

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Departamento de Geografia**  
**Programa de Pós-Graduação em Geografia**

**Brenner Henrique Maia Rodrigues**

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E  
COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DA MARGEM ESQUERDA DO RIO SÃO  
FRANCISCO - NORTE DE MINAS GERAIS**

**Belo Horizonte**

**2015**

Brenner Henrique Maia Rodrigues

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E  
COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS DA MARGEM ESQUERDA DO RIO SÃO  
FRANCISCO - NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental

Orientador: Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin

Belo Horizonte

2015

Dissertação intitulada *Análise de Características Morfométricas e Compartimentação Geomorfológica de Bacias Hidrográficas da Margem Esquerda do rio São Francisco - Norte de Minas Gerais*, de autoria do mestrando Brenner Henrique Maia Rodrigues, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: *Análise Ambiental*.

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Dr. Antônio Pereira Guimarães Júnior - IGC/UFMG

Orientador

---

Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues – UFU

---

Prof. Dr. Leonardo Cristian Rocha - UFSJ

*Dedico este trabalho a minha família,  
sem a qual nada seria possível.*

## AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não foi construído sozinho, motivo pelo qual presto meus sinceros agradecimentos:

À Deus, que permitiu que eu tivesse a oportunidade de viver oportunidades incríveis e sempre me deu força para superar os momentos difíceis;

À minha família pelo carinho ao longo de toda a minha vida acadêmica, em especial minha mãe Tania, meu irmão William e a Nathália. Muito obrigado por estarem sempre ao meu lado, por acreditarem em mim e me incentivarem sempre.

À minha orientadora Cristina Augustin por me orientar, incentivar, dar autonomia e pelas contribuições para o desenvolvimento do trabalho;

Ao Ricardo Alexandrino, Leonardo Rocha e Silvio Rodrigues por gentilmente aceitarem da minha banca de mestrado;

Aos amigos Miguel Felipe, Alfredo Costa, Bráulio Magalhães, Paulo Borges, Letícia Augusta e Paulo Rossi, pelas ricas discussões e pela presteza para tantas ajudas, em todas as etapas desse trabalho;

Ao Bruno Debian, ao prof. Rubens do CDTN e a Walter Viana pelo auxílio no trabalho de campo e a presteza em ajudar;

Ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais – IEF-MG pela disponibilização da infraestrutura para a realização das atividades de campo, em especial ao Sr. João responsável pelo Parque Estadual das Veredas do Peruáçu.

Aos colegas de pós-graduação pelas sugestões e pelo convívio enriquecedor.

A todos os amigos, pelo apoio e pela torcida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa CRA - APQ-02211-12. 2012.

## RESUMO

Este trabalho analisa as características morfométricas de algumas bacias de drenagem localizadas na margem esquerda do Rio São Francisco, com o objetivo de contribuir para o entendimento da dinâmica ambiental das mesmas no âmbito da Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos SF09, da região norte de Minas Gerais. As bacias de drenagem da área de estudo apresentam uma densa concentração de veredas, que constituem importantes ecossistemas para a manutenção da qualidade ambiental não somente do Rio São Francisco, como um sistema fluvial, como também do bioma do Cerrado. O estudo dos sistemas de drenagem mostra diferenças no compartimento hidrológico em função de vários fatores envolvidos nos processos de dissecação do relevo, resultando no desenvolvimento de diferentes tipos de formas de relevo e contextos hidrogeomorfológicos e de solos, que levam ao aparecimento ou ausência das veredas. Nessa perspectiva, é fundamental compreender como as formas e processos encontram-se associados com a ação da água como agente modelador atuando na superfície da Terra. Atributos tais como a altitude, a declividade, o comprimento das vertentes e dos canais fluviais, as formas e orientações dos topos, encostas e vales estão vinculados aos padrões de escoamento da água na superfície, exercendo grande influência na ocorrência de veredas. Para auxiliar na compreensão desses aspectos, foram gerados índices morfométricos para as bacias inseridas na área de estudo, bem como realizadas campanhas de campo. Essas informações permitiram a proposição de uma macro compartimentação da área de estudo, com 4 grandes unidades geomorfológicas com dinâmicas ambientais distintas. Essas unidades se encontram em diferentes estágios de evolução, nos quais a dissecação é marcada pelo aumento do entalhe do canal fluvial e pela consequente desnudação do relevo, bem como pela diversificação das características dos corpos hídricos. Essa compartimentação contribui para a compreensão da dinâmica ambiental da região, podendo subsidiar futuros trabalhos associados à preservação de veredas no contexto da manutenção desses corpos hídricos, importantes afluentes do Rio São Francisco e, portanto, fundamentais para a economia regional.

**Palavras-chave:** características morfométricas, bacias de drenagem, compartimentação geomorfológica, veredas.

## ABSTRACT

This work analyses the morphometric characteristics of some drainage basins located at the left bank of the São Francisco River in order to contribute to the understanding of its environmental dynamics within the Water Resources Planning Unit SF09 in the northern region of Minas Gerais. The drainage basins of the study area present dense concentration of “veredas” which are important ecosystems for the maintenance of environmental quality not only of the São Francisco River as a fluvial system, but also for the Cerrado biome. The study of the drainage systems show differences in their hydrologic behavior due to numerous factors involved in the landscape dissection processes, resulting in the development of different types of relief forms, hydro geomorphologic and soil contexts which lead to the occurrence or absence of “veredas”. Therefore, it is of great importance to get a better understanding of the processes and forms associated with the action of water as templating agent acting at the earth's surface. Aspects such as altitude, slope, length of slopes and river channels, forms and guidelines of the tops, slopes and valleys are linked to water flow patterns on the surface, exerting great influence on the occurrence of “veredas”. In order to better understand these aspects morphometric indices for the basins were also generated and field campaigns conducted. Data analysis allowed the compartmentation of the relief into 4 large geomorphologic units with distinct environmental dynamics. These units are in different stages of evolution, in which dissection is marked by differentiation in river incision and the consequent reflex in the relief denudation, as well as by the diversification of the characteristics of the water bodies. The analysis of the relief compartmentation contributes to the understanding of the spacialization of the environmental dynamics of the region and contributes as support for future work associated with the preservation of “veredas” in the context of the preservation of these water bodies which are major tributaries of the São Francisco River and therefore fundamental to the regional economy.

**Keywords:** morphometry parameters, drainage basins, geomorphic compartmentation, veredas.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de veredas em relação à origem e contexto geomorfológico. Fonte: Boaventura (1988) <i>apud</i> Silva (2008). .....	23
Figura 2: Diferentes estratos das veredas: A: cerrado sentido restrito; B: estrato herbáceo; C: estrato arbustivo e arbóreo; D: Buriti nas Veredas (SILVA, 2007). .....	25
Figura 3: Inserção da área de estudo nos limites político-administrativos municipais. ....	37
Figura 4: Rede de drenagem da área de estudo .....	38
Figura 5: Imagem de Satélite LandSat 3R 4G 5B da área de estudo.....	40
Figura 6: Mapa de vegetação nativa da área de estudo .....	42
Figura 7: Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo .....	44
Figura 8: Mapa geológico da área de estudo. ....	47
Figura 9: Rede irregular triangular sobreposta a imagem de relevo (CHAVES, 2002).....	49
Figura 10: Porção de uma superfície e sua respectiva matriz regular (NAMIKAWA, 1995 <i>apud</i> CÂMARA & MEDEIROS, 1998). .....	50
Figura 11: Malha triangular e Malha Retangular modelada (FONSECA, 2010).....	51
Figura 12: Arranjo direcional no método D8 (CHAVES, 2002).....	52
Figura 13: Determinação das direções de fluxo da rede de drenagem (MARCELLINE, 2002, <i>apud</i> FONSECA, 2010).....	53
Figura 14: Inconsistência na rede de drenagem restituída através de MDE Fonte: adaptado de Fonseca (2010). ....	53
Figura 15: Modelo de hierarquização fluvial proposto por Horton (1945) (a) e Strahler(1952) (b) ( FONSECA, 2010).....	54
Figura 16: Localização dos pontos de medidas de vazão na área de estudo. ....	60
Figura 17: Rede de drenagem na bacia do rio Carinhanha em área sobre domínio do Grupo Urucua. ....	62
Figura 18: Densidade de rios (Dr) nas bacias inseridas na área de estudo.....	65
Figura 19: Densidade de drenagem (Dd) nas bacias inseridas na área de estudo. ....	66
Figura 20: Coeficiente de Manutenção (Cm) nas bacias inseridas na área de estudo. ....	67
Figura 21: Índice de sinuosidade nas bacias inseridas na área de estudo.....	69
Figura 22: Índice de Circularidade (Ic) nas bacias inseridas na área de estudo. ....	70
Figura 23: Relação entre áreas nas bacias da área de estudo.....	70
Figura 24: Declividade Média nas bacias da área de estudo. ....	72
Figura 25: Mapa de declividade nas bacias da área de estudo. ....	73
Figura 26: Perfil longitudinal do rio Carinhanha (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros) .....	74
Figura 27: Perfil longitudinal do rio Peruaçu. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros).....	74
Figura 28: Perfil do rio Calindó. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros) .....	75
Figura 29: Perfil do rio Pandeiros. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros) .....	75
Figura 30: Perfil do rio Pardo. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros).....	75
Figura 31: Perfil do córrego do Peixe. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros).....	76
Figura 32: Perfil do riacho Fundo. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros) .....	76
Figura 33: Perfil do córrego Bom Jardim. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros).....	76
Figura 34: Perfil do rio Acaraí. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros).....	76
Figura 35: Localização dos Perfis longitudinais e transversais levantados para as bacias da área de estudo. ....	78
Figura 36: Representação do Índice de Concentração de Rugosidade da área de estudo. ....	80
Figura 37: Vereda degradada na bacia do rio Peruaçu. ....	81
Figura 38: Feição Cárstica identificada na bacia do rio Peruaçu, no domínio das rochas calcárias do Grupo Bambuí. ....	82



Figura 39: Vereda na bacia do rio Pandeiros com incisão de talvegue e perda da vegetação típica.!	83
Figura 40: Fragmentos de Veredas próximas ao rio Pandeiros.	83
Figura 41: Principais áreas com processo de voçorocamento na bacia do rio Pardo.	84
Figura 42: Macro compartimentação associada à dinâmica de evolução do relevo.	87

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo. ....	63
Tabela 2: Características altimétricas das bacias na área de estudo .....	64
Tabela 3: Índice de bifurcação nas bacias na área de estudo.....	68
Tabela 4: Índice de Concentração de Rugosidade nas bacias da área de estudo (ICR). ....	79
Tabela 5: Características dos pontos onde foi realizado levantamento da vazão .....	85

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	18
1.2.3 Objetivos específicos.....	18
2. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS .....	19
2.1. Bacias hidrográficas como unidade de análise .....	19
2.2. Dinâmica Ambiental das Veredas .....	22
2.3. Utilização de Modelo Digital de Elevação .....	29
2.4. Análise Morfométrica.....	33
3. CARACTERÍSTICAS NATURAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	48
4.1. FASE 1 – PRÉ-CAMPO.....	48
4.1.1. Geração de MDE morfológica .....	49
4.1.2. Redes de drenagem hidrológicamente consistentes .....	51
4.1.3. Geração de Parâmetros Morfométricos.....	53
5.2. FASE 2 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	59
5.3. FASE 3 – PÓS-CAMPO.....	61
6. RESULTADOS .....	61
6.1 – CARACTERÍSTICAS DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA NA ÁREA .....	61
6.2. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS .....	62
6.2.1. Distribuição Espacial dos Parâmetros Morfométricos .....	62
6.3 INTERAÇÃO COM OS DADOS DE CAMPO.....	81
6.3.1. Medidas de vazão .....	84
6.4 - Compartimentação Geomorfológica .....	86
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
9. ANEXO 1 .....	101

## 1. INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica hidrológica das bacias de drenagem, bem como dos processos associados à formação do relevo, ocorre a partir da análise de processos complexos, associados aos diversos fatores físicos, biológicos e antrópicos atuantes na área. As redes de drenagem são responsáveis pelo processo de dissecação da paisagem, que, associado a processos endógenos de caráter tectônico, condicionam as características do relevo. Nesse contexto, é de suma importância a compreensão dos processos e das formas associadas à ação da água como agente modelador da superfície terrestre (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; GARDINER & PARK, 1978; KNIGHTON, 1984; SUMMERFIELD, 1991; TUCKER & BRAS, 1998).

Com o desenvolvimento de ferramentas do geoprocessamento, as análises de bacias apresentaram grande avanço, permitindo a quantificação e uma visão mais ampla das relações entre os diversos fatores envolvidos em sua dinâmica (GUSTAVSSON, 2006). Dentre os diversos trabalhos que fazem uso dessa ferramenta, é possível citar os que aplicam metodologias de análise geomorfológica através de softwares de geoprocessamento tendo as bacias hidrográficas como unidade de análise, tais como os de Felgueiras & Câmara, 2001; Carvalho & Bayer, 2008; Castro & Carvalho, 2009; Fonseca & Augustin, 2014.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, tais como sua forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros, bem como do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976; DUNNE, 1980; KNIGHTON, 1984). Através da integração entre essas características físicas e bióticas a bacia passa a ter importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, na infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, na evapotranspiração, no escoamento superficial e subsuperficial. Cabe ressaltar, porém, que o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, tendo em vista que ao intervir no meio natural, o homem acaba alterando os processos envolvidos no ciclo hidrológico (TONELLO, 2005; TEODORO *et al.*, 2007).

Na perspectiva do presente estudo, a bacia hidrográfica pode ser vista como síntese das interações entre os diversos elementos naturais ao longo do tempo. Parte-se

do pressuposto que as determinações físicas, bióticas e antrópicas da realidade ambiental podem ser detectadas de diversas formas no rio que sob essa ótica, representa a síntese da realidade ambiental da região. A partir da escolha adequada dos parâmetros dos cursos de água é possível mostrar com clareza os resultados da pressão antrópica sobre os cursos d'água (UMBELINO, 2006), bem como compreender os processos geomorfológicos que atuam na área (TUCCI, 1997).

Outro aspecto importante relacionado à utilização de bacias hidrográficas como unidades de análise diz respeito aos aspectos legais. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorpora o conceito de bacia hidrográfica, bem como suas subdivisões, como preceito para a Gestão dos Recursos Hídricos, criando inclusive unidades de planejamento, dentre elas a SF09, que compreende as bacias dos rios Pandeiros e Calindó utilizadas no presente estudo, a fim de propiciar a gestão desses territórios. (UMBELINO, 2006; TEODORO *et al.*, 2007).

Tendo em vista este contexto legal, o Brasil tem sua gestão de recursos hídricos organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Embora estejam definidas as atribuições e responsabilidades da gestão em cada nível, é importante destacar que certamente existem dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, pois os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (PORTO E PORTO, 2008; COSTA *et al.*, 2009).

Nesse contexto é que se propõe este trabalho que busca através do uso das ferramentas do geoprocessamento entender, na escala de bacias hidrográficas, como a paisagem encontra-se integrada e que base analítica ela fornece para explicar a distribuição espacial das formas de relevo, e possíveis fatores afetando as veredas na área de pesquisa.

As veredas são importantes ecossistemas e sistemas fluviais (BOAVENTURA, 1981, 1998; MELO, 1992, 2008) que, no estado de Minas Gerais, ocorrem em especial nas porções norte e nordeste, onde grande parte dos afluentes do rio São Francisco

possui nascentes associadas às veredas, conforme pode ser observado nas cartas topográficas que compreendem a região, bem como em imagens de satélite de média e alta resolução.

Segundo Augustin (2012), estudos recentes indicam que o desenvolvimento e articulação das redes de drenagem em bacias na Região Sudeste do Brasil constituem processos complexos, ainda não totalmente entendidos pelas pesquisas com base na literatura clássica, principalmente em se tratando de regiões tropicais, tais como as contempladas pelo presente estudo. Apesar de amplamente discutidas e utilizadas em análises ambientais, bacias hidrográficas e sua rede de drenagem são objetos de inúmeros estudos em função da complexidade das interações entre os próprios processos fluviais e entre outros associados a seus aspectos físicos e às intervenções antrópicas associadas a elas (HORTON, 1945; LEOPOLD *et al.*, 1964; LEOPOLD & BULL, 1979; XAVIER & COELHO NETO, 2008; SAMPAIO, 2008).

Atributos tais como a altitude, a declividade, o comprimento das vertentes e dos canais fluviais, as formas e orientações dos topos, encostas e vales estão vinculados aos padrões de escoamento da água sobre a superfície, bem como a todos os processos associados à dinâmica hidrológica (HORTON, 1945; ZAVOIANU, 1985; TUCCI, 1997). A interação entre esses aspectos ocorre de diferentes maneiras, tendo em vista a complexidade das combinações possíveis, assim como ocorre com as veredas. Fitofisionomias típicas do domínio morfoclimático do cerrado, as veredas possuem grande importância na dinâmica ambiental das áreas nas quais ocorrem no que se refere a seus aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos.

A gênese das veredas, bem como a dinâmica associada a sua evolução e à relação com o relevo, vêm sendo há muito tempo discutida por geomorfólogos. São muitas as hipóteses associadas aos processos envolvidos na gênese dessas feições, mas existe certo consenso de que as veredas ocorrem tipicamente em chapadas, em áreas deprimidas e ocupadas por fluxo lento de água (BARBOSA, 1967; BOAVENTURA, 1981, 1998; VIANA, 1987; MELO, 1992, 2008; AUGUSTIN *et al.*, 2009; AUGUSTIN, 2009, 2012).

As veredas encontram-se distribuídas principalmente em regiões dos planaltos areníticos como os situados na área de estudo, os quais apresentam importante papel

geomorfológico no desenvolvimento das redes de drenagem e, conseqüentemente, na definição dos níveis de base locais e regionais de grande parte da bacia São Franciscana. É importante destacar que os impactos ambientais sobre as veredas são comuns na área de estudo, embora não se concentrem nelas, e que uma das características dessas intervenções é o desaparecimento dos buritis (*Mauritia flexuosa*) e a invasão de espécies do cerrado. De acordo com Melo (2008) e Augustin *et al.* (2009), o aumento do turbilhonamento da água nos canais das veredas, associada ao aumento da carga de sedimentos transportados, pode ter conseqüências importantes nas redes e sub-bacias da bacia do Rio São Francisco, para onde convergem todas as redes formadas diretamente por veredas ou, indiretamente, nos rios, ribeirões e córregos alimentados à montante por sistemas de veredas.

Esses ambientes sensíveis encontram-se também susceptíveis à atuação de processos de assoreamento decorrentes do aporte de sedimentos advindos de atividades antrópicas que modificam a dinâmica dos processos superficiais e sub-superficiais laterais (MELO, 2008). De acordo com Augustin (2012) isto resulta na mudança da própria dinâmica do fundo dos canais das veredas. Essas alterações tornam os talwegues mais definidos e, portanto, mais susceptível à erosão fluvial em virtude do aumento do turbilhonamento da água que promove o reescavamento do fundo do canal, acelerando a saída de sedimentos e criando gradientes relativamente elevados ao longo do perfil longitudinal das veredas. A baixa energia hidráulica dos fluxos parece constituir uma das condições fundamentais para a manutenção dos buritis e das demais características associadas às veredas, sem as quais elas começam a transformar-se em canais fluviais “normais” e passam a ser invadidas por outras espécies típicas do Cerrado, ou em alguns casos, de matas ciliares.

Melo (2008) afirma que impactos como esse podem ser verificados nas veredas do município de Buritizeiros – MG, assim como em outros municípios e regiões planálticas do norte do Estado de Minas Gerais, tais como a área de estudo. Torna-se, portanto, essencial um melhor entendimento da dinâmica hídrica e sua relação com os processos geomorfológicos nos domínios onde existe a veredas conforme se propõe o presente trabalho.

É importante ressaltar, portanto, que o processo de ocupação do espaço pelo homem é responsável por inúmeras transformações no quadro ambiental natural. Nós

últimos séculos o planeta tem sofrido inúmeras transformações que alteraram profundamente a maneira como se dá a interação entre o homem e o meio onde vive. O advento da Revolução Industrial, bem como a explosão demográfica que a sucedeu intensificaram ainda mais essas transformações e incrementaram a demanda por recursos hídricos e a pressão sobre o meio ambiente.

A resposta do ambiente a essas intervenções antrópicas depende fundamentalmente do grau de pressão aos quais são submetidas e de sua sensibilidade. Os ambientes de veredas, objetos do presente estudo, apesar de apresentarem grande sensibilidade inserem-se num contexto de intensa pressão, advindas principalmente da expansão das fronteiras agrícolas, da ocorrência de queimadas, do uso predatório dos recursos hídricos, dentre outros.

A possibilidade de que parte da dinâmica de recuo das cabeceiras e ampliação das redes de drenagem possa estar associada à atuação de processos geoquímicos, tanto nas rochas siliciclásticas dos grupos Areado e Urucuia, como no calcário do Bambuí foi levantada por Augustin *et al.* (2009) e Augustin (2012). O uso cada vez mais intenso e em muitas das vezes indiscriminado dos recursos hídricos tem impacto direto sobre essa dinâmica e sobre os elementos facilitadores da infiltração e realimentação dos cursos de água.

Tendo em vista que na área de estudo existem sistemas de drenagem de grande importância para a dinâmica hídrica da região norte de Minas Gerais, torna-se fundamental o desenvolvimento de estudos e pesquisas nessa escala de trabalho que tratem da compreensão da dinâmica ambiental associada às veredas. A definição da área de estudo foi decorrente dessa necessidade, tendo em vista que a seleção de uma região com contexto tão diverso favorece a compreensão dos fatores associados à ocorrência de veredas, bem como a realização de compartimentações geomorfológicas. Isso é mais premente em regiões como o norte de Minas Gerais, na qual grande parte do sistema de drenagem possui sua gênese associada às veredas, e onde a disponibilidade hídrica é menor do que a média brasileira, haja vista o predomínio de clima semiárido no qual se encontram inseridas.

Um dos principais aspectos dessa pesquisa é, portanto, contribuir para o entendimento da dinâmica geomorfológica da área, na qual se incluem as veredas, a



partir da análise que a caracterização dos parâmetros morfométricos das bacias de drenagem possibilita, possibilitando compartimentações das grandes unidades de relevo e detalhamento de parâmetros das suas bacias hidrográficas.

Este trabalho faz parte do Projeto de Pesquisa “Análise do escoamento superficial e subsuperficial: entendendo a dinâmica de corpos hídricos em áreas de rochas siliciclásticas”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), com o número CRA-APQ- 02211-12.

## 1.2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

### 1.2.1 Hipótese:

- As características morfológicas diferenciadas dos corpos hídricos indicam a presença de unidades geomorfológicas distintas na área de estudo.

### 1.2.2 Objetivo Geral

A pesquisa tem por objetivo geral contribuir para o entendimento da dinâmica das bacias de drenagem da região correspondente à Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos SF09, localizadas na margem esquerda do rio São Francisco no norte do estado de Minas Gerais. Para evidenciar possíveis explicações e permitir o estabelecimento de relações dessa dinâmica hídrica com características geomorfológicas da área de estudo, em especial naquelas com a ocorrência de veredas, busca-se utilizar a caracterização morfométricas dessas bacias.

### 1.2.3 Objetivos específicos

- Caracterizar morfometricamente as bacias de drenagem da região de estudo;
- Compartimentar a região em unidades geomorfológicas, com base nas características dos sistemas de drenagem / bacia;
- Levantar dados de vazão para caracterização de parte da drenagem na região de estudo;
- Levantar características geomorfológicas *in loco*;
- Relacionar esses dados com a dinâmica do relevo identificada em escala macro;
- Aplicar técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na determinação de parâmetros morfométricos que constituem a base analítica desse estudo.

