carmo*. Núcleo de Pesquisa em Recursos Hídricos - Pró Água, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 211p.
- Barbosa, T. S.; Lima, V. F.; Furrier, M. 2013. Anomalias em padrões de redes de drenagem como fatore de verificação de neotectônica - Um estudo de caso nas sub-bacias do Rio Mamuaba - PB. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, **26**:195-213.
- Barros, L.F.P.; Barros, P.H.C.A.; Magalhães Junior, A. P. 2010. Condicionamento Litológica e Tectônica na morfometria da bacia do Rio Conceição - Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista de Geografia*, v.especial **7(1)**:195 - 209.
- Beltrame, A.V. 1994. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas – modelo e aplicação*. Ed. UFSC, Florianópolis. 112 p.
- Bricalli, L.L. 2016. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. *Espaço Aberto: PPGG - UFRJ*, **6 (1)**:75-110
- Castro, J.M.G. 2006. *Pluviosidade e Escorregamentos em Ouro Preto*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 138p.
- Cavalcanti, J.A.D. 1999. *Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto – MG. Controles Litoestratigráficos e Estruturais*. Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, Dissertação de Mestrado, 108p.
- Chemale H. Jr., Rosière, C. A., Endo, I. 1991. Evolução tectônica do quadrilátero ferrífero – um modelo. *Pesquisas*, **18(2)**: 104-127.
- Cherem L.F.S. 2008. *Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas – MG*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 96 p.
- Christofolletti A. 1980. *Geomorfologia*. Edgard Blücher, São Paulo, 188 pp.
- Dey S. 2014. *Fluvial Hydrodynamics: Hydrodynamic and Sediment Transport Phenomena*. Springer Berlin Heidelberg, 687 p.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, **641A**: 110 p.
- El Hamdouni, R.; Irigaray, C.; Fernández,T.; Chacón, J.; Keller. E. A.2008. *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)*. *Geomorphology*, v. 96, n. 1-2, p. 150-173

- EMBRAPA. 1979. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da X reunião de levantamento de solos*, Rio de Janeiro, 83 p.
- Endo I. 1997. *Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais*. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 243 p.
- Etchebehere M.L.C., Saad A.R., Fulfaro, V.J. 2007. Análise de Bacia aplicada à prospecção de água subterrânea no planalto ocidental paulista, SP. *Geociências*, **26(3)**:229-247.
- Etchebehere M.L.C., Saad A.R., Fulfaro, V.J., Perinotto J.A.J. 2004. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. *Revista do Instituto de Geociências – USP Série Científica*, **4(2)**:43-56.
- Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippert J.P., Cutts K., Alkmim F.F., Lana C. 2015. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, **68**:4-21.
- Firmino, I.G. 2015. Avaliação de modelos cartográficos de índices morfométricos voltados à análise neotectônica. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, **(6)2**: 168-182.
- Florenzano T.G. 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo, Oficina de Textos, 318 p.
- Fontes M.M.M. 2011. *Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto*. Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em Geotecnia da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 135 p.
- França G.V. 1968. *Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba*, Tese de Doutorado, LSG, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 151 p.
- Hare P.H. & Gardner T.W.M. 1985. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa M. & Hach J.T. (eds.) *Tectonic Geomorphology*, Allen and Unwin, Boston, p. 75-104.
- Harsha, J., Ravikumar, A.S., Shivakumar, B.L. 2020. Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. *Applied Water Science*, **10**:86.
- Horton R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bulletin*, **56(3)**:275-370.
- Hobbs W.H., 1912. *Earth features and their meaning*. New York, McMillan Co. 506 p.
- IGA, 1995. Secretaria de Estado de ciência, tecnologia e meio ambiente. *Desenvolvimento ambiental de Ouro Preto – Microbacia do Ribeirão do Funil*. Belo Horizonte, CETEC – Minas Gerais.
- Lana C.E., Alves J.M.P., Castro P.T.A. 2001. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. *Rev. Escola de Minas*, **54(2)**: 121-126.
- Lana, C. E. 2010. *Influência de níveis de base nas características morfossedimentares das bacias dos rios das Velhas e Jequitaiá (MG)*. Tese de Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 223 p.
- Lima K.C., Santos J.M., Silva L.A.S. 2007. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Bom Sucesso, Nordeste da Bahia. In: Encontro baiano dos estudantes de Geografia. Feira de Santana, Anais.
- Lima M. I. C. 2006. *Apostila: Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico*. 3ª edição. Belém, Pará, Brasil, 194 p.
- Lobato L.M., Baltazar O.F., Reis L.B., Achtschin A.B., Baars F.J., Timbó M.A., Berni G.V, Mendonça B.R.V. de, Ferreira D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG.
- Machado F.G. & Ferreira M.F.M. 2014. Morfotectônica da Bacia Hidrográfica do Rio Muzambo, Município de Monte Belo – MG. In: I Simpósio Mineiro de Geografia, p. 183-195.