## 2. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

### 2.1. Bacias hidrográficas como unidade de análise

As bacias hidrográficas podem ser consideradas estruturas físicas geograficamente definidas, modeladas por processos hidrológicos e hidráulicos, na qual se desenvolvem atividades econômicas e as relações sociais e biológicas (BARBOSA *et al.*, 1997; UMBELINO, 2006). Do ponto de vista geomorfológico, as bacias hidrográficas são definidas como conjuntos de terras drenadas por cursos de água, formados junto às regiões mais altas que as delimitam, e que funcionam como divisores de água. Toda a água que precipita dentro dos limites da bacia, caso não evapore, infiltra no solo/rocha ou escoam superficialmente, levando à formação dos rios. As águas superficiais escoam em direção ao nível de base local, formando a rede de drenagem (DUNE, 1980; BARRELA *et al.*, 2011).

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, definido como exutório. Essas bacias são compostas, portanto, por um conjunto de vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório, que representa o nível de base local ou total, quando isso acontece no oceano (SUMMERFIELD & HULTON, 1994; TUCCI, 1997; TUCKER & BRAS, 1998). Nesta perspectiva, as bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas que representam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo assim, que sejam delineadas bacias e sub-bacias (PORTO & PORTO, 2008).

Adotando-se uma abordagem sistêmica ao conceito geomorfológico, Lima e Zakia (2000), acrescentam que as bacias hidrográficas representam sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos, e que a perdem através do deflúvio. Essa energia pode ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Nesse sentido, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou intervenção na forma do sistema, resultará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito dessa modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico até então existente (SCHUMM & LICHTY, 1965; MORISAWA, 1968; TEODORO, *et al.*, 2007). Os termos sub-bacia

e microbacia hidrográfica, amplamente difundidos e também incorporados à literatura técnico-científica, não apresentam a mesma convergência conceitual apresentada para a definição de bacia hidrográfica. Existem várias proposições que consideram aspectos diversos para definição desses termos. As sub-bacias são consideradas áreas de drenagem dos tributários do curso de água principal. Para definir sua área, os autores se utilizam de diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), por exemplo, as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup>, enquanto para Rocha (1997, *apud* MARTINS, *et al.*, 2005), são áreas cujas dimensões variam entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km<sup>2</sup> a 300 km<sup>2</sup>). Já para Santana (2003), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal principal. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são termos com sentidos relativos, conforme adotados no presente trabalho (TEODORO *et al.*, 2007).

Dentro dessas subdivisões da bacia, também é possível encontrar na literatura o termo microbacia. Uma série de conceitos é aplicada na definição desse termo, podendo ser adotados critérios diversos para a definição do mesmo, tais como unidades de medida, parâmetros hidrológicos e ou informações ecológicas. Para Santana (2003), o termo microbacia, embora nacionalmente difundido, constitui uma denominação empírica, sugerindo sua substituição por sub-bacia hidrográfica (TEODORO *et al.*, 2007).

No que se refere às definições hidrológicas, a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente em relação a sua superfície total. Elas também levam em consideração os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, tendo as microbacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal). Nesse sentido, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas microbacias do que nas grandes bacias (TUCCI, 1997).

Os estudos ambientais, que utilizam as microbacias hidrográficas como unidade de análise oferecem, portanto, a vantagem de permitir um gerenciamento simultâneo,

interdependente e cumulativo de seus aspectos econômicos, sociais e ambientais. Nesse sentido, é possível realizar um planejamento e gestão integrada dos recursos naturais, ampliando assim, notavelmente, a sinergia e a potencialidade dos processos operados, além de oferecer condições geográficas e sociais favoráveis à organização comunitária (RYFF, 1995 apud SABANÉS, 2002; TEODORO *et al.*, 2007).

A adoção das bacias hidrográficas como unidades de estudo e de gestão tem tido grande aceitação por parte dos especialistas em decorrência da aplicabilidade dos pressupostos já mencionados, e pelo fato da sua utilização ter sido adotada por diversos países. A proposta de gestão baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força na década de 1990, quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92. Seu Princípio nº1 estabelece que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos da bacia. Para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992; PORTO & PORTO, 2008).

A questão central que deve reger a gestão é, portanto, a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. A bacia hidrográfica permite uma abordagem integrada que, conforme afirma Yassuda (1993), corresponde ao palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural (PORTO & PORTO, 2008).

## 2.2. Dinâmica Ambiental das Veredas

As veredas são consideradas fitofisionomias encontradas nas zonas de maior concentração de umidade no solo, em regiões de domínio do cerrado. Trata-se de um ambiente que muitas vezes encontra-se associado às nascentes e cabeceiras de cursos de água, cuja característica principal é a presença da palmeira arbórea buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), formando ecossistemas em meio a agrupamentos da vegetação com diferentes densidades de espécies herbáceas (MELO, 1992).

Esses ecossistemas apresentam uma grande importância no que se refere à dinâmica ambiental do cerrado. Eles são marcados pela existência de intensa atividade biológica, nas quais se verifica uma grande variedade de espécies vegetais, cujo maior expoente é o Buriti e que funciona como um importante atrativo para os diversos grupos de fauna. As veredas estabelecem ligações fundamentais para a manutenção da flora e da fauna do cerrado e indicam que:

“a simbiose entre cerrados e veredas vai além de uma quebra da monotonia da visão dos cerrados. É um dom da natureza para proteger a vida animal e vegetal”. (CASTRO, 1980, p. 327 *apud* MELO, 2008).

No norte do estado de Minas Gerais, a dinâmica hidrológica de várias bacias hidrográficas também possui estreita relação com a ocorrência de veredas, dentre as quais importantes afluentes da margem esquerda do rio São Francisco objetos do presente estudo como o Carinhanha, Peruaçu, Calindó e Pandeiros.

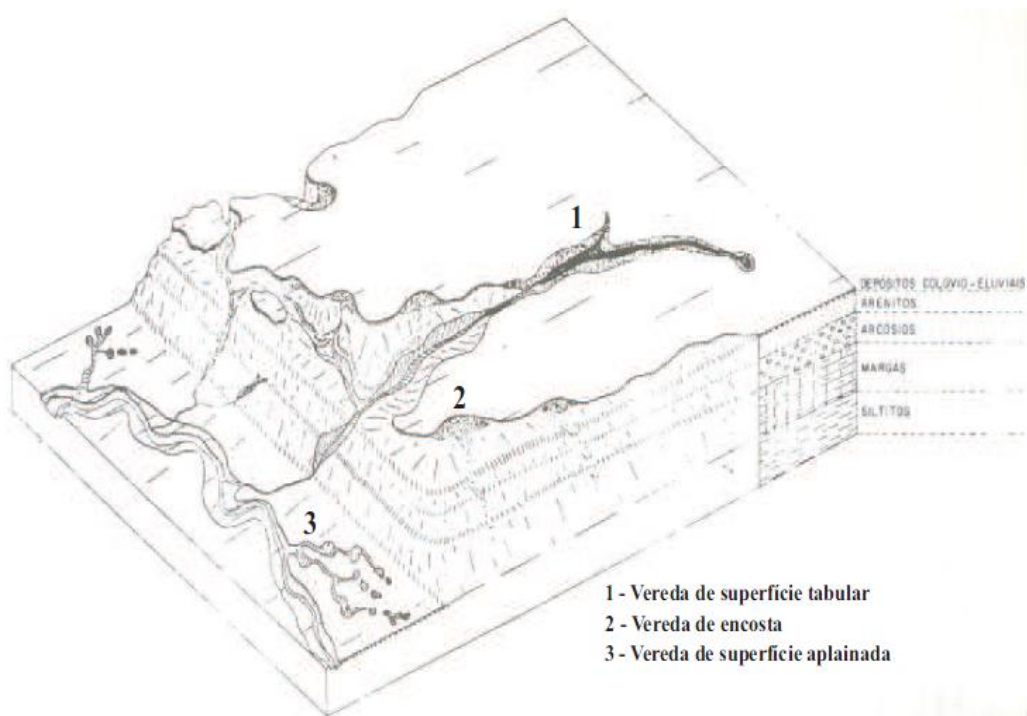
Destaca-se também a importância das veredas na cultura brasileira, em especial de inúmeras comunidades espalhadas pelo interior do estado de Minas Gerais. O maior marco nesse sentido é o livro “Grande Sertão Veredas”, escrito por Guimarães Rosa que é considerado um dos mais relevantes da língua portuguesa e que contribuiu para a disseminação do conceito de veredas.

Segundo Melo (2008), apesar de existirem fitofisionomias com características semelhantes às veredas em diversas outras regiões no Brasil, a acepção natural da palavra vereda, em Minas Gerais, se refere a um ecossistema úmido do Cerrado que tem como característica marcante a presença de buritis na zona central junto ao seu campo graminoso-herbáceo sempre verde devido às condições de umidade permanente que apresenta. Os buritis presentes nas veredas possuem altura ‘média que varia entre 12 a

15 metros e cobertura de dossel muito pequena comparada a outras formações vegetais na ordem de 5 a 10%. (SILVA, 2007).

Embora existam diversos trabalhos no meio científico associados ao estudo das veredas, não existe por parte dos autores consenso no que se refere à sua gênese. Um dos conceitos mais disseminados é apresentado por Boaventura (1981), segundo o qual a formação das veredas encontra-se associada a três fatores básicos: i) à presença de superfície de aplainamento; ii) à superposição de camadas geológicas litificadas ou de sedimentos inconsolidados onde uma camada permeável encontra-se sobreposta a uma impermeável e; iii) à existência de um nível de base local. No que se refere à gênese e ao contexto geomorfológico associado à distribuição espacial das veredas, podem ser divididas em três grupos principais (Figura 1):

**Figura 1: Tipos de veredas em relação à origem e contexto geomorfológico. Fonte: Boaventura (1988) apud Silva (2008).**



Essas características fazem com que as veredas estejam associadas à rede de drenagem de vários cursos fluviais no cerrado, muitas delas vinculadas às nascentes e às cabeceiras de drenagem dos rios. Em áreas de clima semiárido como o norte de Minas Gerais e o Oeste Baiano, onde a disponibilidade hídrica é baixa, a importância das veredas é ainda maior por causa da manutenção do regime perene dos cursos d'água.

Apesar da importância das veredas no que se refere a diversos aspectos ambientais, Melo (1992, 2008) chama a atenção para a existência de poucos estudos sistemáticos sobre as mesmas, à exceção de razoável acervo de publicações nacionais e estrangeiras voltadas para estudos específicos sobre o buriti (*Mauritia flexuosa*) e para a produção de alimentos, medicamentos, e matérias primas diversas.

Do ponto de vista geomorfológico, as veredas podem ser caracterizadas como vales rasos, que apresentam vertentes côncavas com caimento pouco pronunciado e fundo plano, formadas predominantemente por material arenoso, preenchidos por argilas hidromórficas onde o escoamento é geralmente perene, embora haja variação sazonal marcante (BOAVENTURA, 1981).

Outras definições importantes se referem às veredas como sistemas baseados na geomorfologia fluvial tal como a de Barbosa (1967) citado por Melo (1992), segundo a qual, as veredas são formas ligeiramente deprimidas, inseridas dentro de chapadas ocupadas por nascentes. Esse mesmo autor chama a atenção para a resposta das veredas à sazonalidade climática, tendo em vista que, no verão, elas adquirem características mais pantanosas, enquanto no inverno ocorre uma redução de suas fontes, embora sempre haja água, que é responsável pela manutenção das condições ecológicas que garantem a presença do buriti (*Mauritia flexuosa*) em meio a uma cobertura de gramíneas baixas.

No que se refere à diferenciação morfológica das veredas, Melo (1978, 1992) propõe a distinção de quatro subunidades geomorfológicas, utilizando como critérios aspectos pedológicos, fitogeográficos, hidrológicos e topográficos. As quatro zonas propostas são:

- Zona do envoltório: que é formada pela porção da superfície tabular que contorna a vereda, onde há presença de cobertura vegetal de cerrado em solo areno-quartzoso com predomínio de areias grossas, sendo limitada por rupturas de declive que marcam o início das vertentes da vereda, onde a vegetação de cerrados é interrompida.
- Zona seca: que tem início no limite da zona do envoltório com o vale e constitui praticamente as vertentes. Ela é constituída por solo hidromórfico com



mosqueamentos refletindo sazonalidade do nível freático e a textura é de arenosa muito fina a siltica revestida por uma cobertura vegetal de gramíneas.

- Zona encharcada: que compreende o fundo plano da vereda preenchido por uma camada de 40 a 80 cm de espessura de solo de cor preta capeado em geral por 20 cm de turfa. Nessa zona a vegetação é representada por densa cobertura de gramíneas e ao centro presença do buriti.
- Zona do canal: que corresponde ao escoamento superficial de água na vereda sobre o solo turfoso em geral após a confluência de pequenas veredas tributárias. A jusante, um talvegue pouco aprofundado marca aproximadamente o limite entre vereda e riacho.

Silva (2007) apresenta a distribuição espacial dessas quatro zonas em veredas do Parque Estadual do Peruaçu conforme pode ser verificado na Figura 2 abaixo:

**Figura 2: Diferentes estratos das veredas: A: cerrado sentido restrito; B: estrato herbáceo; C: estrato arbustivo e arbóreo; D: Buriti nas Veredas (SILVA, 2007).**



A bibliografia que trata da dinâmica ambiental das veredas não aponta para qualquer definição geomorfológica única no sentido morfométrico para estas feições. Apesar disso, há consenso quanto às suas funções básicas para o meio ambiente. Em toda a extensão da vereda, a água do aquífero está presente na zona úmida e aflora ou está bem próxima da superfície na zona encharcada. O topo dos planaltos areníticos funciona como uma área de recarga dos aquíferos, enquanto as veredas funcionam como zonas de descarga e mantêm a perenidade dos córregos e rios a elas conectados. Seu caráter de umidade perene e a natureza de sua cobertura vegetal representam grande

importância para o ambiente; haja vista que funcionam como áreas de dessedentação, alimentação, abrigo e reprodução de animais terrestres e aquáticos (CASTRO, 1980; MELO, 1992, 2008)

Outra questão de suma importância diz respeito aos processos associados à gênese das nascentes. As primeiras tentativas de explicação acerca da origem das nascentes remetem a Freyberg (1932), citado por Melo (1992). Posteriormente Boaventura (1981), Melo (1992), Augustin *et al.* (2008, 2009), entre outros, retomaram o problema da gênese das veredas.

As primeiras explicações associam a origem das veredas ao afloramento do lençol freático, nos pontos onde a topografia intercepta o contato entre duas camadas de rochas com permeabilidades diferentes. A incisão dos vales, responsável pela dissecação das chapadas, atinge o substrato impermeável a partir do qual o fluxo hidráulico converge para esse ponto. A maior disponibilidade de água nas áreas permite o desenvolvimento de estratos vegetais mais densos, permitindo o desenvolvimento das veredas (BRANCO, 1961, *apud* MELO, 1992).

Boaventura (1978) formula a hipótese de que as veredas se formaram a partir da interligação de depressões fechadas, pelo transbordamento da água e escoamento superficial durante os períodos chuvosos. Segundo esse autor, as evidências desse processo podem ser observadas no Vale do rio Paracatu, em lagoas ou depressões em fase de interligação, o explicaria a gênese das veredas da Depressão Sanfranciscana, bem como os processos envolvidos em sua evolução.

Nos planaltos, entretanto, não se constata exemplos desse processo, o que se explicaria pela maior antiguidade de grande parte das veredas ali situadas. Dessa forma, Boaventura (1978), citado por Melo (1992), estabeleceu hipoteticamente uma datação relativa para as veredas situadas sobre o pediplano pleistocênico na Depressão Sanfranciscana. Para esse autor, essas veredas teriam surgido no Holoceno, relacionadas à drenagem instalada nesse período. Já as veredas de planalto, situadas sobre o Pediplano Terciário, seriam pleistocênicas, ou mesmo pliopleistocênicas. Com o reencaixamento fluvial no Holoceno, as veredas de planalto vêm sendo destruídas por recuo erosivo das bordas da chapada.

Nos topos das áreas de planaltos, onde a superfície é revestida por cerrado não se verifica a ocorrência de processos de erosão acelerada, o que mantém essas superfícies relativamente bem preservadas. A simetria das veredas nos planaltos areníticos denuncia a homogeneidade litológica engendrando uma hidráulica típica. No entanto, nas áreas de sua ocorrência, elas estão em franco processo de destruição natural por erosão remontante da zona turfosa, no contato com o córrego, transformando-se de jusante para montante em canais fluviais. Elas continuam a evoluir á montante, enquanto persistirem os seus fatores de formação. Pode-se inferir que a orientação desses cursos fluviais, em direções estruturais, deu-se a partir de um controle estrutural prévio ao qual se associam as veredas (MELO, 1992).

Nas bordas superiores das margens de córregos encaixados que dissecam as chapadas estudadas por Melo (1992), há solos hidromórficos dissecados que se destacam pelo embranquecimento, até solos secos com alto teor de matéria orgânica, evidenciando a existência de antigas áreas de hidromorfia e de redução e lixiviação do ferro. Segundo esta autora, o nível freático foi rebaixado em função da incisão dos canais das veredas, saturando os solos na área e garantindo aos rios um caráter perene durante os meses secos do ano.

Ainda de acordo com Melo (1992, 2008), a distribuição espacial das veredas apresenta um padrão marcado por forte controle estrutural, assim como também os rios e córregos que têm nelas as suas nascentes. A orientação desses córregos e rios em direções estruturais deu-se a partir de um controle estrutural prévio e dessa forma, a origem das veredas estaria relacionada à direção dos fluxos do sistema de aquíferos para fraturas preexistentes na área.

A ocorrência de condição de baixa energia hidráulica dos fluxos dos seus canais constitui, aparentemente, um dos aspectos mais relevantes dessas feições geomorfológicas, propiciando o desenvolvimento do ecossistema associado à presença do buriti, conforme propõe Augustin *et al.* (2008, 2009) e Augustin (2012). Esses autores também apontam a alta permeabilidade das camadas superficiais dos solos, caracterizada por material arenoso, como condição *sine qua non* para o desenvolvimento desses vales rasos, com a presença de água muitas vezes parada. Essas condições, associadas à relação com o relevo, sedimentos e litologias também são citadas por outros autores, entre os quais Boaventura (1978, 1981).

Outra questão importante relacionada à dinâmica das veredas é apontada por Augustin *et al.*, (2009) que, a partir de análises com o uso do *Ground Penetrating Radar* (GPR), e de perfis de solo, encontraram evidências de que parte desses corpos hídricos talvez não se encontre interligada aos aquíferos mais profundos, e sim, a níveis freáticos suspensos. Para eles, a sobrevivência dessas complexas fitofisionomias estaria, portanto, bastante ameaçada tendo em vista que, caso se comprove a existência desse tipo de sistemas de freáticos alimentados em escala local, estes são muito mais suscetíveis aos impactos antrópicos do que os aquíferos regionais.

De acordo com esses autores (op. cit.), o desenvolvimento das veredas encontra-se também relacionado à ocorrência de um ambiente hidráulico relativamente tranquilo, com baixa capacidade erosiva do fluxo de água, permitindo a deposição da matéria orgânica e argila. Assim, nas áreas com declividade acentuada acelerariam a velocidade da água, aumentando sua capacidade erosiva e originando um fluxo que tende a dissecar as camadas orgânicas, atingindo horizontes mais profundos e mais susceptíveis à erosão. Eles chamam a atenção para a relevância desse fator no que se refere à manutenção da vegetação nas áreas de veredas. Para que isso ocorra, é fundamental a presença de uma zona úmida, com uma camada de matéria orgânico-argilosa que funcionam como uma camada tampão, impedindo o esvaziamento da zona saturada presentes em aquíferos do tipo suspenso (*perched water table*) de caráter mais local.

Esses tipos de níveis freáticos tendem a se formar em função da declividade pouco acentuada do canal longitudinal, da baixa declividade das vertentes das veredas, e pela ocorrência de espessas camadas de areia que filtram a matéria orgânica e desaceleram a velocidade da água de superfície e de subsuperfície, contribuindo para a retenção das mesmas. A presença de matéria orgânica e de argilas também contribui nesse sentido (AUGUSTIN *et al.*, 2009; AUGUSTIN, 2012). Esses autores também apontam para a hipótese de que a compactação e silicificação das areias, assim como a diminuição do diâmetro da granulometria areia em profundidade, também contribuam para a retenção do nível freático,

### 2.3. Utilização de Modelo Digital de Elevação

A utilização de modelos matemáticos que representam a superfície da Terra tem crescido ao longo das últimas duas décadas com a difusão de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, bem como em função das possibilidades que esses recursos oferecem (LANA, 2001; VALERIANO, 2002, 2005; SAMPAIO 2008; RAO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2003; KUMAR, 2013; FONSECA & AUGUSTIN, 2014). Esses modelos são obtidos a partir de uma amostragem de um dado fenômeno em uma região de interesse. A Modelagem Digital de Elevação constitui uma representação da realidade possível a partir da utilização de hardwares e softwares que comportam algoritmos contendo equações que possibilitam a modelagem de variáveis ambientais. Essas amostras são processadas de forma a criar Modelos Digitais capazes de representar a variabilidade desse fenômeno em uma dada região (FELGUEIRAS & CÂMARA 2001).

A qualidade dos produtos obtidos em estudos que metodologicamente fazem uso do processamento digital associado a ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, reflete a qualidade dos dados primários, tendo em vista que a qualidade dos dados iniciais orienta a qualidade das análises realizadas (SAMPALIO & AUGUSTIN, 2014). O processo para a geração do MDE consiste, basicamente, de três etapas: aquisição de dados; edição dos dados; e geração do modelo. A aquisição de dados pode ocorrer por digitalização, restituição fotogramétrica, sensoriamento remoto ou levantamento de campo direto (SPRING, 2004). O uso de cada uma dessas possibilidades apresenta vantagens e desvantagens técnicas intrínsecas e requerem tratamento específico conforme discutir por diversos autores (PINHEIRO, 2006; DUARTE & ASSAD, 2007; CHEREM, 2008).

Nos MDEs gerados a partir da interpolação de curvas de nível de cartas topográficas digitalizadas, a área representada por cada célula da grade (pixel) corresponde à resolução espacial da imagem, definindo, portanto, a escala de trabalho (MENEZES & COELHO NETTO, 2008; CHEREM, 2008; FONSECA, 2010; FONSECA & AUGUSTIN, 2014). É importante que a imagem matricial represente fidedignamente as feições geomorfológicas, como divisores de bacia, talwegues e elementos côncavos e convexos a fim de garantir consistência geomorfológica e hidrológica ao Modelo em questão (ARAÚJO, 2006; PINHEIRO, 2006).

O aprimoramento das técnicas de interferometria por radar resultou na geração de resultados positivos na produção de modelos de elevação, o que foi aperfeiçoado pelas novas técnicas de tratamento desses dados. O tratamento desses MDE's pode ser feito por interpoladores lineares, não lineares e inclusive por tratamento não espacial (PINHEIRO, 2006; CHERÉM, 2008; FONSECA, 2010). Soma-se a isso, a disponibilização de informações por diversas instituições tais como a EMBRAPA, o IBGE, ERSDAC, dentre outras, que favorecem o desenvolvimento de pesquisas e auxilia no aperfeiçoamento das metodologias empregadas.

No que se refere a estudos com viés geomorfológico, como no presente trabalho, os dados primários, as grades retangulares de dados de elevação topográfica obtidas de imagens de satélite, a metodologia de geração, avaliação e o tratamento estatístico aplicado a esses dados, definem o grau de semelhança que os resultados terão da realidade conforme propõe Cherem (2008). Nesse contexto, a semelhança dos MDEs com o relevo por eles representado deve ser a melhor possível, já que o uso de MDEs de baixa qualidade inviabiliza interpretações de melhor qualidade. A mesma semelhança é necessária na representação da rede hidrográfica em ambiente digital por vetores. Além do uso de grades regulares, existem também outras formas de representação do relevo, como as grades triangulares e que seu uso também tem se difundido em estudos geomorfológicos.

As características topográficas de uma dada região revelam os diversos fatores condicionantes de seu modelado e sua disposição espacial, bem como determina os fluxos hidrológicos superficiais e os fluxos de sedimentos. A variação da topografia e, conseqüentemente, a variação do fluxo hídrico, influencia em diversos processos vinculados ao ciclo hidrológico, tais como a dinâmica de escoamentos superficial e subsuperficial, a evaporação, a taxa de infiltração, além de estar vinculada a uma série de aspectos antrópicos (TUCCI, 1997; FONSECA, 2010). A análise dos processos condicionados por essas características confere grande importância para a geomorfologia no que se refere à compreensão da dinâmica hidrológica nas bacias hidrográficas, bem como na dinâmica fluvial associada ao comportamento de cursos d'água.

A terminologia Digital Terrain Model (Modelo Digital de Terreno em português) tem origem no Laboratório de Fotogrametria do Instituto de Tecnologia de

Massachusetts em 1950, a quem foi atribuído o pioneirismo no uso dos DTM's para fins tecnológicos, científicos e militares (MILLER & LAFLAMME, 1958 apud FONSECA, 2010).

O presente trabalho utiliza as terminologias específicas contida na literatura sobre modelagem de dados topográficos conforme sistematizado por FONSECA (2010):

- MDT/ DTM: refere-se ao terreno puro sem nenhum tipo de cobertura;
- MDS/ DSM (Modelo Digital de Superfície): refere-se à superfície do terreno acrescida de cobertura de vegetal, edifícios, etc.
- MDE/ DEM ou MNT: refere-se a qualquer variável espacial contínua.

A elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) pode ser realizada de várias maneiras: a partir de pontos amostrais no terreno com atributos xyz, sendo x e y as coordenadas e z a altimetria; ou da digitalização de folhas topográficas analógicas, ou pontos cotados. (VALERIANO, 2002; SILVA & HERPIN, 2006). Essas informações topográficas também podem ser obtidas a partir de pares estereoscópicos de imagens ópticas como as dos sensores ASTER, SPOT e IKONOS ou por interferometria de mosaicos de radar tais como o RADAR-SAT e o SRTM-NASA. (BARROS, 2006; OLIVEIRA & CHAVES, 2010).

O MDE utilizado no presente estudo tem como fonte de informações os dados provenientes do Projeto SRTM-NASA (SHUTLE-SRTM--NASA, 2001). Os dados gerados por esse projeto contribuíram muito para a disseminação de geotecnologias envolvendo Modelos Digitais de Elevação nos estudos geomorfológicos. A disponibilização gratuita desses dados pela internet também contribuiu muito nesse aspecto, incluindo a implementação de algoritmos de tratamento e manipulação desses MDE's em softwares de PDI e SIG (OLIVEIRA & CHAVES, 2010).

Através desses softwares é possível utilizar ferramentas de derivação de dados morfométricos que permitem a implementação de comandos por algoritmos específicos, através dos quais é possível extrair parâmetros morfométricos como declividade, curvatura vertical e horizontal, cálculo de área de contribuição e derivação de mapas temáticos como hipsométricos, de aspecto do relevo, exposição de vertentes além da

extração de parâmetros hidrológicos como drenagem e delimitação de bacias hidrográficas (VALERIANO & MORAES 1996; RAMOS *et al.*, 2003; LOBÃO & VALE, 2007; OLIVEIRA & CHAVES, 2010; FONSECA & AUGUSTIN, 2014).

As características fisiográficas observadas na discriminação das unidades geomorfológicas foram relacionadas à rugosidade topográfica, declividades dominantes, forma dos topos e encostas, morfocronologia, aspectos morfométricos, interação com os outros componentes do potencial ecológico (geologia, pedologia e solos) e da exploração biológica (cobertura vegetal), além de uso antrópico (ROSS, 1990; SAMPAIO, 2008; OLIVEIRA & CHAVES, 2010; SAMPAIO & AUGUSTIN, 2014).



## 2.4 Análise Morfométrica

A análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial caracterizam os estudos morfométricos, nos quais o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo tem seus valores mensurados de maneira a se obter os atributos de cada um desses elementos (CHRISTOFOLETTI, 1999; SILVA & HERPIN, 2006; CHAVES, 2002). Trata-se de um tipo de estudo geomorfológico cujo pioneirismo é atribuído a Horton (1945) e Stralher, 1957, que desenvolveram estudos que buscavam compreender as características associadas à configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem.

Em análises morfométricas de sistemas ambientais, a interpretação é feita a partir da leitura dos atributos dos elementos associados à sua dinâmica (HORTON, 1945). Nesse sentido, a bacia hidrográfica corresponde ao objeto de estudo, sendo três os seus elementos que se relacionam entre si e geram os parâmetros morfométricos: i) a própria bacia; ii) a rede de drenagem e; iii) o arranjo das vertentes.

Esses elementos associados às características morfométricas refletem propriedades da bacia analisada, tais como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (HORTON, 1945). As classes de informações morfológicas determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos dentre os quais se destacam os de Horton (1945), Strahler (1957), França (1968) e Christofolletti (1978), entre outros.

De uma maneira sucinta, pode-se afirmar que os atributos da bacia hidrográfica utilizados na composição dos parâmetros morfométricos são: a) área da bacia; b) perímetro da bacia; c) comprimento da bacia; d) comprimento dos canais fluviais; e) comprimento vetorial (comprimento do vale), f) dos canais fluviais; g) número de canais fluviais; h) declividade da bacia (mínima, média e máxima); i) declividade dos canais; j) e altimetria (mínima, média e máxima) conforme sistematizado por Cherem (2008) e Fonseca (2010).

Os estudos morfométricos estão associados às leis de composição de bacias hidrográficas propostas por Horton (1945) e apresentadas por Vestena *et al.* (2006) e podem ser assim resumidas:

- Lei do número de canais – o número de segmentos de ordens sucessivamente inferiores de uma dada bacia tende a formar uma progressão geométrica, que começa com o único segmento de ordem mais elevada 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, geometricamente 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; e
- Lei da área da bacia de canais – as áreas médias das bacias de segmentos de canais de ordem sucessivas 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 crescimento da área.

Baseados nas leis de Horton (1945), diversos autores apresentam parâmetros morfométricos em seus respectivos trabalhos através da mensuração de atributos de cartas topográficas e de cálculos manuais como os de Schumm (1956) e Strahler (1957, 1958), entre outros.

Com o advento da computação eletrônica e da informática, os cálculos e análises de dados e informações passaram a ser georreferenciados e aperfeiçoados. Atualmente, os atributos morfométricos podem ser extraídos em ambiente digital a partir da utilização de diversos softwares de geoprocessamento, tais como ArcGIS, MapInfo e SPRING que permitem a aplicação de técnicas de derivação dos atributos, e o subsequente cálculo dos parâmetros em ambiente digital a partir do uso dos MDE's e de rede hidrográfica digitalizada, obtidos de cartas topográficas ou de imageamento orbital (CHEREM, 2008; FONSECA & AUGUSTIN, 2014). Sobre esses dados são aplicadas rotinas

computacionais para extrair os dados necessários à análise morfométrica. Como exemplo de trabalhos encontrados na literatura sobre análises morfométricas, podemos citar: Valeriano & Moraes (1996), Santa Catarina (1997), Hott *et al.* (2007) e Fonseca & Augustin (2014).

À aplicação de novas metodologias na extração dos atributos e cálculo dos parâmetros a partir dos MDEs, se associa outras técnicas de mensuração de feições e fenômenos da superfície terrestre, permitindo análises morfológicas sustentadas em dados concretos e não apenas em hipóteses dedutivas (RIFFEL, 2006; LOPES, 2008). Devido à contribuição da análise morfométrica de bacias hidrográficas para as análises geomorfológicas regionais, é imprescindível que os parâmetros morfométricos sejam gerados por meio de metodologias padronizadas. Nesse sentido, esses parâmetros podem representar a estruturação e configuração das bacias hidrográficas para verificar se essas estão próximas dos “padrões de normalidade”, estabelecidos inicialmente pelas leis de Horton, possibilitando conseqüentemente, a mensuração do grau de desenvolvimento das bacias e a influência de perturbações tectônicas conforme aponta Cherem (2008).

### 3. CARACTERÍSTICAS NATURAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à Unidade de Planejamento dos rios Pandeiros e Calindó, afluentes do rio São Francisco (SF09), cujos recortes espaciais foram delimitados pela Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Ela encontra-se localizada entre os paralelos 15°8' e 18° S e 48°5' e 51°5' W, na região norte do estado de Minas Gerais, que contém importantes áreas de preservação como o Parque Estadual do Peruaçu e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, dentre outras. Nessa área encontram-se inseridas as seguintes bacias hidrográficas (Figura 3):

- Rio Carinhanha
- Rio Calindó
- Rio Peruaçu
- Rio Pandeiros
- Ribeirão Peixe
- Rio Pardo
- Córrego Bom Jardim
- Rio Acaraí
- Riacho Fundo

Essas bacias hidrográficas, nas quais se encontram inseridos totalmente ou parcialmente 18 municípios (Figura 3), também existem áreas de preservação com usos menos restritivos, bem como outras com intensa atividade antrópica na qual se desenvolvem atividades agrícolas e pecuárias e núcleos urbanos.

Trata-se de uma região de clima tropical, sob domínio de clima semi-úmido com verões chuvosos e invernos secos segundo classificação climática do IBGE, onde a vegetação é composta predominantemente por diversos estratos de cerrado, que apresentam diferentes estágios sucessionais.

Além dos rios Pandeiros e Calindó, que nomeiam a unidade em questão, a bacia também possui outros importantes canais fluviais, tais como o rio Pardo, Peruaçu, Acaraí, Bom Jesus e Carinhanha, conforme pode ser verificado na Figura 4.

Figura 3: Inserção da área de estudo nos limites político-administrativos municipais.

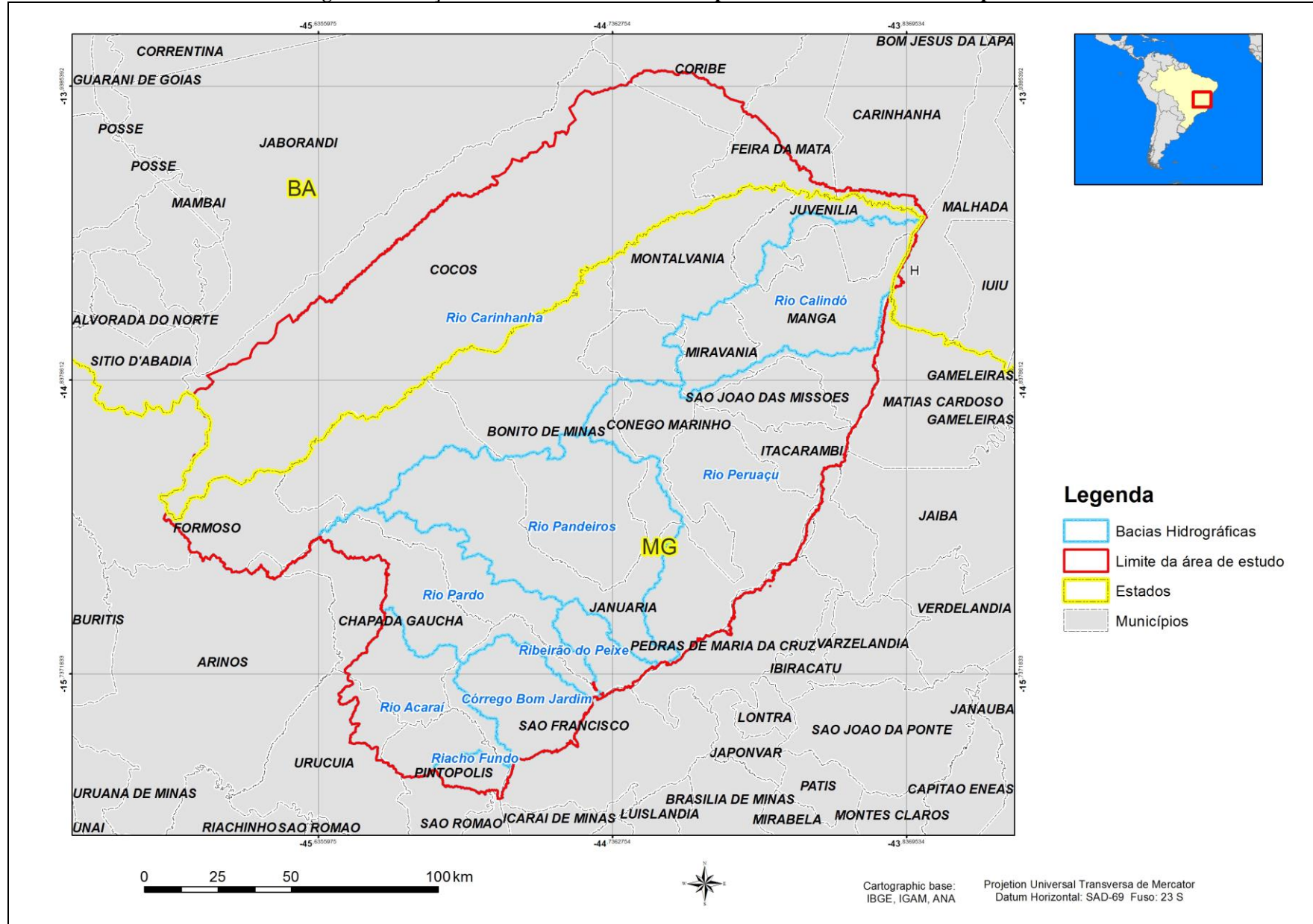
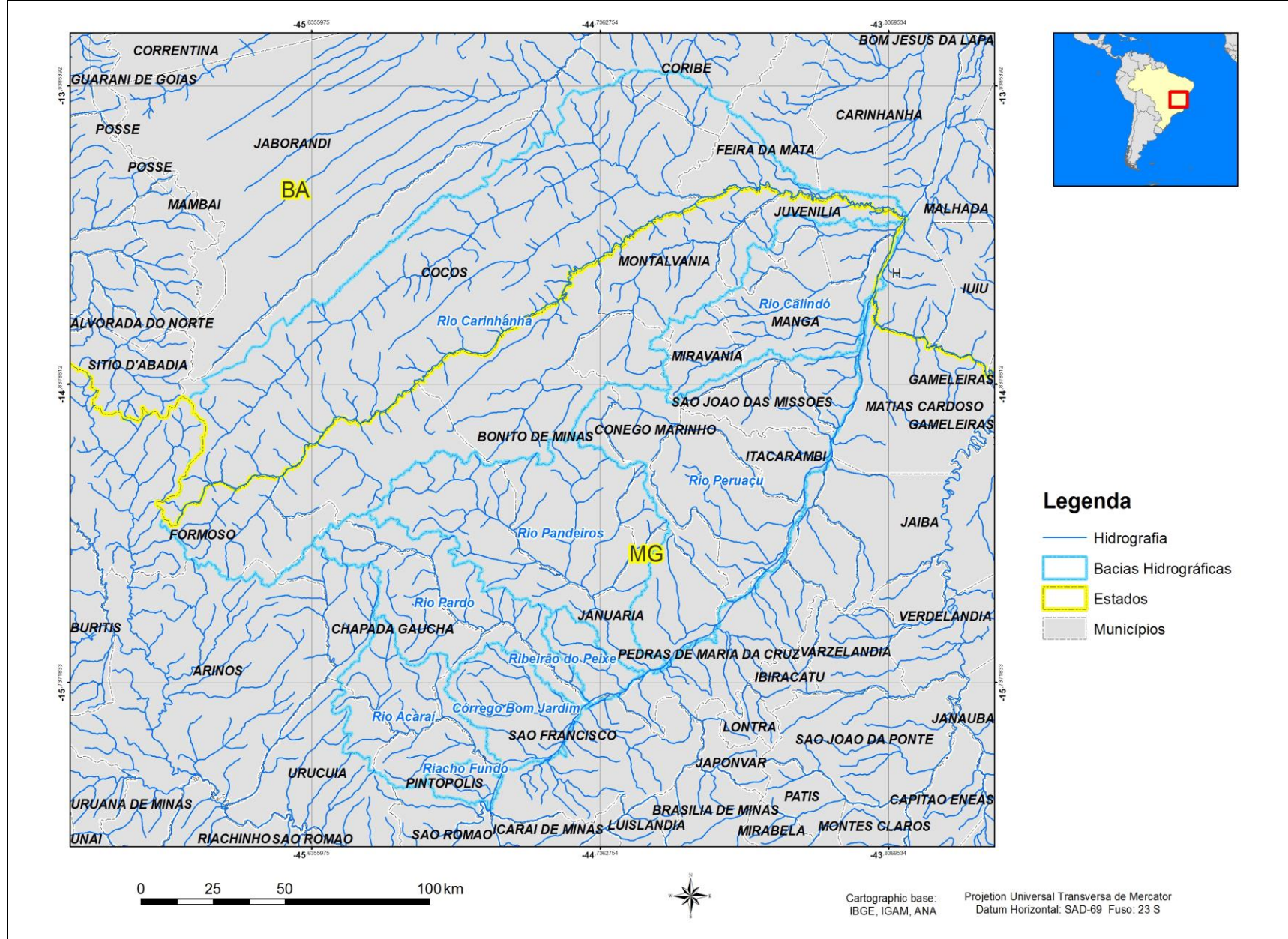




Figura 4: Rede de drenagem da área de estudo



Cartographic base: IBGE, IGAM, ANA  
Projection Universal Transversa de Mercator  
Datum Horizontal: SAD-69 Fuso: 23 S

É possível verificar através de imagens de satélite, como na Figura 5, que o polígono que corresponde à área de estudo sofreu forte intervenção antrópica, o que se deve principalmente a atividades agropecuárias que resultaram na supressão de grande parte da vegetação nativa. Várias delas que se estendem pelas chapadas existentes na região, estão associadas a canais fluviais, o que, em muitos casos, resulta em impactos para as veredas, rios e suas adjacências.

A região que apresenta a maior concentração de vegetação natural, segundo essa imagem, é a porção central da área de estudo, na qual estão localizados os Parques: Estadual das Veredas do Peruaçu e o Parque Nacional das Cavernas do Peruaçu. Dessa forma, há que se destacar a importância de tais unidades de conservação da região para a conservação do ambiente local.



Figura 5: Imagem de Satélite LandSat 3R 4G 5B da área de estudo



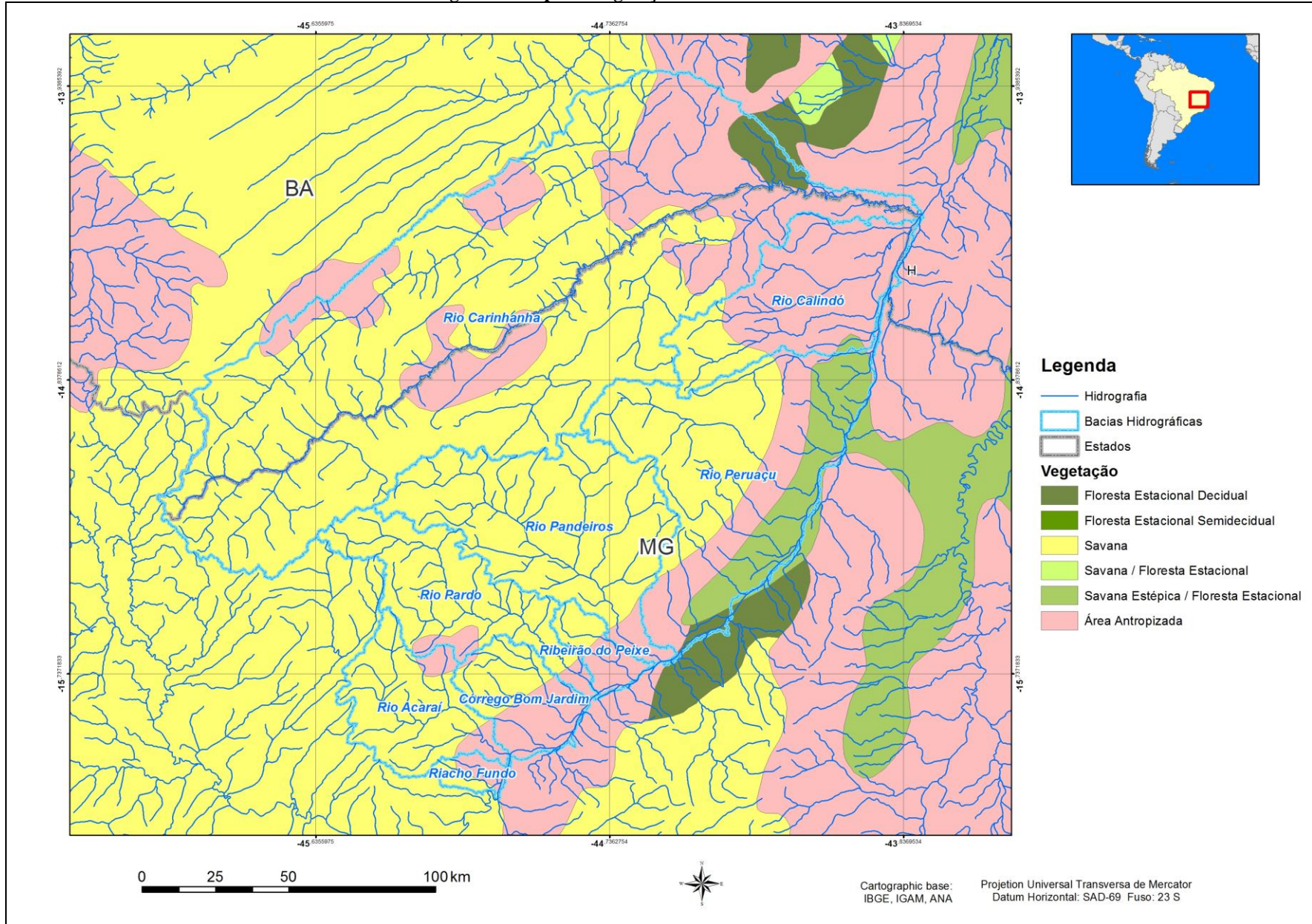


Essa área, que atualmente apresenta alto grau de degradação conforme pôde ser verificado na imagem de satélite da região (Figura 5), apresenta vegetação predominante do tipo savana, tendo como base a classificação da vegetação do Brasil realizado pelo IBGE (Figura 6). Essa vegetação de cerrado, bioma que abriga mais de 11000 espécies vegetais, além de uma grande variedade de fauna, é do tipo savânica (MMA, 2011).

A cobertura vegetal desse bioma é caracterizada pela presença de vegetação com troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas, que apresenta grande diversificação na sua área de ocorrência (MMA, 2011).

A região da área de estudo, tem como importante componente a ocorrência de veredas associadas ao bioma cerrado conforme discutido por Boaventura (1981).