- Maia R. P., Bezerra F. H. R. 2011. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: Uma análise preliminar do contexto nordestino. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **12**:37-46.
- Maizatto J.R. 2001. *Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares*, Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto., 249 p.
- Mesa 2006 Mesa L.M. 2006. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). *Environment Geology*, **50**:1235-1242.
- Miller, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Technical report (Columbia University. Dept. of Geology)*, **3**: 51 p.
- Oliveira L.D. 2010. *Ocupação Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e atuais tendências*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 137 p.
- Romano A. W.; Rezende L. F. S. 2017. Folha Ouro Preto SF.23-X-A-III. Escala 1:100.000. Projeto Triângulo Mineiro - Folha Ouro Preto
- Saadi A., Bezerra F.H.R., Costa R.D. da, Igreja H.L.S. Franzinelli E. 2005. Neotectônica da Plataforma Brasileira In: Souza C.R. de, Suguio K., Oliveira A.M. dos S., Oliveira P.E. de. Quaternário do Brasil. Holos Editora, pp. 211-234
- Salamuni E., Nascimento E.R. Silva P.A.H., Queiroz G.L., Silva G. 2013. Knickpoint Finder: ferramenta para a busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, **70**: 200-208.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Pertlj Amboy. *Geol. Soc. America Bulletin*, **67**:597-646.
- Seeber L. & Gornitz V. 1983. River profiles along the himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, **92**:335-367.
- Silva R.N., Gomes D.D.M., Lima C.E.S., Goldfarb M.C. 2016. Uso do índice RDE para determinação de anomalias de drenagem no Rio Capibaribe (PE). *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, **20**: 552–565.
- Silva S.L. & Monteiro E.A. 2004. *Projeto APA Sul RMBH. Mapa geológico em escala 1:50.000*. Belo Horizonte, CPRM
- Singh S. & Singh M.C. 1997. Morphometric Analysis of Kanhar River Basin. *National Geographical. J. of India*, 43(1):31-43.
- Sousa, F.A. & Rodrigues, S.C. 2012. Aspectos morfométricos da alta bacia do Rio dos Bois em Iporá-GO. *Mercator*, **25**(11): 141-151.
- Souza L.A. 2015. *Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais*. Dissertação de doutorado, Programa de pós-graduação em Geotecnia da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 427 p.
- Strahler A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **63**:1117-1142.
- Strahler A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, **38**:913-920.
- Suguio K. 2010. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. São Paulo, Oficina de Textos, 406 p.
- Summerfield A. M. 1991. *Global Geomorphology*. New York, Routledge, 537 p.
- Thornthwaite, C. W.1948. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review London*, Nova Jersey, **38**:55-94.
- Tonello, K.C. 2005. *Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG*. Ciências Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Tese de Doutorado, 69p.

Oliveira, A. P. P. 2021, Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Funil, Ouro Preto – Minas Gerais

Vargas K.B., Fortes E., Salamuni E. 2015. Análise Morfoestrutural da Bacia do Ribeirão Águas das Antas – PR. *Revista Ra'e Ga*, **34**:07-25.

Veneziani, P. 1987. *Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 186 p.

Vestena, L. R; Checchia, T; Kobiyama, M. 2006. Análise morfometria fluvial da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 06, Goiânia.

Vittala S.S., Govindaiah S., Gowda H.H. 2004. Morphometric analysis of sub-watersheds in the Pavagada area of Tumkur district, South India using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **32**(4):351-362.

Wells S.G., Bullard T.F., Menges C.M., Drake P.G., Karas P.A., Kelson K.I., Ritter J.B., Wesling J.R. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, **1**:239-265.