**Figura 6: Mapa de vegetação nativa da área de estudo**



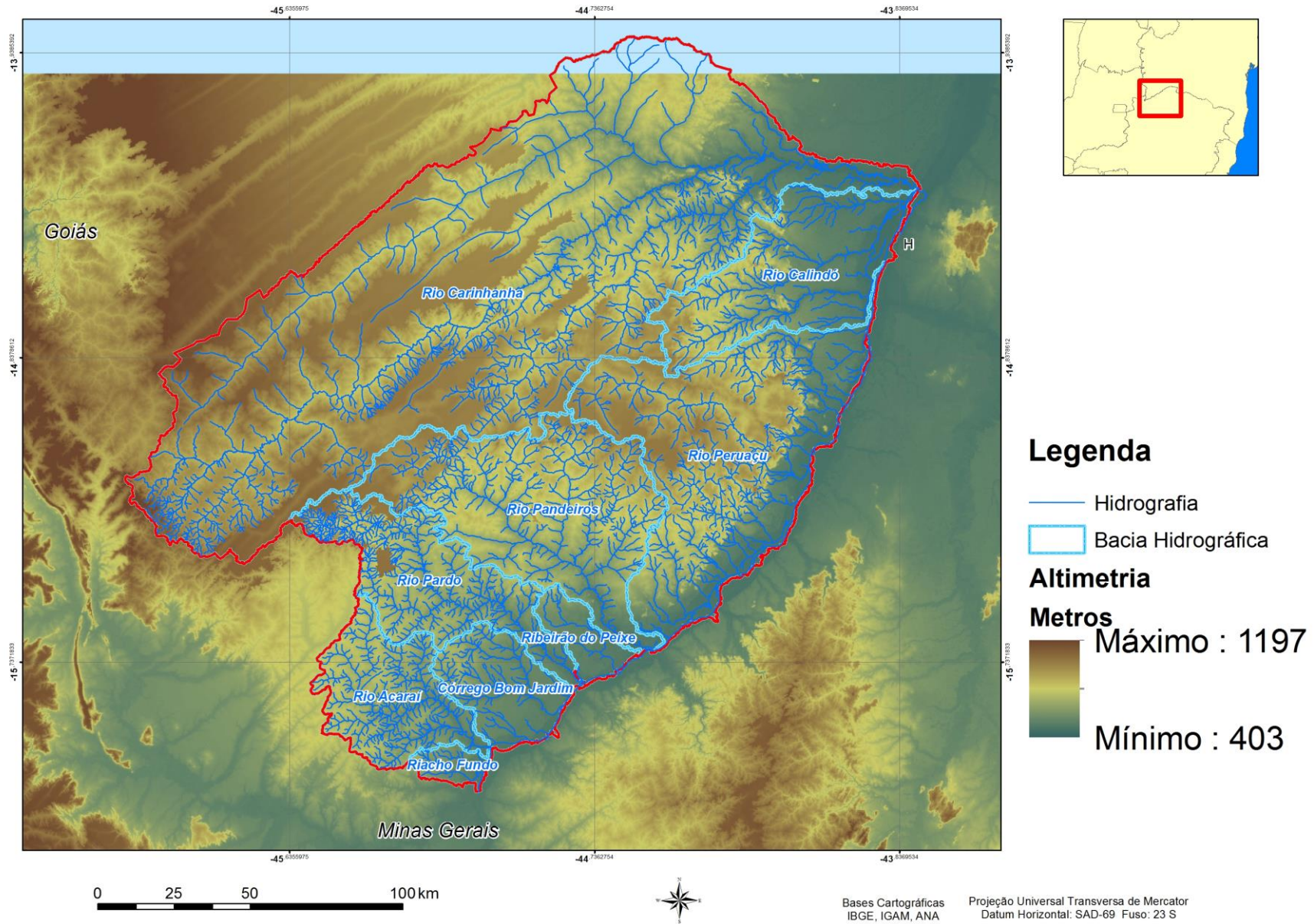
No que se refere às características do relevo, verifica-se que a área de estudo apresenta um quadro bem heterogêneo como pode ser verificado no Modelo Digital de Elevação – MDE (Figura 7), no qual se devolvem processos geomorfológicos que contribuem para a compreensão do comportamento das veredas no ambiente de cerrado e que foram analisados a partir de uma compartimentação geomorfológica.

As regiões mais planas ocorrem na porção leste da área de estudo, na planície do rio São Francisco, onde as cotas altimétricas variam entre 403 e 440 metros. As áreas mais elevadas predominam na porção oeste da área de estudo, em extensos planaltos, em especial na bacia do rio Carinhanha.

A ocorrência dessas características torna, portanto, a área de estudo uma unidade bem diversificada e capaz de contribuir para a compreensão da gênese das veredas em diferentes contextos ambientais.



Figura 7: Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo



A área de estudo apresenta a ocorrência das seguintes litologias.

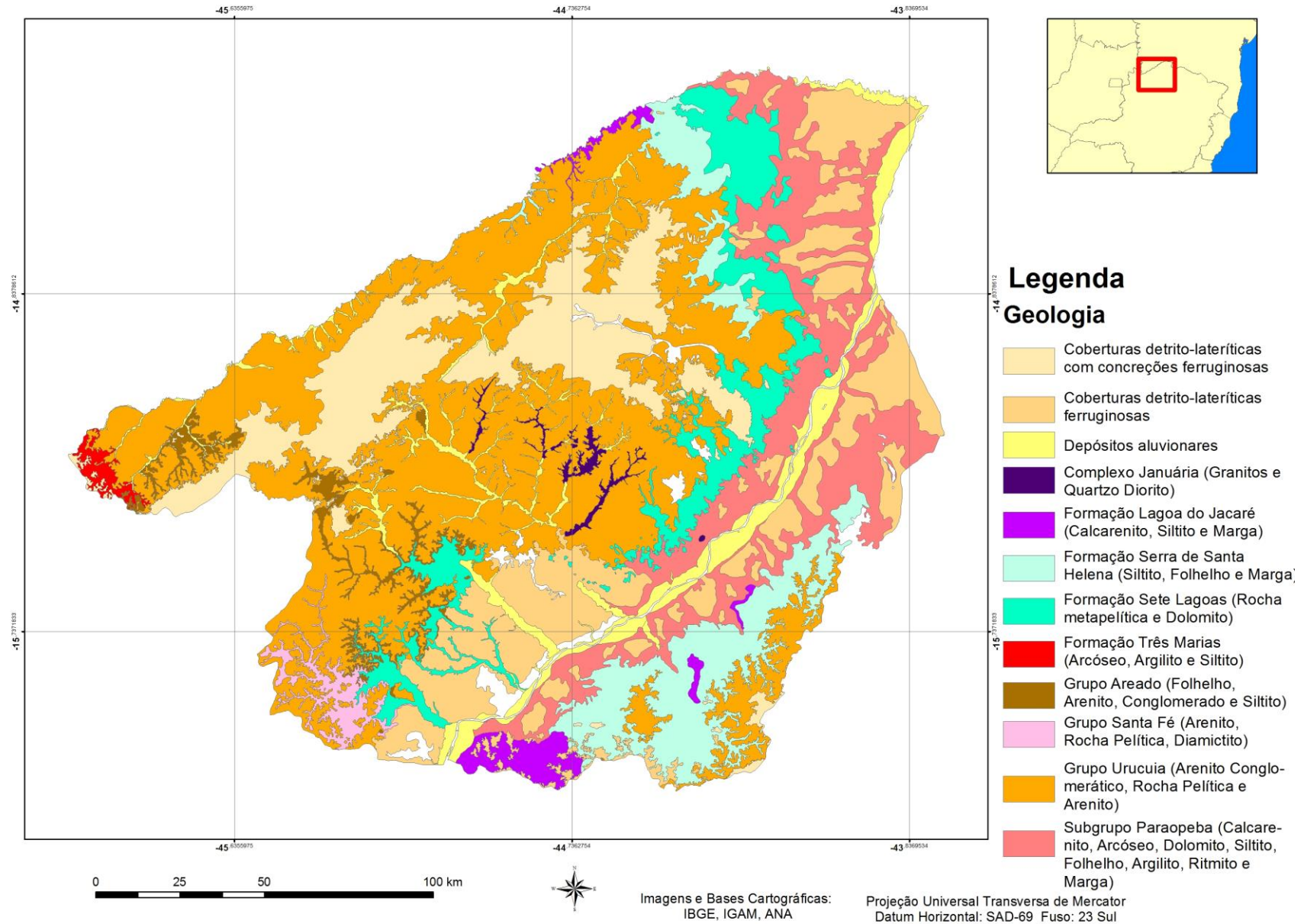
- Depósitos Aluvionares;
- Coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas;
- Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas;
- Complexo Januária;
- Grupo Areado;
- Grupo Santa Fé;
- Grupo Urucuia
- Formação Lagoa do Jacaré;
- Formação Serra de Santa Helena;
- Formação Sete Lagoas;
- Formação Três Marias;

O Grupo Urucuia é caracterizado como uma unidade Neocretácea, com espessura máxima de 400 metros, constituída por um conjunto de rochas siliciclásticas, em especial: arenitos, pelitos e arenitos conglomeráticos (SPIGOLON & ALVARENGA, 2002). Os depósitos aluvionares são constituídos de areia e cascalho (CPRM, 2003). A Formação Sete Lagoas, pertencente ao Grupo Bambuí, compreende uma sequência de rochas carbonáticas com intercalações de níveis argilosos (VIEIRA *et al.*, 2007). Já a Formação Serra de Santa Helena é resultante da sedimentação em águas calmas e profundas, que possibilitou a constituição de estratos plano-paralelos, característicos dos metapelitos e metargilitos que se assentam, em contato brusco, ou gradacional concordante, sobre os calcários da Formação Sete Lagoas (LIMA *et al.*, 2007).

O Grupo Areado corresponde a arenitos e ritmitos cretáceos depositados diretamente sobre metassedimentos do Grupo Bambuí, apresentando discordância erosiva no contato com essa unidade. O Grupo Santa Fé assenta-se discordantemente sobre a Formação Três Marias do Grupo Bambuí (Proterozóico Superior) e é recoberta pela Formação Areado (Cretáceo Inferior). O Grupo Areado é composto por arenitos, siltitos, argilitos e diamictitos (tilitos e tilóides) e está localizado estratigraficamente na base da Bacia Sanfranciscana (BRANDT & ESNERTO, 2006).

Já a Formação Três Marias, que ocorre na porção oeste da área de estudo é composta por arenitos arcoseanos médios e finos, mostrando truncamento de baixo ângulo e estratificação cruzada, intercalados em siltitos e ritmitos, depositados em plataforma siliciclástica (LIMA *et al.*, 2007). O complexo Januária, por sua vez, corresponde a rochas graníticas e gnaíssicas, conforme aponta CPRM (2003).

Figura 8: Mapa geológico da área de estudo.





## 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A geração dos resultados, bem como a elaboração do presente trabalho foi possível através da integração de informações secundárias levantadas para a área de estudo, bem como através da análise de dados primários levantados *in loco*, durante atividades de campo. Nesse sentido, as etapas do trabalho são apresentadas em três fases, que se referem às: i) atividades que precederam as campanhas de campo; ii) atividades realizadas em campo, e; iii) atividades pós-campo.

### 4.1. FASE 1 – PRÉ-CAMPO

Esta etapa do trabalho teve início com a análise de feições morfológicas, aspectos geológicos e padrão de drenagem da área de estudo por meio de imagens de satélite de alta resolução no Google Earth<sup>®</sup>, de cartas topográficas do IBGE na escala 1:100.000 e de mapas geológicos na escala 1:1.000.000. A partir dessas interpretações foram reconhecidos e cartografados macrocompartimentos com diferentes graus de dissecação que nortearam as atividades de campo. A partir da pré-definição desses macrocompartimentos, foram definidas áreas preferenciais para o levantamento de dados em campo, haja vista as grandes dimensões da área estudada.

A definição dessas áreas preferenciais para a realização de atividades de campo e a proposição prévia de macrocompartimentos foi precedida por uma ampla pesquisa bibliográfica na qual foram levantadas informações pertinentes ao tema, bem como a metodologias e estudos de caso de regiões específicas. Trata-se de etapa imprescindível e que permeia todo o trabalho, permitindo a construção de um sólido arcabouço teórico que alicerça todo o trabalho.

Foram ainda levantadas bases cartográficas, imagens cartográficas e outras informações georeferenciadas, passíveis de integração em *softwares* de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Dentre essas informações e recursos utilizados destacam-se:

- Imagens do sensor TM/Landsat 5, referentes às órbitas/ponto 220/069, 220/070, 219/069, 219/070, 218/069 e 218/070.
- Modelo Digital de Elevação obtido a partir de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) krigadas com resolução espacial de 30 metros, obtidas junto ao Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais - INPE (VALERIANO, 2005).



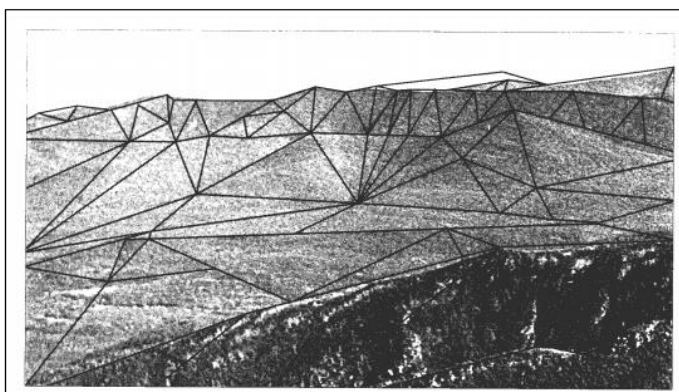
- Softwares ArcGIS 10, Google Earth e SPRING-INPE 4.3.
- Carta Geológica ao Milionésimo – Cartas SD 23 e SE 23. (CPRM, 2003).
- Dados primários obtidos em campanhas de campo.

Tanto nesta primeira etapa, como em todo o trabalho, foram consultadas obras referentes à área de estudo, buscando à melhor compreensão de suas características, incluindo diversos estudos relacionados aos assuntos abordados nesta dissertação, de modo a esclarecer as bases conceituais e as referências teóricas a partir das quais este trabalho se alicerça, dentre os quais se destacam Horton (1945), Schumm (1956) e Cristofolletti (1969, 1978).

#### ***4.1.1. Geração de MDE morfológica***

Os MDE`s podem ser constituídos por estruturas vetoriais caracterizadas por uma malha triangular (Triangular Irregular Network) com topologia do tipo nó/arco que representa a superfície por faces triangulares interligadas (Figura 9). Os vértices nesse tipo de modelo não apresentam, de uma maneira geral, valores de altitude iguais, o que faz com que cada triângulo apresente um determinado declive. A utilização desse tipo de estrutura resulta na criação de modelos com maior acurácia e precisão no que se refere à representação da forma do relevo (CHAVES, 2002; FONSECA, 2010).

**Figura 9: Rede irregular triangular sobreposta a imagem de relevo (CHAVES, 2002).**

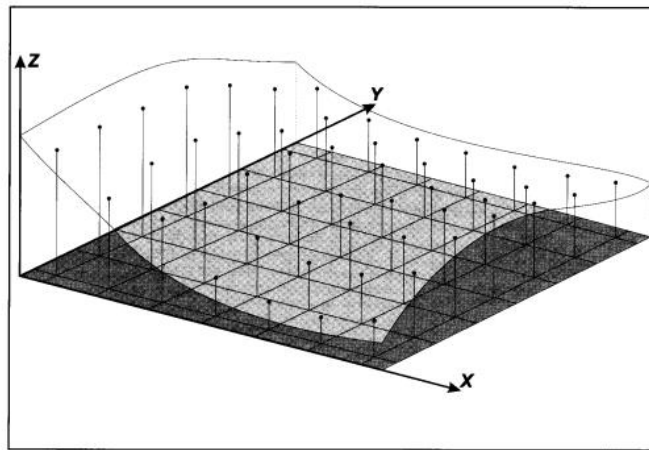


Fonte: Chrisman (1997).

Já os dados com estrutura matricial são formados por uma malha regular que representa regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo. Nessa estrutura cada pixel possui atribuído um valor numérico referente à topografia, conforme apresentado na Figura 6 (FELGUEIRAS & CAMARA, 2001; SPRING, 2004; FONSECA, 2010).

Apesar de suas características, o formato de grade retangular se mostra mais difundido por apresentar estrutura matricial com maior compatibilidade com as ferramentas de processamento digital de imagem, uma vez que tem o mesmo tipo de grade de imagens digitais (NAMIKAWA, 1995, apud CÂMARA E MEDEIROS, 1998; CHEREM, 2008). A estrutura dos dados dos MDE's gerados a partir dos modelos regulares de interpolação é denominada *lattice*, quando formada por pontos e grid, e de grade regular ou raster, na forma de células, quando os elementos apresentam seus valores médios de altitude armazenados em uma estrutura bidimensional como apresentado na Figura 10.

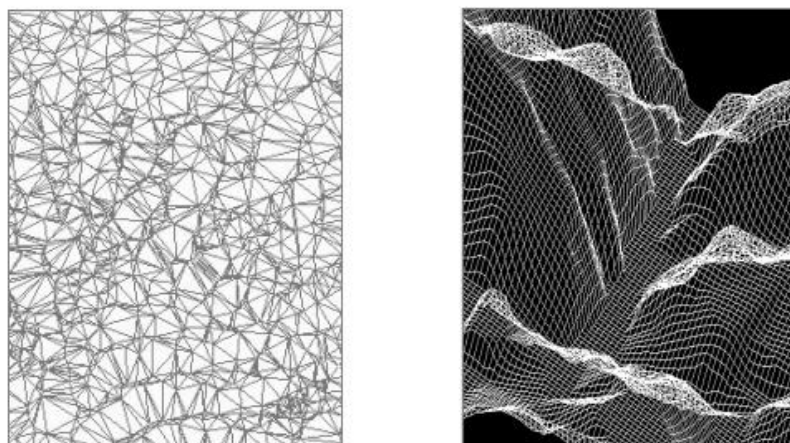
**Figura 10:** Porção de uma superfície e sua respectiva matriz regular (NAMIKAWA, 1995 apud CÂMARA & MEDEIROS, 1998).



Fonte: Namikawa (1995), citado por Câmara e Medeiros (1998).

A modelagem de superfícies através de malha regular em detrimento das malhas triangulares (Figura 11), conforme adotado no presente trabalho, permite a geração de modelos com maior qualidade visual, embora resulte em maior generalização das feições morfológicas (FONSECA, 2010).

**Figura 11: Malha triangular e Malha Retangular modelada (FONSECA, 2010).**



#### ***4.1.2. Redes de drenagem hidrologicamente consistentes***

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE`s) tem contribuído de maneira ímpar para os estudos hidrológicos na última década (TUCCI, 1997; SAMPAIO & AUGUSTIN, 2008, 2014; FONSECA & AUGUSTIN, 2014). A difusão da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) incentivou a integração de informações espaciais e os dados hidrológicos. Nesse sentido, a apresentação dos processos de obtenção da altimetria e de geração e tratamento dos MDE`s e da rede hidrográfica vetorial são indispensáveis para a avaliação da consistência morfológica e hidrológica desses dados, os quais devem ser compatíveis com as escalas de análise (CHEREM, 2008; FONSECA, 2010).

A rede de drenagem corresponde aos eixos preferenciais das águas superficiais com fluxo concentrado de origem pluvial ou fluvial, de caráter perene, intermitente, ou efêmero, possuindo como referenciais espaciais os talwegues (HORTON, 1932, 1945; STRALHER, 1957; MORISAWA, 1968; CHRISTOFOLETTI, 1969; TUCKER, 1998).

Nos MDE`s, a rede de drenagem é representada através de uma matriz binária na qual os pixels de valor 1 correspondem às áreas de fluxo concentrado de água superficial. Essa rede de drenagem é definida através da determinação de um valor limiar, a partir do qual os canais fluviais adquirem caráter perene. Jarvis (2004) e Martinez (2004), citados por Cherem (2008) reiteram ainda que a rede de drenagem extraída dos MDE`s tem sua consistência hidrológica similar à consistência dos MDE`s a partir do qual foram gerados.

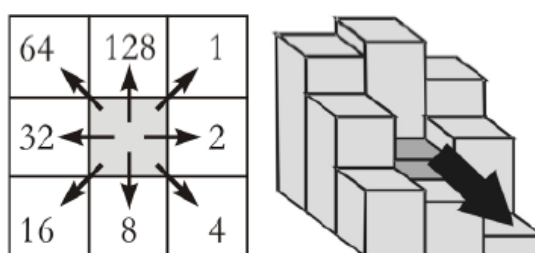
As duas fontes de dados da rede de drenagem (cartas topográficas e MDE`s) apresentam vantagens e desvantagens, as quais devem ser ponderadas antes que uma delas seja escolhida. A utilização de malhas vetoriais da rede de drenagem deve considerar as

características das cartas topográficas a partir das quais foram digitalizadas, em especial as variações de escala e as metodologias de fotointerpretação utilizadas de uma folha para outra, o que em muitos casos inviabiliza seu uso. Nesse sentido, a utilização de outras fontes de dados é uma alternativa, sendo a derivação da rede de drenagem em MDE's uma das opções mais utilizadas, em especial em estudos realizados em escala regional (CHAVES, 2002; FREITAS *et al.*, 2005; CHEREM, 2008; SAMAPAI & AUGUSTIN, 2014).

Rosim e Pellegrino (2001), citado por Fonseca (2010) apresentaram três metodologias distintas para extração da drenagem: esqueletização por multi-níveis, triangulação, e a D8S, dentre as quais estes autores optaram pela implementação da última no software SPRING/INPE. Esse método calcula a declividade do pixel em análise tendo como referência seus oito vizinhos pixels mais próximos, a partir dos quais é calculada a diferença das elevações. Nas direções horizontal e vertical, a distância coincide com os lados das células, enquanto na diagonal, os valores dos lados das células são multiplicados por  $2^{1/2}$ .

A Figura 12 representa a célula de onde partem as setas que representa o pixel em análise, ou seja, a área fonte de onde escoar a água. De acordo com o método D8, a direção de fluxo ocorre para somente uma das células vizinhas, ou seja, a da direção mais íngreme (BUARQUE *et al.*, 2009, apud FONSECA, 2010).

**Figura 12: Arranjo direcional no método D8 (CHAVES, 2002).**



O procedimento seguinte consiste em uma análise cujas referências são os valores reais de topografia presentes no MDE, através de uma máscara 3x3, na qual o pixel central é avaliado em relação aos seus oito vizinhos mais próximos, e as direções de fluxo são codificadas em potências de 2 (Figura 13), começando em 20 em sentido horário (FONSECA, 2010; CHAVES, 2002). Esse procedimento permite a aplicação de diversas outras técnicas para obtenção da rede de drenagem, a depender dos objetivos propostos.

**Figura 13: Determinação das direções de fluxo da rede de drenagem (MARCELLINE, 2002, apud FONSECA, 2010).**

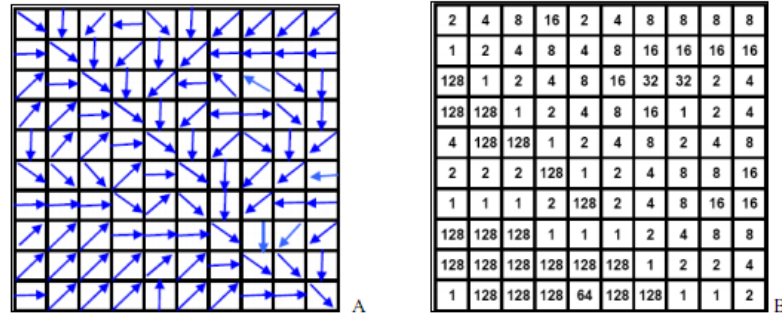


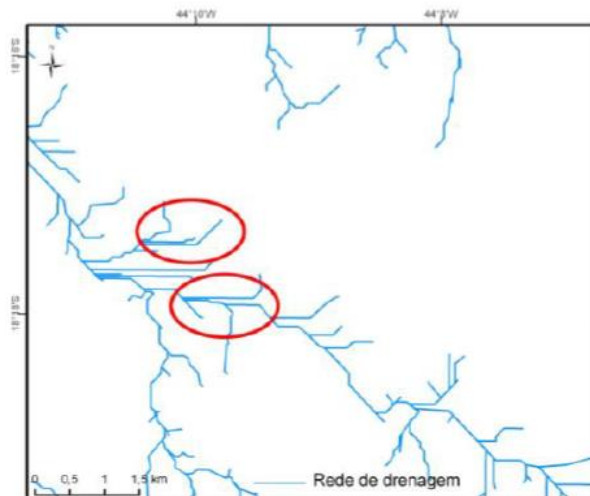
Figura 9 - Esquema das direções de fluxo da rede de drenagem. A) vetores direcionais. B) Códigos de direção (D8).  
Fonte: Marcelline (2002)

#### 4.1.3. Geração de Parâmetros Morfométricos

Para a análise adequada dos parâmetros morfométricos é de suma importância a utilização de bases cartográficas consistentes do ponto de vista hidrológico e morfológico. Devido às inconsistências morfológicas encontradas na rede de drenagem restituída automaticamente através do MDE, optou-se pelo uso da rede de drenagem oficial (IBGE/GEOMINAS) após sua correção topológica.

A restituição da rede de drenagem através de MDE foi uma alternativa ao uso das bases topográficas do IBGE/GEOMINAS, mas seu uso não se mostrou viável devido a inconsistências tais como a ocorrência de trechos excessivamente retilíneos conforme é possível observar na Figura 14.

**Figura 14: Inconsistência na rede de drenagem restituída através de MDE Fonte: adaptado de Fonseca (2010).**

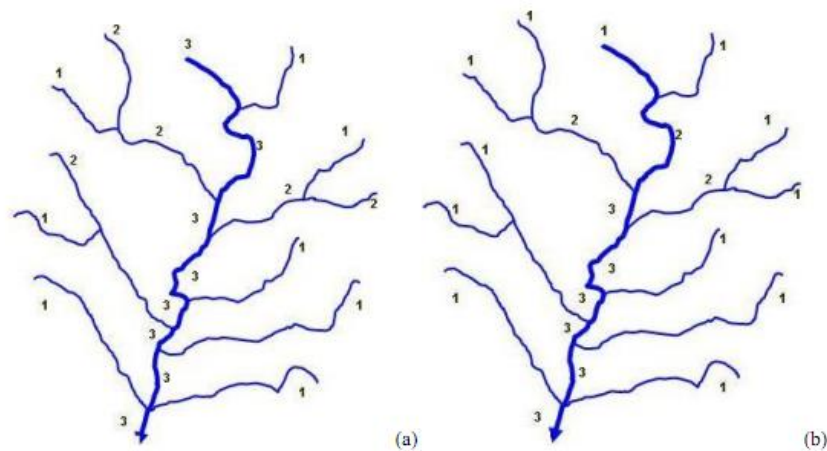


#### 4.1.3.1. Classe linear

A análise dos parâmetros associados à classe linear está associada aos atributos que mensuram a rede de drenagem da bacia de drenagem no que se refere a seu comprimento, sua hierarquia e seu número, bem como as relações decorrentes de sua interação.

Os parâmetros associados à hierarquia fluvial dos canais correspondem à ordenação dos rios dentro das bacias hidrográficas. Essa hierarquização pode ter como referência os canais de primeira ordem como aqueles que não apresentam tributários, enquanto os canais de segunda ordem são formados a partir da confluência de dois canais de primeira ordem, conforme propõe Strahler (1957). Já o procedimento de hierarquização proposto por Horton (1945) considera os canais de primeira ordem, os que não apresentem tributários, embora nem todas as cabeceiras representem cabeceiras de primeira ordem (Figura 15). Neste trabalho, optou-se por adotar a hierarquização proposta por Strahler, haja vista a adequação de seu método aos indicadores utilizados no mesmo.

**Figura 15: Modelo de hierarquização fluvial proposto por Horton (1945) (a) e Strahler(1952) (b) (FONSECA, 2010).**



De acordo com Cherem (2008), a relação de bifurcação é um parâmetro definido por Horton (1945), e reformulado por Strahler (1957), que representa a razão entre o número total de canais de certa ordem, e o número total de canais de ordem imediatamente superior, cujos valores, dentro de uma mesma bacia, devem ser constantes e jamais inferior a 2, apesar desse parâmetro ser altamente estável, tendo em vista que apresente forte controle estrutural. O indicador é determinado por:

$$R_b = \frac{N_w}{N_{w+1}}$$

onde:  $N_w$  corresponde ao número total de canais de determinada ordem, enquanto  $N_{w+1}$  corresponde ao número total de canais de ordem imediatamente superior (SANTA CATARINA, 1997; CHEREM, 2008; FONSECA, 2010).

A relação de normalidade de uma dada bacia hidrográfica é dada pelo comprimento médio dos canais de cada ordem ( $RL_m$ ), na qual  $L_{m_u}$  é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e  $L_{m_{u-1}}$  é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (SANTA CATARINA, 1997; CHEREM, 2008; FONSECA, 2010).

A equação utilizada é dada por:

$$RL_m = \frac{L_{m_u}}{L_{m_{u-1}}}$$

A Relação entre os gradientes dos canais ( $R_{gc}$ ) é regida pela terceira lei de Horton, segundo a qual o grau de normalidade de uma dada bacia hidrográfica, relaciona a declividade média dos canais de cada ordem com a declividade dos canais de ordem imediatamente superior (CHRISTOFOLETTI, 1980; FONSENCA, 2010).

$$R_{gc} = \frac{G_{cw}}{G_{cw+1}}$$

onde:  $G_{cw}$  é a declividade média dos canais de determinada ordem;  $G_{cw + 1}$  é a declividade média dos canais de ordem imediatamente superior.

O Índice de sinuosidade do canal principal ( $I_s$ ) é um parâmetro apresentado inicialmente por Horton (1945), citado por Alves e Castro (2003) e por Fonseca (2010), como sendo uma das formas de representar a influência da carga sedimentar, a compartimentação litológica e estrutural, assim representada:

$$I_s = \frac{L}{d_v}$$

onde:  $L$  é o comprimento do canal principal; e  $dv$  é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal (CHEREM, 2008).

#### 4.1.3.2. Classe Zonal

No referente aos parâmetros zonais, os atributos da bacia hidrográfica correlacionam os valores ideais e à rede de drenagem, sendo dados por: índice de circularidade, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, relação entre área de bacias e coeficiente de manutenção (CHEREM, 2008; FONSECA, 2010).

O Índice de circularidade ( $I_c$ ) é uma proposição de Miller (1953) citado por Christofolletti (1978), segundo o qual o comprimento vetorial ( $dv$ ) do canal e o valor de  $I_c$  correlacionam um valor ideal a um mensurado. O  $I_c$  é dado por:

$$I_c = \frac{A}{A_c}$$

onde:  $A$  é a área da bacia;  $A_c$  é a área de um círculo que tenha o perímetro idêntico ao da bacia considerada.

A Densidade de rios ( $D_r$ ), ou densidade hidrográfica ( $D_h$ ) proposta por Horton (1945), estabelece a relação entre o número de cursos d'água e a área de uma dada bacia, sendo dada pela seguinte equação:

$$D_h = \frac{N}{A}$$

onde:  $N$  é o número total de rios; e  $A$  é a área da bacia. Esse indicador representa a magnitude da rede hidrográfica, apontando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características ambientais da área, tais como pedológicas, geológicas e climáticas da área (LANA & ALVES, 2001).

Já a Densidade de drenagem ( $D_d$ ) estabelece a relação entre o comprimento total ou ordem hierárquica dos canais de drenagem e a área de drenagem, sendo dado pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$



onde:  $L_t$  é o comprimento total dos canais;  $A$  é a área total da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1970; CHEREM, 2008)

A Relação entre as áreas das bacias ( $R_A$ ) representa a relação o tamanho médio das bacias para cada um dos canais de uma determinada ordem e as bacias de ordem sucessivamente inferior (HORTON, 1945) dada por:

$$R_A = \frac{A_w}{A_{w-1}}$$

onde  $A_w$ : é a área média das bacias de determinada ordem;  $A_{w-1}$  é a área média das bacias de ordem imediatamente inferior.

O Coeficiente de manutenção ( $C_m$ ) por sua vez, corresponde à área necessária a formação de um canal com fluxo perene, sendo representado matematicamente pela razão inversa da densidade de drenagem da bacia ( $D_d$ ), sendo considerado um dos parâmetros mais significativos para estudos morfométricos (SCHUMM, 1956):

$$C_m = \frac{1}{D_d} \times 1.000$$

#### **4.1.3.3. Classe Hipsométrica**

Os parâmetros hipsométricos correlacionam a variação altimétrica à área e a rede de drenagem de uma mesma bacia, sendo representados pelo índice de rugosidade e declividade.

O Índice de rugosidade ( $I_r$ ) é representado por um número adimensional, que segundo Strahler (1958), representa aspectos da declividade e comprimento da vertente por meio do contrabalanço da amplitude altimétrica ( $H$ ) e a densidade de drenagem ( $D_d$ ), visto que, se a  $D_d$  aumenta enquanto o valor de  $H$  permanece constante, a distância horizontal média entre a divisória e os canais adjacentes, será reduzida, vindo acompanhada de aumento na declividade das vertentes. Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores ( $D_d$  e  $H$ ) são elevados, isto é, as vertentes são longas e íngremes (CHRISTOFOLETTI, 1978; CHEREM, 2008).

A presente pesquisa utiliza o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), discutidos por Sampaio e Augustin (2008, 2014) no qual se aplica o “estimador de densidade por

Kernel” como referencial de distribuição espacial da declividade. A partir da repetição dos valores de declividade por unidade de área, obtêm-se valores indiretos de rugosidade e do entalhamento do relevo.

Por fim, a Declividade média ( $D_m$ ) é um parâmetro que representa a energia e a intensidade de atuação dos processos morfogenéticos, incluindo a dinâmica dos escoamentos superficiais concentrados e difusos (laminar) nas vertentes. Quando associada à declividade máxima, possibilita comparações sobre energia máxima e média dentro das bacias hidrográficas (CHEREM, 2008; FONSECA, 2010).

## 5.2. FASE 2 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO

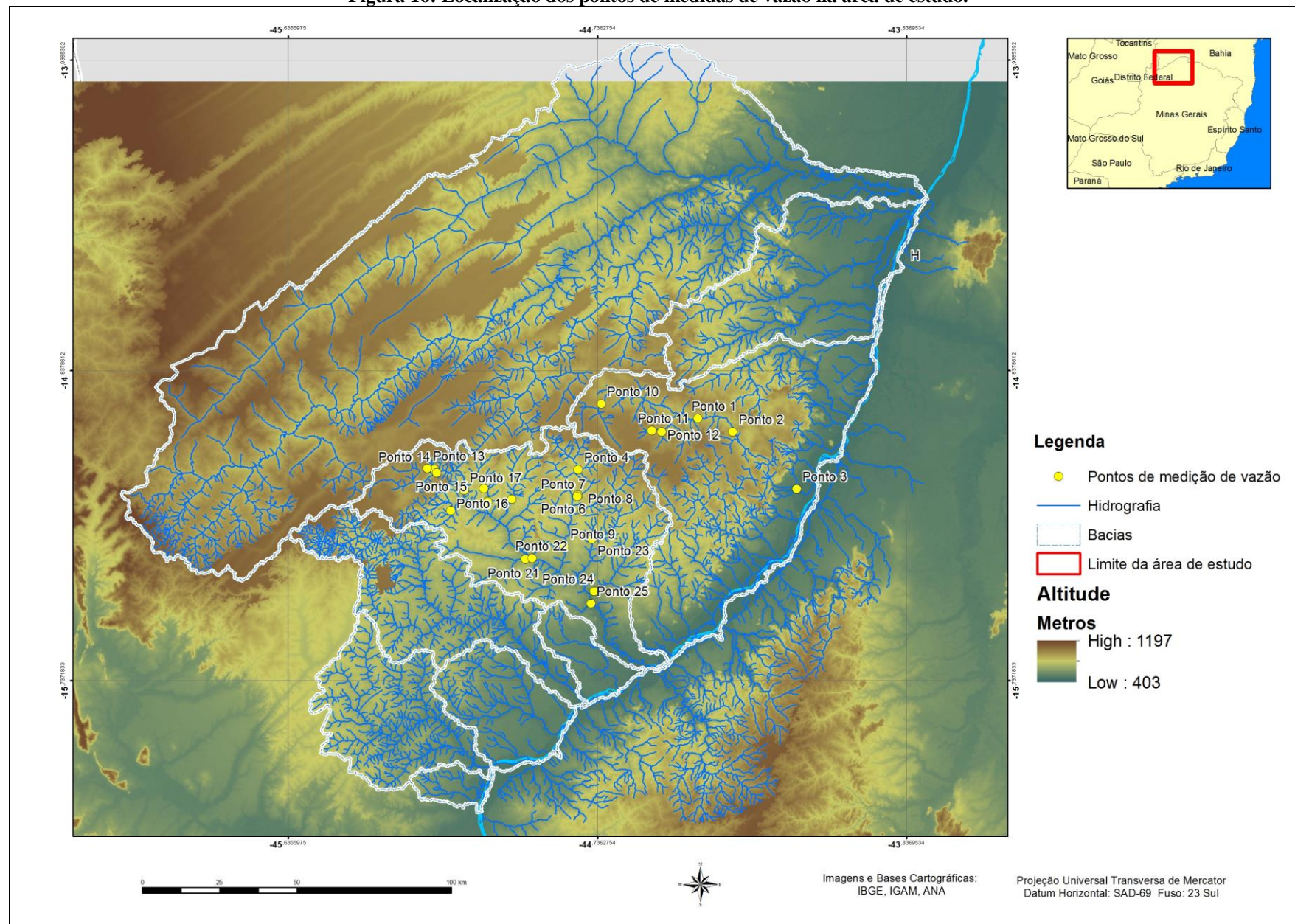
Com o intuito da identificação das características do relevo associadas à ocorrência de veredas, foram realizadas três campanhas de campo para o durante o desenvolvimento do trabalho. Os dados obtidos em campo permitiram a obtenção de dados primários acerca de características locais que foram integradas aos aspectos levantados por meio de ferramentas de geoprocessamento permitindo o estabelecimento de correlações entre a ocorrência de veredas e as formas do relevo.

As duas primeiras atividades de campo, ocorridas nos anos de 2010 e 2011, possibilitaram o reconhecimento das características das diferentes bacias hidrográficas inseridas na área de estudo, bem como das veredas nelas inseridas. A partir dessas atividades de campo foi possível verificar a heterogeneidade da área de estudo no que tange às características dos aspectos físicos, e à distribuição espacial das veredas.

A terceira campanha de campo foi concentrada nas bacias dos rios Pandeiro e Peruaçu, nas quais foram levantados dados de vazão e características das veredas e dos rios nelas inseridos. Destaca-se que a opção por essas duas bacias hidrográficas se deve ao fato de se encontrarem em um estágio intermediário de evolução do regional do relevo, haja vista as características geomorfológicas identificadas *in loco* e os parâmetros morfométricos, e dados morfológicos previamente elaborados para a área de estudo.

O levantamento de vazões de cursos de água e de veredas ao longo da área de estudo, foi realizado como forma de complementar dados sobre a dinâmica hídrica da área de estudo, apesar de considerar que essas medidas têm significância relativamente baixa, uma vez que se trata de medidas pontuais e temporalmente limitadas. No entanto, contribuem para contextualizar os demais dados com base na vazão. Para tanto, foi realizada medição de vazão de 25 pontos nas bacias dos rios Peruaçu e Pandeiros, como apresentados na Figura 16.

Figura 16: Localização dos pontos de medidas de vazão na área de estudo.



### **5.3. FASE 3 – PÓS-CAMPO**

As informações geradas a partir da aplicação dos indicadores morfométricos foram analisadas juntamente com os dados obtidos em campo, tendo como base os materiais cartográficos e bibliográficos pesquisados. Através desses procedimentos foi possível estabelecer uma relação entre a evolução do relevo na área de estudo e a ocorrência de veredas. Essas informações geradas subsidiam a análise dos processos associados à evolução do relevo no norte de Minas Gerais, bem como a proposição de uma macro-compartimentação do relevo.

As informações geológicas, pedológicas e climáticas foram compiladas e analisadas a partir da revisão bibliográfica e do levantamento de dados cartográficos. Embora os materiais cartográficos apresentem escalas diferentes, elas foram integradas a fim de gerar informações nas escalas mais representativas. As informações das características físicas das bacias, bem como os dados primários obtidos em campo e as análises dos parâmetros morfométricos da área, permitiram uma melhor compreensão das suas características naturais, dos fenômenos associados à sua gênese, e das fragilidades naturais do sistema.

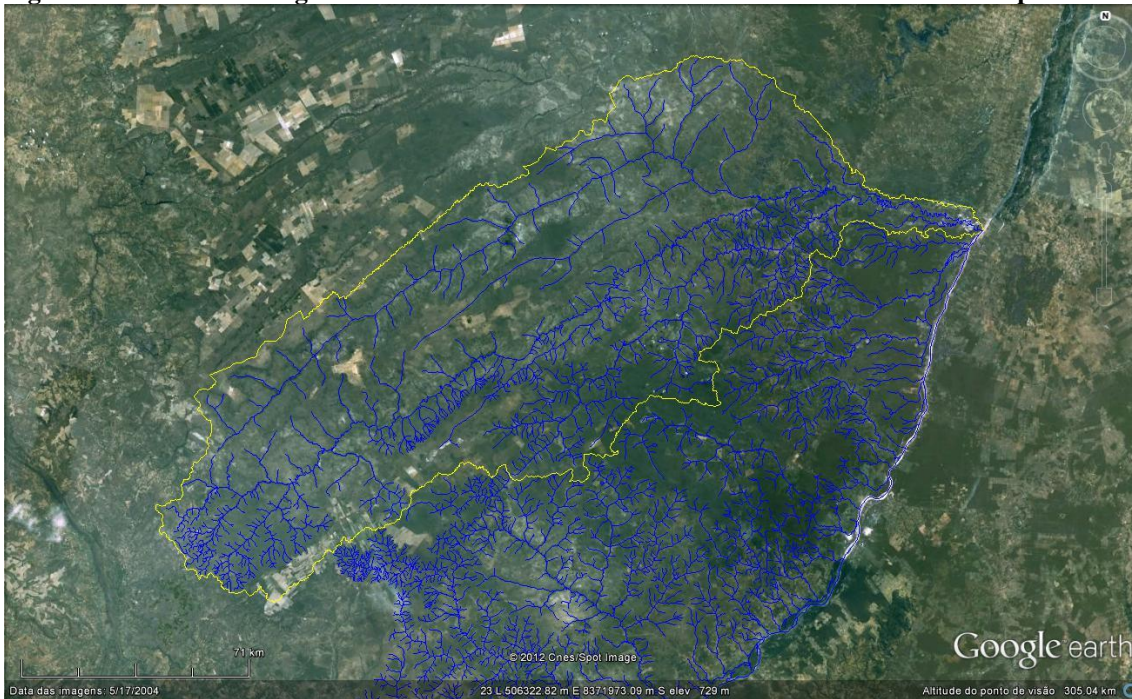
## **6. RESULTADOS**

### **6.1 – CARACTERÍSTICAS DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA NA ÁREA**

A partir da análise do mapa geológico da área de estudo (Figura 8), bem como da morfologia do relevo a partir do MDT (Figura 7), verifica-se que a dinâmica de evolução do relevo ocorre a partir da dissecação das extensas chapadas desenvolvidas sobre rochas arenosas do Grupo Urucuia, bem como sobre coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas sotopostas a ele. As bacias hidrográficas que ocorrem nessa área apresentam forte influência de lineamentos estruturais, em especial a bacia do rio Carinhanha, cujo padrão de drenagem é paralelo conforme pode ser visualizado na Figura 17.



**Figura 17: Rede de drenagem na bacia do rio Carinhanha em área sobre domínio do Grupo Urucuia.**



## **6.2. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS**

### **6.2.1. Distribuição Espacial dos Parâmetros Morfométricos**

#### **6.2.1.1. Dimensões das bacias hidrográficas**

A porção da margem esquerda do rio São Francisco que corresponde à área de estudo é drenada por canais que apresentam características extremamente heterogêneas no que tange a suas características morfológicas (Figura 7). As principais bacias que compõem a área de estudo são apresentadas na Tabela 1:

**Tabela 1: Dimensões das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo.**

<b>Bacia</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Comprimento da hidrografia (km)</b>
Rio Carinhanha	36774,59	42052,99	9462,49
Rio Peruaçu	13505,17	19253,40	4303,47
Rio Pandeiros	8526,05	14531,14	3272,25
Rio Calindó	5708,42	8072,11	2015,27
Rio Pardo	4415,70	10561,35	2675,89
Rio Acaraí	3514,52	8260,52	2028,67
Córrego Bom Jardim	2334,95	4335,97	1049,06
Ribeirão do Peixe	1314,66	1530,46	313,36
Riacho Fundo	748,33	1157,06	241,74

As maiores bacias hidrográficas correspondem às áreas de drenagem do rio Carinhanha, Peruaçu e Pandeiros, que se encontram localizadas na porção norte da área de estudo. Trata-se de bacias que ocupam grandes áreas de chapadas que permitem a formação de uma extensa rede de drenagem (Tabela 1).

#### **6.2.1.2. Características topográficas**

Os maiores registros de altitude máxima e de média altimétrica, conforme pode ser verificado na Tabela 2, ocorrem na bacia do riacho Fundo, localizada na extremidade sul da área de estudo. Além dela, as bacias do rio Pardo, córrego Bom Jesus e rio Pandeiros, também inseridas na porção sul, apresentam as maiores médias de altitude, seguidas pela bacia do rio Carinhanha, localizado na extremidade norte da área de estudo. Já as bacias dos rios Acaraí, Peruaçu, Calindó e ribeirão do Peixe possuem, respectivamente, os menores valores médios de altimetria.

Com exceção da pequena área drenada pelo ribeirão do Peixe, as bacias do riacho Fundo, rio Pandeiros, córrego Bom Jardim, rio Pardo e rio Acaraí no sul da área de estudo, apresentam as maiores amplitudes altimétricas, quando comparadas às bacias dos rios Carinhanha, Peruaçu e Calindó, a norte (Figura 4 e Tabela 2). Embora a amplitude altimétrica não seja o único fator que determina a energia dos canais fluviais, é um parâmetro que contribui para a compreensão da dinâmica de evolução do relevo na área de estudo, bem como em sua relação com a ocorrência de veredas no norte de Minas Gerais.

Tabela 2: Características altimétricas das bacias na área de estudo

<b>Bacias</b>	<b>Mínimo (m)</b>	<b>Máximo (m)</b>	<b>Amplitude (m)</b>	<b>Média (m)</b>	<b>Desvio Padrão (m)</b>
Rio Carinhanha	459	696	237	587,324	50,6642
Rio Calindó	441	623	182	514,086	37,6695
Rio Peruaçu	432	634	202	516,953	38,8122
Rio Pandeiros	445	878	433	623,704	91,8749
Ribeirão do Peixe	443	656	213	500,724	34,562
Rio Pardo	446	858	412	667,464	87,0984
Córrego Bom Jardim	417	842	425	640,435	127,452
Rio Acaraí	417	828	411	555,612	100,686
Riacho Fundo	433	959	526	715,685	106,499

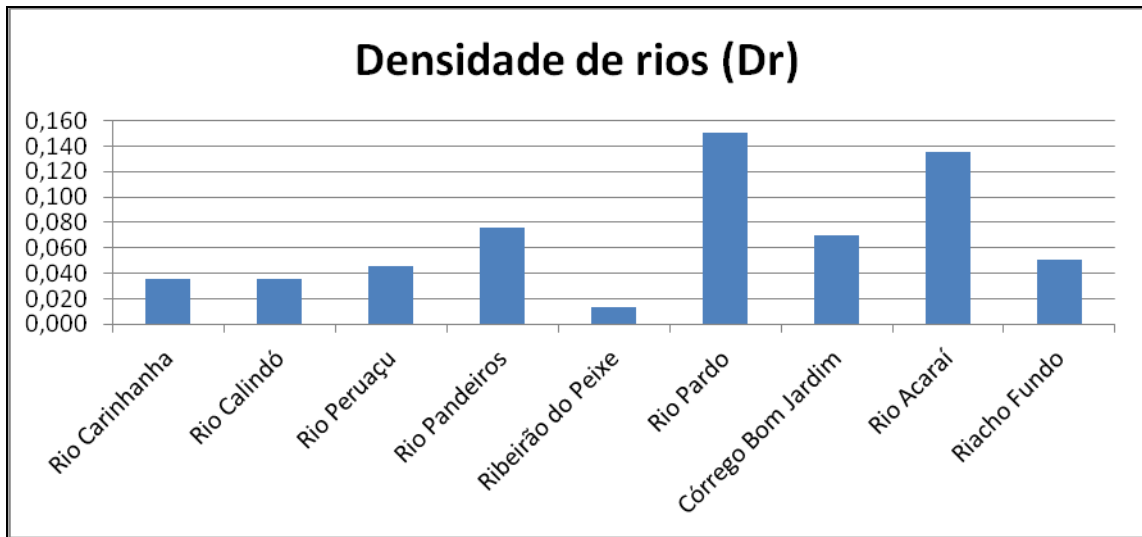
### 6.2.1.3. Índice de Densidade de rios (*Dr*)

A configuração espacial das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo pode ser verificada através da densidade de rios (*Dr*), apresentada na Figura 18. Ela revela que dentre as cinco bacias que contam com as maiores áreas, a bacia do rio Pardo apresenta a maior densidade de rios (0,151), índice que possui relação com a quantidade de canais fluviais existentes nas bordas das chapadas areníticas existentes na área de estudo. Esse contexto também ocorre na bacia do rio Acaraí que apresenta o segundo maior índice de densidade de rios (0,136). Valores elevados da densidade de rio são indicativos do grau também mais elevado de dissecação do relevo, decorrentes de fatores tais como declividade, a presença de material subsuperficial pouco permeável, baixa densidade da cobertura vegetal, dentre outros.

Os índices de densidade de rios diminuem a partir da bacia do rio Pardo em direção a norte, motivo pelo qual a bacia do rio Pandeiros apresenta índice de 0.076, o rio Peruaçu 0.045 e os rios Carinhanha e Calindó, 0.035 (Figura 18). As bacias hidrográficas do ribeirão do Peixe, córrego Bom Jardim e Riacho Fundo, localizadas na porção sul da área de estudo e que apresentam áreas menores do que as demais, contam com densidades de rios de 0.014, 0.69 e 0.51, respectivamente. Esses índices parecem indicar que, em função de seus atributos físicos, as bacias hidrográficas da área de estudo têm grande dificuldade para formação de novos canais, em especial na porção norte da área estudada que apresenta baixa declividade.



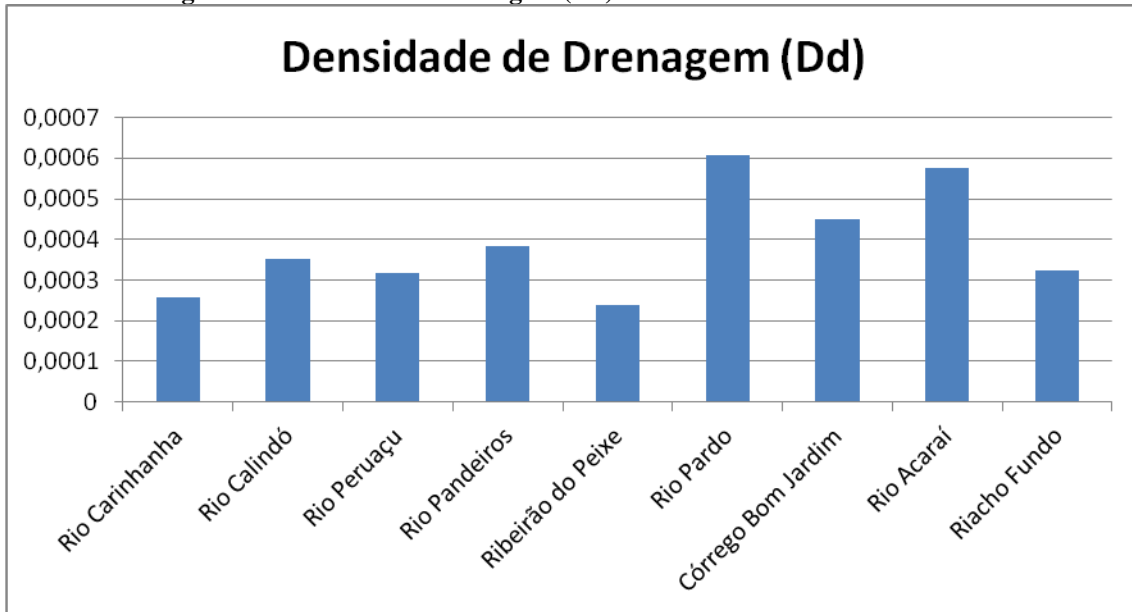
**Figura 18: Densidade de rios (Dr) nas bacias inseridas na área de estudo.**



#### **6.2.1.4. Densidade de Drenagem**

A densidade de drenagem é uma variável que se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, haja vista que eles influenciam no fornecimento e no transporte de material detrítico, ou indicam o grau de manipulação antrópica (CHRISTOFOLETTI, 1978; SANTA CATARINA, 1997). Como pode ser observado pelos valores da Densidade de Drenagem (Dd), na Figura 19, as bacias do rio Pardo e do rio Acaraí apresentam os maiores índices, seguidas das bacias do córrego Bom Jardim e rio Pandeiros, que se encontram localizadas em áreas onde predominam extensas chapadas (Figura 7). As bacias dos rios Carinhanha, rio Calindó, rio Peruaçu e rio Pandeiros, que se estendem pelas chapadas associadas ao Grupo Urucua, apresentam índices de densidade de drenagem menores. Baixos valores podem indicar que a de Densidade dos Rios (Dr) não representa elementos importantes na dissecação do relevo, tratando-se de bacias nas quais o material erodido tende a ficar retido na própria bacia.

**Figura 19: Densidade de drenagem (Dd) nas bacias inseridas na área de estudo.**

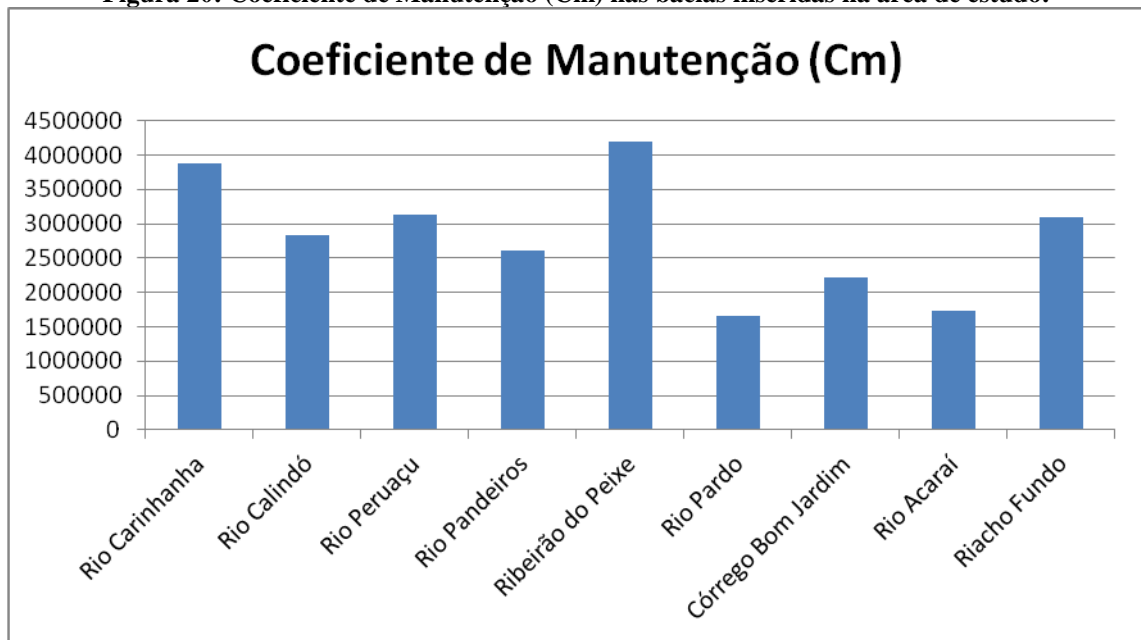


#### **6.2.1.5. Coeficiente de Manutenção**

O Coeficiente de Manutenção (Cm) indica a capacidade de uma bacia em gerar fluxo constante, promovendo erosão e reafeiçoando o relevo. Dessa forma, o Coeficiente de Manutenção (Cm) indica a área necessária para a formação de um canal com fluxo perene. A bacia do ribeirão do Peixe é a que tem o maior coeficiente de manutenção (Cm) calculado conforme metodologia proposta por Schumm (1956), cujos valores são apresentados na Figura 20. Além dela, verifica-se que as bacias dos rios Carinhanha, Calindó, Peruaçu e Pandeiros, localizadas em áreas associadas às chapadas desenvolvidas sobre rochas do Grupo Urucua, nas quais existe grande ocorrência de veredas, apresentam altos coeficientes de manutenção (Cm).

Como pode ser visto na mesma Figura 20, as bacias do rio Pardo e Acaraí, além do córrego Bom Jardim, que estão inseridas em áreas que apresentam maior grau de dissecação do relevo, apresentam menores coeficientes de manutenção (Cm), da ordem de 20km<sup>2</sup>. Uma análise preliminar das condições geológicas indica a existência de contatos litológicos, enquanto as geomorfológicas, associadas a rupturas de declive nas bordas das chapadas, indicam que possivelmente esta constitui uma área de exfiltração de água, com a consequente formação de canais fluviais. Por esse motivo, essas bacias necessitam de áreas menores para a manutenção de seus rios.

**Figura 20: Coeficiente de Manutenção (Cm) nas bacias inseridas na área de estudo.**



#### **6.2.1.6. Índice de Bifurcação**

A análise do Índice de Bifurcação, definido por Horton (1945) e reformulado por Strahler (1952), apresentado na Tabela 3, indica a variação do controle estrutural, motivo pelo qual sua interpretação é utilizada determinar se o padrão de drenagem foi alterado por causas estruturais. Verifica-se que nas bacias da área de estudo a relação entre canais fluviais com aqueles de ordem imediatamente superior, tem valores que variam entre 1 e 2 em todas as bacias hidrográficas. A exceção ocorre nas relações com os canais de maior ordem, quando os rios estão próximos do nível de base local de suas respectivas bacias, principalmente nas bacias do rio Carinhanha e rio Peruaçu. Tal variação se deve a grande quantidade de segmentos de alta hierarquia fluvial e a pequena quantidade de segmentos de baixa hierarquia fluvial. A proximidade dos valores da relação de bifurcação dos canais de primeira e segunda ordem nas bacias aponta indica que parece ocorrer certa estabilidade nas zonas de cabeceiras.

**Tabela 3: Índice de bifurcação nas bacias na área de estudo**

Bacia	Ord 1 / Ord 2 / Ord 3 / Ord 4 / Ord 5	Ord 2	Ord 3	Ord 4	Ord 5	/Ord 6
Rio Carinhanha	1,5367	1,8839	1,4785	1,4159	12,5882	
Rio Calindó	1,7719	1,3902	1,6078	3,1875	-	
Rio Peruaçu	1,5186	1,8235	1,6493	19,1429	-	
Rio Pandeiros	1,8400	1,3410	2,2119	1,4750	-	
Ribeirão do Peixe	1,2857	1,5556	-	-	-	
Rio Pardo	1,7015	1,6132	1,3352	3,7917	-	
Córrego Bom Jardim	2,0250	1,9048	2,6250	4,0000	-	
Rio Acaraí	1,5953	2,1667	1,3398	1,4507	-	
Riacho Fundo	1,8095	1,4000	2,1429	-	-	

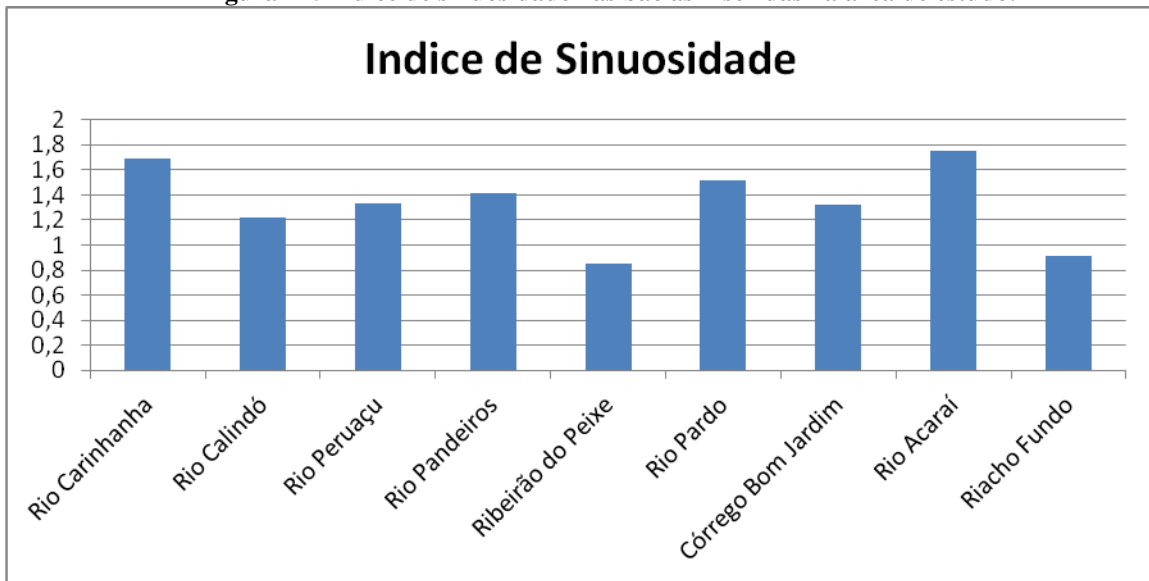
#### **6.2.1.7. Índice de Sinuosidade**

O índice de sinuosidade das bacias (Figura 21), que relaciona o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial entre os dois pontos extremos do canal principal (Schumm, 1965), demonstra que índices próximos a 1,0 estão associados a canais que tendem a ser retilíneo, enquanto os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos. Já os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

Apesar da grande heterogeneidade das bacias apontada pelo Índice de Sinuosidade, verificou-se que nenhuma delas apresentou valores superiores a 2,0, o que significa a presença de rios com tendência à linearidade. Este fato pode estar associado à predominância de litologia sedimentar que tende a formar canais paralelos e de baixa sinuosidade. Os canais mais sinuosos foram os dos rios Acaraí, Carinhanha, Pardo e Pandeiros, respectivamente (

Figura 21), que apresentam menor concentração de lineamento estruturais do que a porção norte da área de estudo.

**Figura 21: Índice de sinuosidade nas bacias inseridas na área de estudo.**

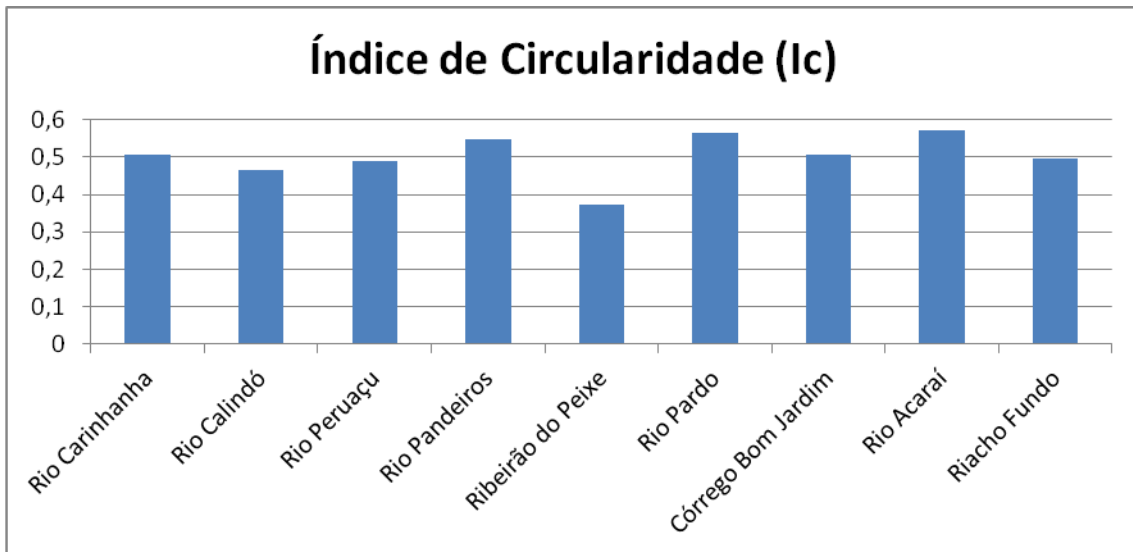


#### **6.2.1.8. Índices de Circularidade**

O índice de circularidade ( $I_c$ ) representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia e que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial, segundo Müller (1953) e Schumm (1958). Dentro dessa perspectiva,  $I_c$  igual a 0,51 representa um nível moderado de escoamento, não contribuindo para a concentração de águas associadas a uma maior probabilidade de ocorrência de cheias rápidas. Este é o caso da bacia do córrego Bom Jardim (Figura 22). Índices maiores que 0,51, no entanto, estão associados às bacias que tendem a apresentar forma mais circular, favorecendo o rápido escoamento da água e em alguns casos, processos de inundação, assim como ocorre nas bacias do rio Pandeiros, do rio Pardo e do rio Acaraí.

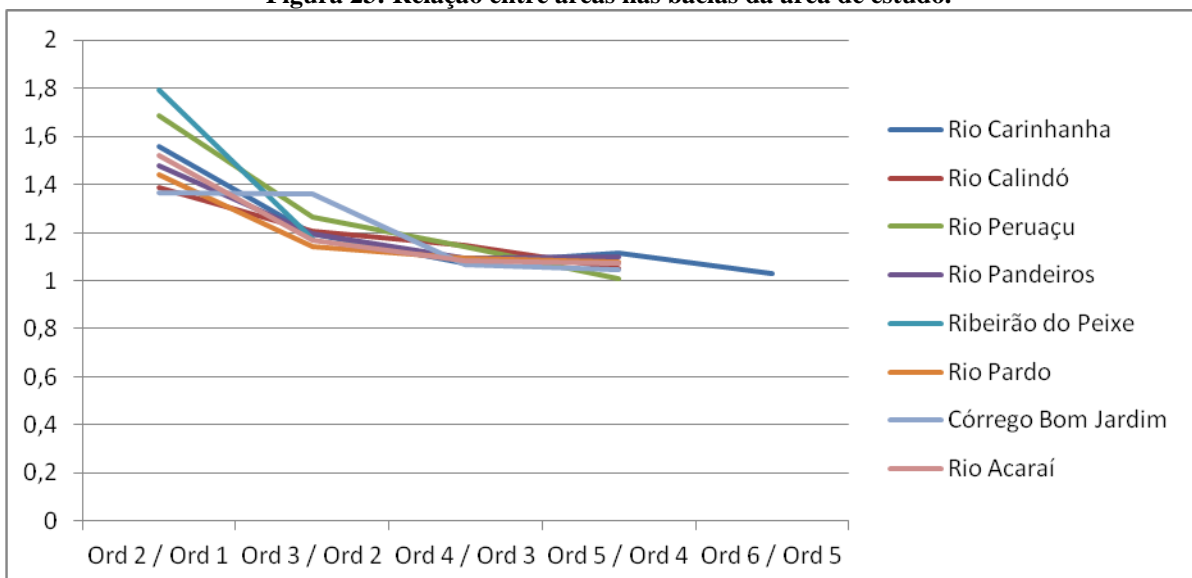
Ainda de acordo com aqueles autores (op. cit.), valores inferiores a 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento, conforme pode ser observado nas bacias dos rios Carinhanha, Calindó e Peruaçu, bem como na do ribeirão do Peixe e riacho Fundo, localizados na porção sul da área de estudo. A presença de lineamentos estruturais, associados às características geológicas das áreas de chapadas (Figura 8) favorece a formação de bacias hidrográficas mais alongadas, nas quais o escoamento mais lento propicia a formação de canais fluviais com menor grau de turbulência, características estas associadas à ocorrência de veredas.

**Figura 22: Índice de Circularidade (Ic) nas bacias inseridas na área de estudo.**



A relação entre áreas das bacias de diferentes ordens é apresentada na Figura 23. O ribeirão do Peixe, os rios Peruaçu e Carinhanha são aqueles que apresentam os maiores índices, apresentando, portanto, as menores velocidades de escoamento fluvial. Já as bacias dos rios Calindó, Pardo e Pandeiros possuem menores índices, caracterizando um escoamento das águas mais rápido. Os afluentes das menores ordens são aqueles que apresentam as menores sinuosidades.

**Figura 23: Relação entre áreas nas bacias da área de estudo.**



### **6.2.1.9. Análise da Declividade**

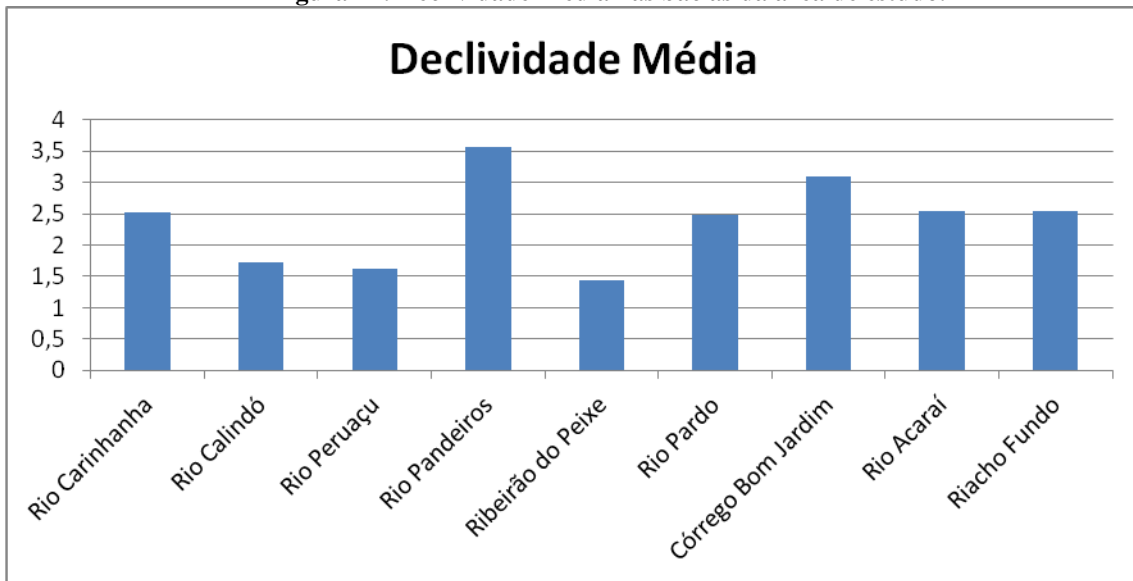
A declividade é uma dos parâmetros estreitamente relacionados à dinâmica de escoamento das bacias, bem como com a ocorrência de veredas na área de estudo, haja vista que a o aumento de energia nesses sistemas altera toda a dinâmica de escoamento fluvial e transporte de sedimentos a ela associada. De uma maneira geral, as bacias apresentam baixa declividade, conforme pode ser verificado pelos valores da

Figura 24. Essa condição contribui para a ocorrência de veredas, em especial quando associadas às estruturas sedimentares cretáceas horizontalizadas predominantes representadas pelos arenitos dos Grupos Urucuia e Areado.

Pela Figura 25 é possível verificar que as bacias dos rios Carinhanha e Peruaçu, que se desenvolvem predominantemente sobre as extensas chapadas areníticas, apresentam declividades médias de 2,51 e 1,63 graus respectivamente. Isto favorece a ocorrência de veredas que se estendem por quilômetros formando os principais canais fluviais dessas bacias conforme mensurado a partir de softwares de geoprocessamento. A bacia do rio Pandeiros, onde existe grande ocorrência de veredas, apresenta declividade média de 3,57 graus, associada à existência de diversas áreas com alta declividade correspondentes às bordas das chapadas areníticas em suas cabeceiras. A maioria das veredas encontradas na bacia do rio Pandeiros possuem características distintas daquelas que se estendem pelas chapadas areníticas.

As demais bacias hidrográficas inseridas na porção sul da área de estudo apresentam declividades que variam entre 2,5 a 3,1, com exceção da bacia do ribeirão do Peixe, cuja baixa declividade se deve à sua posição, predominantemente em área plana, e baixo gradiente altimétrico.

**Figura 24: Declividade Média nas bacias da área de estudo.**

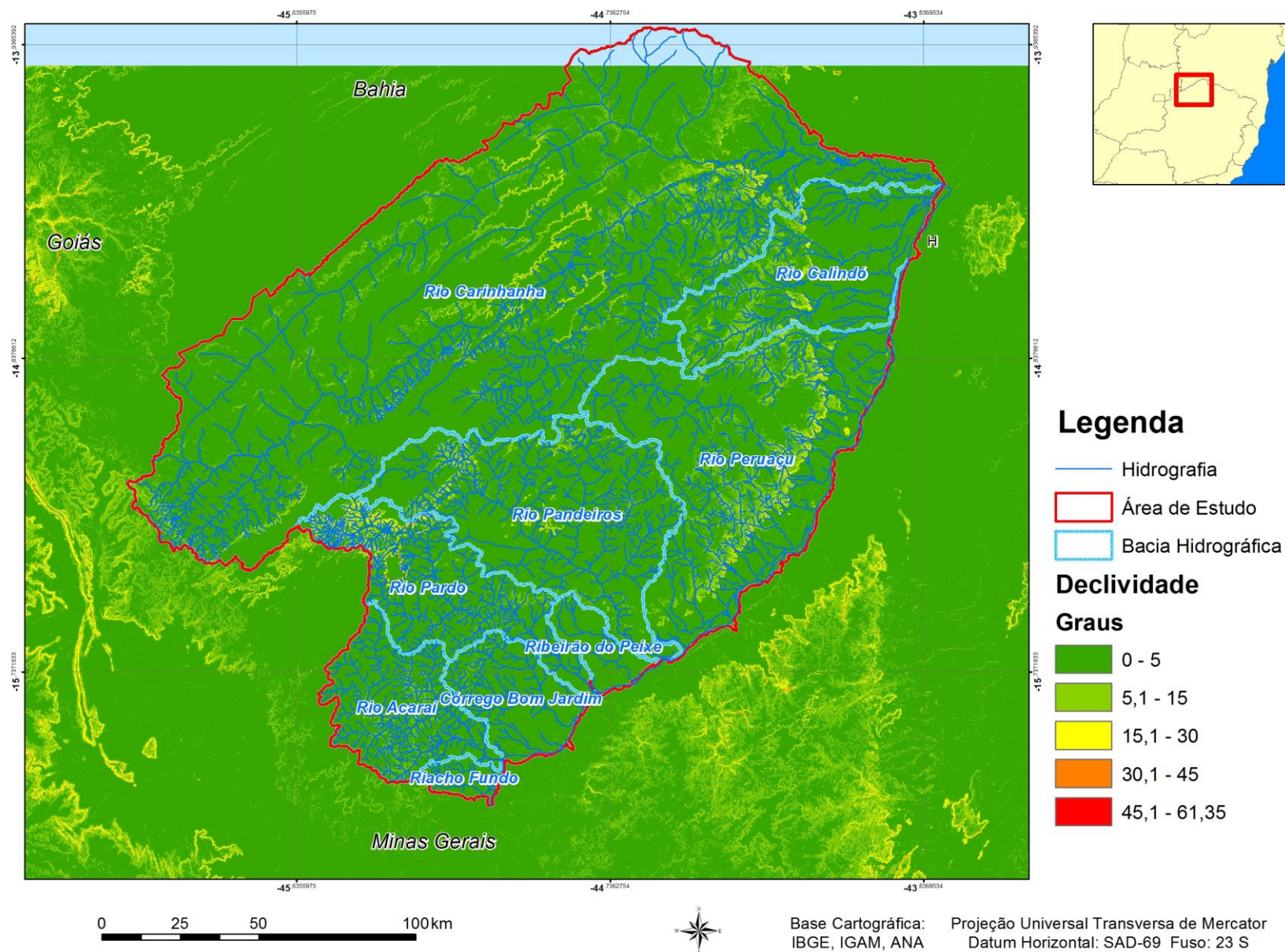


A distribuição espacial da declividade na área de estudo é apresentada na Figura 25. Verifica-se a predominância de relevo plano, em especial no domínio das chapadas na porção norte, onde a declividade varia entre 0 e 5 graus. As maiores declividades encontram-se localizadas na porção baixa das bacias, nos contatos das formações Lagoa do Jacaré e Serra de Santa Helena com as rochas sedimentares cretáceas representadas pelos arenitos dos Grupos Urucua e Areado.

Já as bacias dos rios Carinhanha, Calindó e Peruaçu são aquelas que possuem os menores valores de declividade máxima, o que se deve a existência de rupturas de declive mais suaves ao longo de seus domínios. Essas rupturas de declive associadas a contatos entre unidades litológicas distintas também ocorrem em outras áreas, principalmente nas cabeceiras das bacias do rio Pardo e rio Pandeiros. Destaca-se que essas bacias, assim como as do córrego Bom Jardim, rio Acaraí e riacho Fundo, são as que apresentam os maiores valores de declividade máxima (Figura 25), o que se deve à presença de rupturas de declive abruptas que ocorrem em suas cabeceiras, principalmente nas bordas das chapadas.



Figura 25: Mapa de declividade nas bacias da área de estudo.

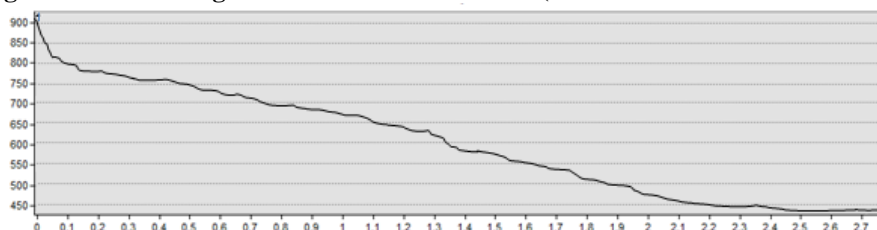


### 6.2.1.10. Análise de Perfis Transversais das Bacias de Drenagem

Outra importante fonte de informação no estudo das morfologias associada à ocorrência de veredas são os perfis topográficos apresentados nas Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33 e Figura 34.

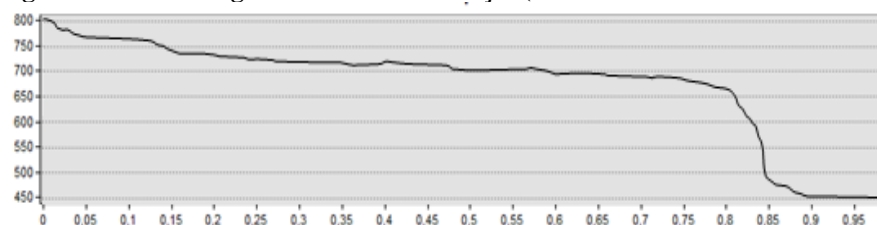
Através do perfil topográfico gerado para bacia rio Carinhanha (Figura 26), é possível verificar que o canal fluvial da bacia apresenta uma declividade acentuada na cabeceira, enquanto o restante do rio apresenta baixa declividade, não sofrendo variações abruptas ao longo de sua extensão. Os demais perfis apontam a presença de formas resultantes da incisão das chapadas pelo rio Carinhanha e seus afluentes, sendo responsável pela dissecação das chapadas em meio a um relevo suave, com baixa declividade que contribui para a ocorrência de extensas veredas.

**Figura 26: Perfil longitudinal do rio Carinhanha (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



A presença dessas chapadas é também é muito marcante nos perfis gerados para a bacia do rio Peruaçu (Figura 27). A maior parte do rio Peruaçu encontra-se localizada nas chapadas arenosas, onde existe abundante presença de veredas. Já a porção baixa desse canal fluvial apresenta uma ruptura de declive abrupta, associada ao contato entre litologias do Grupo Urucuaia com rochas cársticas do Grupo Bambuí, onde se desenvolvem feições típicas desse tipo de ambiental e onde não existe a presença de veredas.

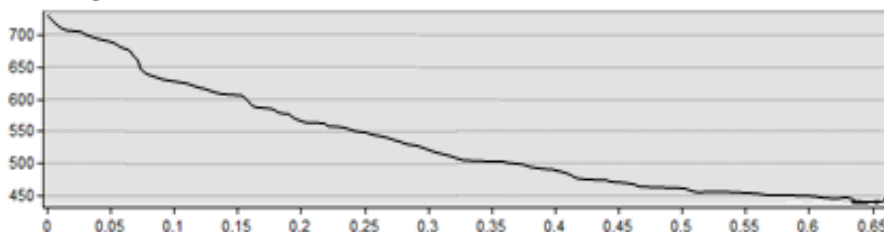
**Figura 27: Perfil longitudinal do rio Peruaçu. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



A bacia do rio Calindó apresenta um perfil sem grandes rupturas de declive conforme pode ser verificado na Figura 28. As maiores altitudes indicadas no perfil estão associadas a rochas arenosas do Grupo Urucuaia, enquanto as áreas em menores altitudes estão associadas a

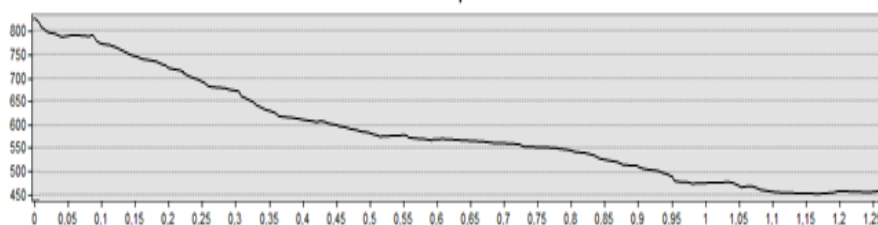
Formação Serra de Santa Helena e a Formação Lagoa do Jacaré, assim como a sedimentos recentes associados à dinâmica de deposição do rio São Francisco na sua porção mais baixa

**Figura 28: Perfil do rio Calindó. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



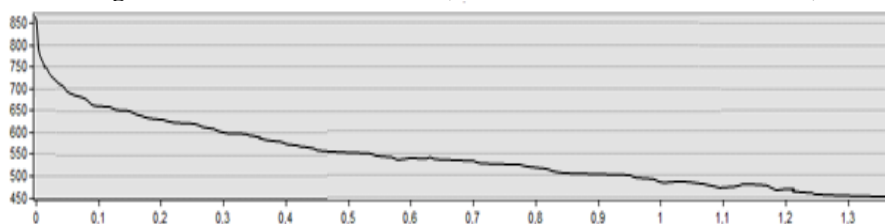
O rio Pandeiros apresenta-se em um estágio intermediário de dissecação (Figura 29). Trata-se de um relevo com grau de dissecação mais intenso que as bacias dos rios Carinhonha e Peruaçu conforme indicado pelos índices morfométricos apresentados, porém menor que a bacia do rio Pardo e das demais bacias hidrográficas localizadas mais a sul (Figura 7 e Figura 25). O rio Pandeiros, que nasce nas áreas de chapadas, apresenta as maiores rupturas de declive nas bordas dessa unidade geomorfológica, mas a ocorrência de veredas em seus afluentes é grande nas porções alta e média da bacia.

**Figura 29: Perfil do rio Pandeiros. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



O perfil do rio Pardo mostra uma ruptura de declive acentuada em sua cabeceira, que tem início no domínio das rochas do Grupo Urucuaia, no contato das chapadas com as bordas superiores da sua bacia (Figura 30). Contudo, mesmo percorrendo parte do seu curso em áreas de chapada, não foi detectada a presença de veredas nessa bacia hidrográfica.

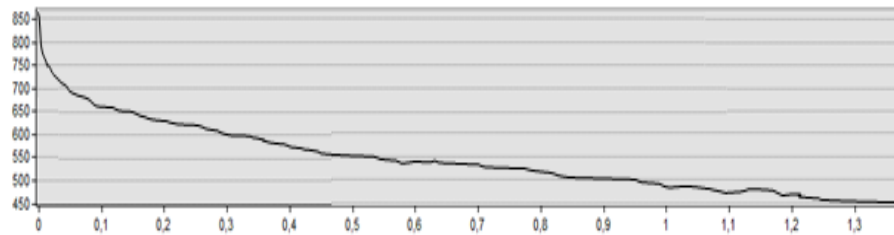
**Figura 30: Perfil do rio Pardo. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



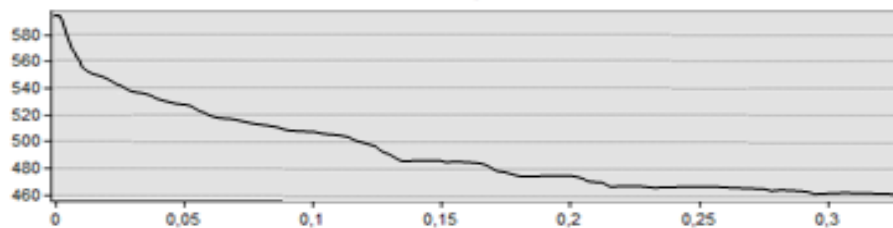
Nas demais bacias hidrográficas, localizadas ao sul da área drenada pelo rio Pardo, verifica-se a presença de bacias com menores dimensões (Figura 31, 32, 33 e Figura 34). Apesar da diferença, essas bacias apresentam características semelhantes às do rio Pardo no

que se refere as características da rede hidrográfica e as dimensões da bacia dos canais fluviais principais e a sua dinâmica de escoamento fluvial. A dinâmica natural dessas bacias favorece o aporte de sedimentos em direção às áreas mais baixas do relevo, ou seja, em direção aos canais fluviais e também em direção à jusante dos rios, o que significa que parte considerável desses sedimentos tende a aportar no rio São Francisco, que representa o nível de base local.

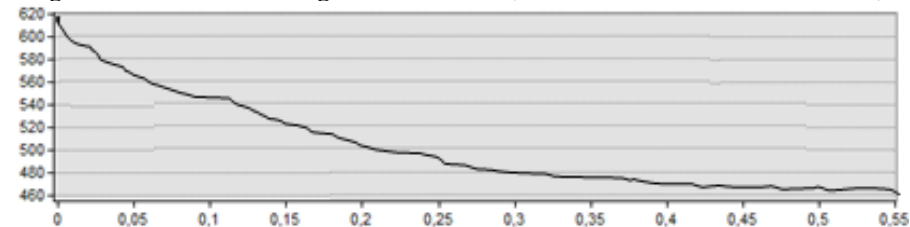
**Figura 31: Perfil do córrego do Peixe. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



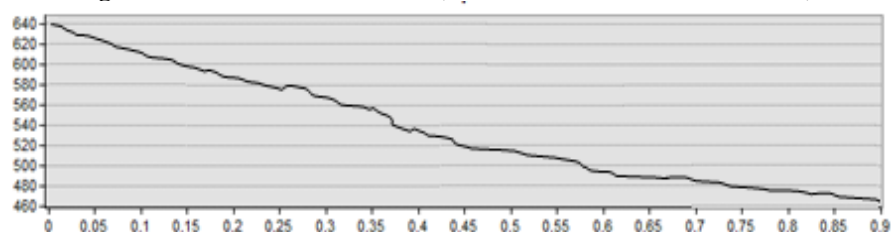
**Figura 32: Perfil do riacho Fundo. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



**Figura 33: Perfil do córrego Bom Jardim. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**



**Figura 34: Perfil do rio Acaraí. (Eixo X – KM e Eixo Y – Metros)**

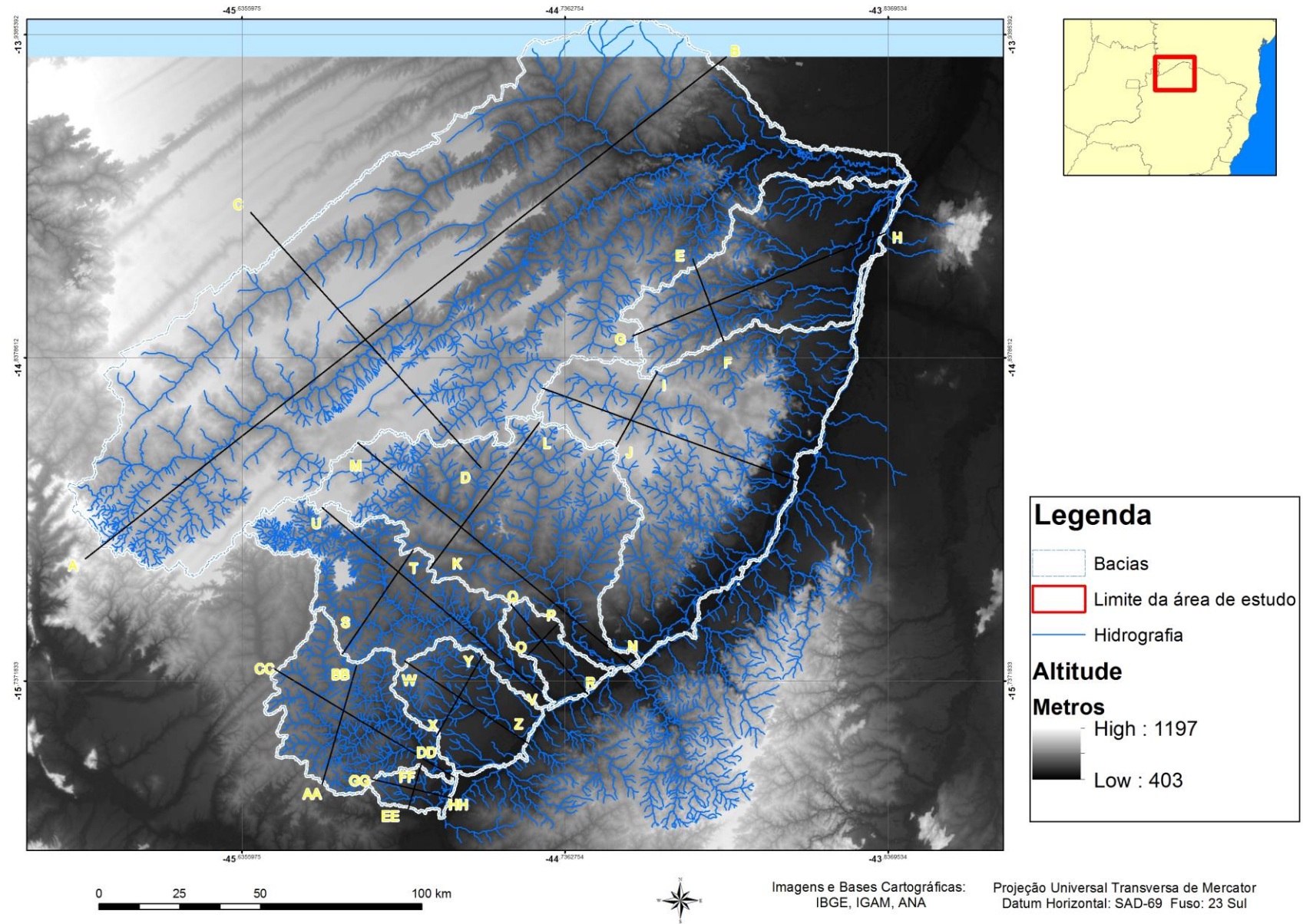


Além dos perfis apresentados, também foram levantadas seções transversais e longitudinais para as principais bacias inseridas na área de estudo, conforme apresentado na

Figura 35. Essas informações contribuíram na compreensão das características do relevo, haja vista que permitem a identificação de rupturas de declive e feições geomorfológica e são apresentadas em anexo.



Figura 35: Localização dos Perfis longitudinais e transversais levantados para as bacias da área de estudo.



### 6.2.1.12. Índice de Concentração da Rugosidade – ICR

A análise da distribuição espacial do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) apresentada na Figura 36 mostra que na área predominam zonas com muito baixa a baixa rugosidade. As zonas com rugosidade média se estendem da porção média da bacia do rio Carinhanha, até a porção sul da bacia do rio Peruaçu, onde existem áreas com alta a muito alta concentração de rugosidade, o que pode estar relacionado principalmente a rupturas de declive associadas à presença de drenagem cárstica.

Apesar de ocorrer grandes variações dos valores do ICR, conforme pode ser verificado na Tabela 4, as maiores médias desse indicador ocorrem nas bacias dos rios Pardo e Peruaçu, conforme descrito inicialmente. As bacias dos rios Carinhanha, Calindó, Pandeiros e Acaraí apresentam médias de ICR próximas a 80, enquanto as pequenas bacias situadas na porção sul da área de estudo (Ribeirão do Peixe, Córrego Bom Jardim e Riacho Fundo) apresentam as menores médias. Tais resultados indicam, portanto, que as regiões mais dissecadas na área de estudo estão concentradas nessas bacias que apresentam as maiores médias, embora a grande variação entre seus valores mínimos e máximos de ICR reflitam a existência de um cenário heterogêneo, que pode ser visualizado na Figura 36.

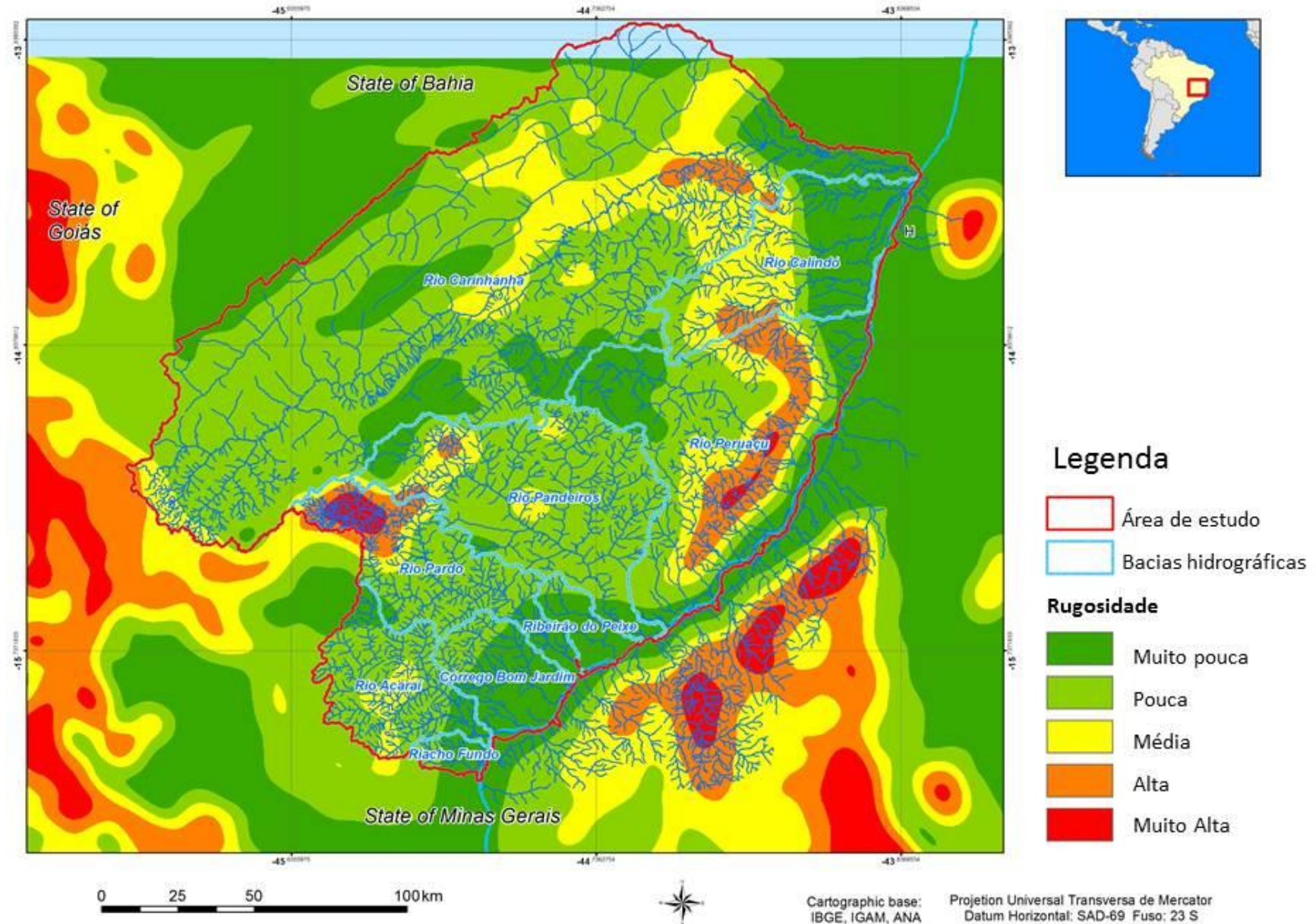
**Tabela 4: Índice de Concentração de Rugosidade nas bacias da área de estudo (ICR).**

<b>Bacias</b>	<b>Mínimo (ICR)</b>	<b>Máximo (ICR)</b>	<b>Varição (ICR)</b>	<b>Média (ICR)</b>	<b>Desvio Padrão (ICR)</b>
Rio Carinhanha	14,52	208,45	193,94	83,40	31,13
Rio Calindó	19,52	183,61	164,09	82,08	51,92
Rio Peruaçu	21,23	245,16	223,92	102,88	57,06
Rio Pandeiros	21,76	214,72	192,96	81,50	27,75
Ribeirão do Peixe	24,02	79,93	55,91	36,48	13,43
Rio Pardo	22,23	303,64	281,42	110,02	68,95
Córrego Bom Jardim	22,04	92,10	70,06	43,48	18,00
Rio Acaraí	29,51	116,96	87,44	80,49	22,45
Riacho Fundo	29,34	93,93	64,60	50,03	15,68

A existência de pequenos polígonos de média concentração de rugosidade espalhadas pela área de estudo, podem ser associadas à presença de relevos residuais. Outra área com alta e muito alta concentração de rugosidade ocorre no alto da bacia do rio Pardo, em uma região com intensogrande voçorocamento e movimentos de massa (Figura 36).



Figura 36: Representação do Índice de Concentração de Rugosidade da área de estudo.





### 6.3 INTERAÇÃO COM OS DADOS DE CAMPO

Com o objetivo de compreender melhor a dinâmica ambiental das bacias de drenagem em áreas de ocorrência de veredas, no norte de Minas Gerais, foram realizadas campanhas de campo que permitiram uma interpretação mais precisa dos dados gerados pelas técnicas de geoprocessamento e as informações e observações in loco, além de a coleta de dados primários (Figura 16). A área de estudo apresenta um contexto extremamente heterogêneo no que se refere às aspectos geomorfológicos, o que aumenta a complexidade de estudos que buscam analisar a dinâmica ambiental associada às veredas.

Entre as observações de campo, foi possível verificar que as veredas localizadas no Parque Estadual das Veredas do Peruaçu sofreram impactos antrópicos significativos. Na nascente do rio Peruaçu, que sofreu sucessivas queimadas associadas às intervenções antrópicas que precederam a criação do parque, só foi possível encontrar água superficial à cerca de 2,5 km do ponto onde se iniciava a exfiltração (Figura 37).

**Figura 37: Vereda degradada na bacia do rio Peruaçu.**



Na área drenada pelo do rio Peruaçu, as veredas encontram-se distribuídas nas porções alta e média da bacia, na região onde predominam rochas arenosas do Grupo Urucuaia. A porção baixa da baixa apresenta comportamento de sistemas de drenagem cársticos, haja vista a ocorrência de rochas da Formação Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (Figura 38). Nas áreas localizadas nesse domínio não foram identificadas veredas.

**Figura 38: Feição Cárstica identificada na bacia do rio Peruaçu, no domínio das rochas calcárias do Grupo Bambuí.**



Apesar do fato de que muitas veredas visitadas durante as atividades de campo nas bacias dos rios Peruaçu e Carinhanha encontrarem-se impactadas, as características dessas fitofisionomias típicas do cerrado são exatamente compatíveis com o que é descrito na bibliografia, tal como proposta por Boaventura (1998), Silva (2007), Melo (1992; 2008), dentre outros. Isto é válido para as diferenciações morfológicas das veredas associadas às quatro zonas propostas por Melo (1992) – Zona do envoltório, Zona seca, Zona encharcada e Zona do Canal, bem como para diferenciações de aspectos pedológicos, fitogeográficos, hidrológicos e topográficos associados a elas.

Na bacia do rio Pandeiros, contudo, as morfologias associadas à presença de veredas apresentaram diferenças significativas quando comparadas às demais bacias mapeadas, embora existam semelhanças entre aquelas situadas nas áreas de chapadas, no alto da bacia. O que se verificou com maior frequência, foi a ocorrência de veredas onde o escoamento superficial apresentava menor turbulência e menor competência para a mobilização e transporte de sedimentos, o que foi proposto por Augustin *et al.* (2008, 2009) e Augustin (2009; 2012). Nessas áreas o fluxo da água forma talvegues, a partir dos quais os rios assumem características típicas de ambientes fluviais (Figura 39).

**Figura 39: Vereda na bacia do rio Pandeiros com incisão de talvegue e perda da vegetação típica.!**



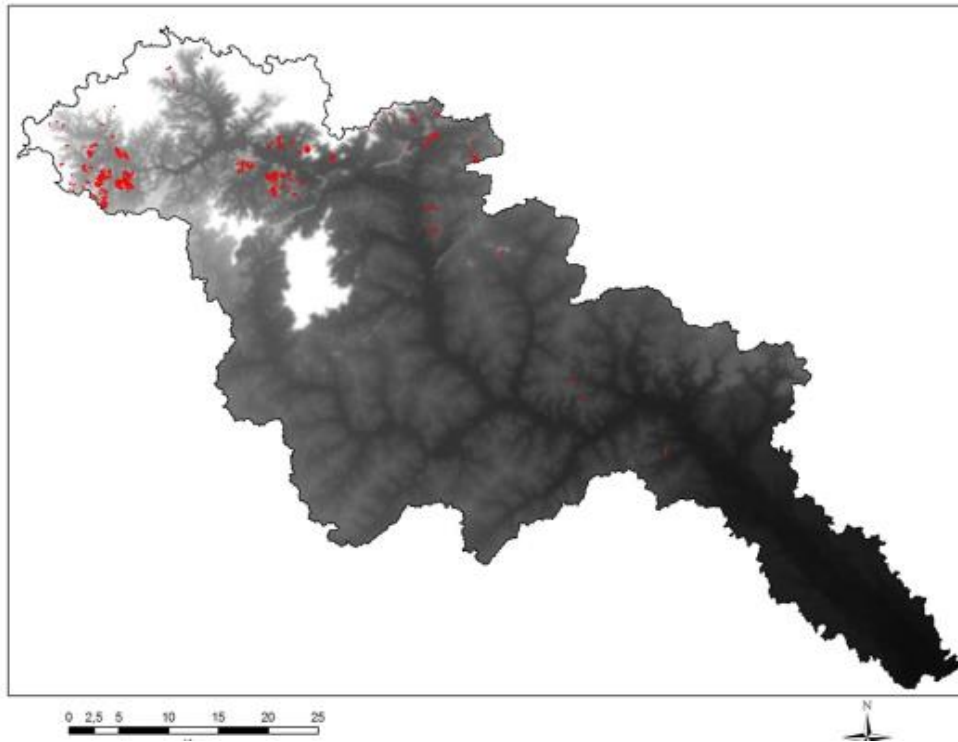
Portanto, a dissecação do relevo, associada à incisão da rede de drenagem em ambientes com a ocorrência de veredas acaba por alterar as características das mesmas. Em áreas nas quais a desnudação do relevo foi intensa, principalmente na porção média da bacia do rio Pandeiros, onde atualmente existem rios com alta competência, é possível encontrar indícios de que já foram ocupadas por veredas (Augustin *et al.*, 2009), em alguns casos, associadas a buritis isolados, tal como apresentado na Figura 40.

**Figura 40: Fragmentos de Veredas próximas ao rio Pandeiros.**



Não foi identificada a ocorrência de veredas na bacia do rio Pardo. Apesar da proximidade geográfica com a bacia do rio Pandeiros, e com outras áreas nas quais ocorrem veredas, a característica que mais chamou a atenção nesta bacia foi a presença de movimentos de massa e de processos de erosão acelerada (Figura 41).

**Figura 41: Principais áreas com processo de voçorocamento na bacia do rio Pardo.**



Assim como a bacia do rio Pardo, as demais bacias hidrográficas localizadas na porção sul da área de estudo apresentam relevo movimentado conforme pode ser verificado no MDT elaborado para a área de estudo (Figura 7). No MDT, verifica-se que essas bacias apresentam altitudes médias inferiores à porção norte. As poucas veredas existentes nessa área apresentam dimensões menores quando comparadas aquelas encontradas em outras bacias a norte.

### **6.3.1. Medidas de vazão**

Os dados de vazão levantados em campo indicam uma grande heterogeneidade (Tabela 5). As grandes dimensões da área de estudo dificultaram o monitoramento das vazões, para fins de cálculo de balanço hídrico, atividade esta que foge aos objetivos do presente estudo. Por esse motivo, optou-se por levantar as vazões instantâneas entre os dias 31 de março e 05 de abril de 2012, durante a última campanha de campo realizada.

Verificou-se que a dinâmica do escoamento fluvial na bacia do rio Peruaçu e a presença de veredas são diretamente influenciados pela presença de sedimentos arenosos até a porção média da bacia. A partir de então, a bacia apresenta variações de energia influenciadas pelo carste, motivo pelo qual não foi possível mensurar com precisão a vazão nos pontos 2 e 3, haja vista a baixa energia do rio Peruaçu nesses trechos.

As maiores vazões levantadas foram mensuradas no rio Pandeiros, em pontos 22 e 25 localizados na porção média do curso de água. De uma maneira geral, a disponibilidade hídrica é grande em toda a bacia. Essa característica, comprovada através mensuração do volume de água em alguns pontos, se deve à interação entre condicionantes geomorfológicas e litológicas.

**Tabela 5: Características dos pontos onde foi realizado levantamento da vazão**

<i>Ponto</i>	<i>Coord X</i>	<i>Coord Y</i>	<i>Bacia</i>	<i>Ordem</i>	<i>Area de Contribuição (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Comprimento do canal (m)</i>	<i>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</i>
1	559848	8344175	Peruaçu	4	952,76	223,49	7,44
2	570837	8339925	Peruaçu	4	1108,73	262,27	0,00
3	590689	8321455	Peruaçu	4	1451,70	388,63	0,08
4	522448	8327810	Pandeiros	3	100,31	39,18	6,11
5	522357	8319457	Pandeiros	-	-	-	0,12
6	522208	8319790	Pandeiros	2	46,52	19,78	0,06
7	522199	8319305	Pandeiros	-	-	-	1,53
8	523699	8314564	Pandeiros	3	54,16	23,24	0,13
9	518063	8303246	Pandeiros	4	703,86	270,84	26,35
10	529711	8348985	Peruaçu	3	218,78	47,41	0,01
11	545547	8340373	Peruaçu	2	50,31	10,64	0,19
12	548547	8339892	Peruaçu	2	66,28	8,78	3,22
13	475290	8328247	Pandeiros	1	20,05	3,19	0,20
14	477506	8327984	Pandeiros	2	24,91	5,99	4,38
15	478157	8326877	Pandeiros	-	-	-	0,04
16	482626	8314662	Pandeiros	3	134,32	76,46	7,67
17	486762	8321297	Pandeiros	4	536,87	195,65	23,65
18	492947	8321843	Pandeiros	1	3,02	1,98	0,04
19	494156	8317593	Pandeiros	3	145,84	58,23	17,87
20	501609	8318342	Pandeiros	4	204,25	83,60	11,78
21	505942	8299196	Pandeiros	-	-	-	0,31
22	508070	8299441	Pandeiros	5	5962,17	2306,15	109,34
23	526664	8305572	Pandeiros	3	401,22	176,97	9,11
24	527443	8288833	Pandeiros	4	394,14	167,76	2,57
25	526378	8284859	Pandeiros	5	8159,75	3181,86	197,17

Em função dos processos atuantes, a evolução do relevo na região norte de Minas Gerais, parece estar diretamente relacionada à dissecação das chapadas desenvolvidas sobre estruturas sedimentares cretáceas horizontalizadas, predominantes representadas pelos arenitos dos Grupos Urucuia.

#### 6.4 - Compartimentação Geomorfológica

Este trabalho busca, a partir da compartimentação das grandes unidades geomorfológicas, entender os fatores envolvidos na evolução e características do relevo, entre eles a presença das veredas na área de estudo. A partir desses procedimentos adotados, foi possível realizar a análise dos componentes e dos processos responsáveis pela conformação atual do relevo.

Com base nas informações apresentadas, propõe-se uma macro compartimentação da área de estudo que represente os processos associados às características geomorfológicas das bacias, bem como com a ocorrência de veredas. Destaca-se que a análise da rede de drenagem é um importante indicador da evolução do relevo (SUMMERFIELD, 1991).

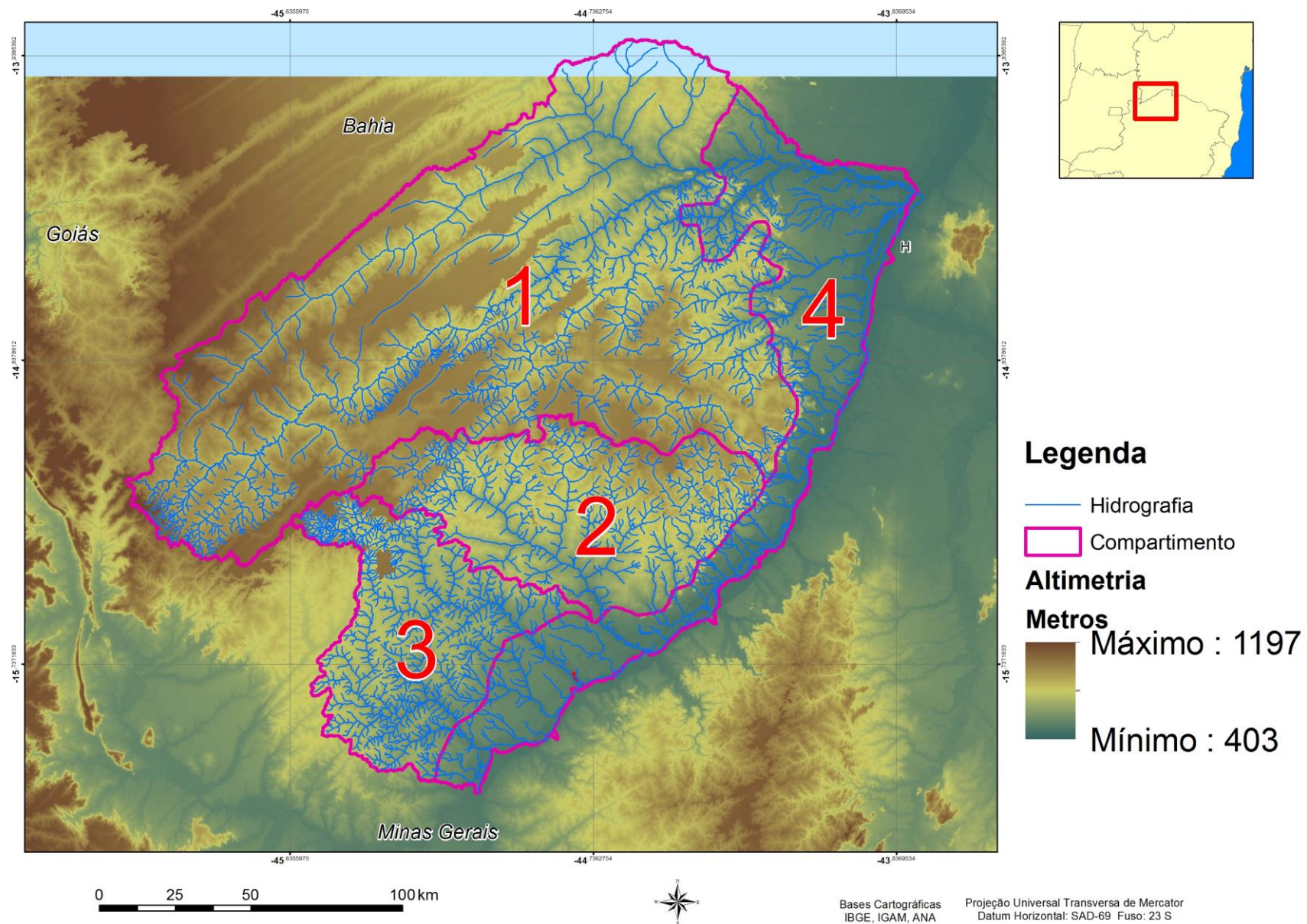
Através dos resultados obtidos, é possível verificar a existência de quatro grandes unidades geomorfológicas com comportamentos distintos no que se refere à dinâmica fluvial. As análises apontam uma tendência da evolução do relevo a partir da dissecação das extensas chapadas formadas no domínio do Grupo Urucuaia, e das coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas. O relevo plano permite a formação de sistemas de drenagem com pouca turbulência, onde ocorre o acúmulo de grande volume de material orgânica, onde, de acordo com estudos realizados localmente se desenvolvem as veredas (AUGUSTIN *et al.*, 2008, 2009; AUGUSTIN, 2009, 2012).

Foi verificado que, conforme formulado por esses autores (*op. cit.*), o acréscimo de energia no sistema, a partir do aumento da declividade aumenta a turbulência dos canais fluviais, resultando na formação de talwegues bem definidos, marcando uma transição entre o ambiente semelhante ao lântico associado às veredas, daquele ambiente fluvial com características semelhantes à maioria dos rios tropicais, conforme ocorre no Compartimento 2. Nessa área, as veredas ocorrem com menor frequência e apresentam características distintas daquelas existentes no compartimento 1.

Esse processo tem ocorrido na bacia do rio Pandeiro, compartimento 2, onde o processo de erosão tem resultado no adensamento da rede de drenagem e na dissecação desse relevo plano associado ao compartimento 1. Embora ainda existam muitas veredas nessa área, o aumento da turbulência nos canais fluviais modifica a dinâmica de escoamento das mesmas, que passam a se descaracterizar e a se comportar como rios, tal com acontece na bacia do rio Pardo e demais bacias a sul da área de estudo (compartimento 3).



**Figura 42: Macro compartimentação associada à dinâmica de evolução do relevo.**



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características litológicas da área de estudo, localizada no norte do estado de Minas Gerais, representadas pela predominância de rochas sedimentares pouco deformadas e datadas do Cretáceo, têm influência na formação de extensas chapadas com declividades pouco acentuadas, nas quais ocorrem veredas, ecossistema do bioma Cerrado, também identificadas por outros autores como sistemas de drenagem. A dinâmica geomorfológica tem levado à dissecação do relevo, em especial nas bordas dos planaltos, aumentando a declividade nessas porções e gerando condições de turbilhonamento da água nos canais das veredas, o que provoca erosão e cria condições desfavoráveis para a manutenção dos seus ecossistemas. Associado a este fator, de caráter natural, há ainda os impactos antrópicos que tendem a acelerar e provocar danos irreversíveis nos processos de alimentação dos lençóis freáticos que, aparentemente, são suspensos, ou seja, têm caráter local e não regional, como até agora apontado pela literatura.

Evidências geomorfológicas produzidas neste trabalho indicam a ocorrência de uma dinâmica de evolução do relevo associadas à desnudação de chapadas formadas sobre rochas sedimentares do Grupo Urucuia.

Os resultados obtidos através da aplicação de índices morfométricos, em especial da declividade e do índice de rugosidade, indicam que as bacias localizadas na porção sul da área de estudo possuem maior vigor energético, quando comparadas às demais áreas de drenagem da porção norte, onde existe a maior concentração de veredas. Cabe ressaltar, que as bacias localizadas na porção sul da área de estudo, tais como a riacho Fundo, Acaraí, Bom Jesus e Pardo apresentam atividades agropecuárias mais intensas que o restante da área de estudo conforme identificado pelas imagens de satélite da região.

Apesar do relevo e dos canais fluviais apresentarem condições que permitam o desenvolvimento de extensas veredas, durante as atividades de campo desenvolvidas ao longo da pesquisa verificou-se a necessidade do monitoramento de disponibilidade hídrica nas veredas da região. Também foram encontradas veredas com alto grau de degradação em diversas outras bacias da área de estudo, o que evidencia a intensa pressão antrópica existente na área e a grande sensibilidade dessas fitofisionomias típicas do cerrado. A supressão da vegetação no entorno das veredas, a abertura indiscriminada de estradas e a ocorrência de



queimadas são alguns dos principais impactos que degradam as veredas e em alguns casos são de tamanha proporção que acabam por extingui-las.

Nesse sentido, este trabalho também busca contribuir com os debates acerca da Gestão de Recursos Hídricos e na legislação responsável pela proteção das Veredas. Embora existam legislações que busquem garantir a preservação desses ecossistemas é necessário se discutir a efetividade das ações implantadas no intuito de conservá-las.

Além disso, o mapeamento geomorfológico permitiu a identificação e limitação domínios geomorfológicos que retratam e representam fases diferenciadas da evolução do relevo no norte de Minas Gerais, permitindo inferências sobre aspectos da dinâmica das veredas. Os três compartimentos mapeados na margem esquerda do rio São Francisco demonstram o recuo dos domínios das rochas dos grupos Urucuia e Areado, rochas essas retiradas por processos de incisão da drenagem que atuam sobre material já bastante alterado por processos de intemperismo químico e físico. Trata-se de uma dinâmica na qual as extensas chapadas associadas à grande ocorrência de veredas (Compartimento 1), tendem a evoluir para um relevo movimentado presente no Compartimento 3, passando por um estágio intermediário associado ao compartimento 2.

Em situação de campo foi possível verificar que a presença das veredas, bem como suas características, possui relação direta com os processos geomorfológicos que se desenvolvem nesses compartimentos e com as diferentes condições de energia associadas a eles. Nesse sentido, verifica-se que os processos associados à evolução do relevo no norte de Minas Gerais se refletem nas veredas existentes na área de estudo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARAÚJO, E.P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88f. Dissertação. Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; MELO, D.R.; ARANHA, P.R.A. Aspectos da evolução geomorfológica das veredas no norte de Minas Gerais. In: VII SINAGEO, II Encontro Latino Americano de Geomorfologia, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2008.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; MELO, D.R.; ARANHA, P.R.A. Aspectos Geomorfológicos de Veredas: um ecossistema do Bioma Cerrado – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.10, n. 1, p.103-114, 2009.

AUGUSTIN, C.H.R.R. **Análise do escoamento superficial e subsuperficial: entendendo a dinâmica de corpos hídricos em áreas de rochas siliciclásticas**. Projeto aprovado pela fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG): CRA-APQ- 01652-09. 2009.

AUGUSTIN, C.H.R.R. **Geodinâmica no domínio das veredas no norte de Minas Gerais: processos e mecanismos**. Projeto aprovado pela fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG): CRA - APQ-02211-12. 2012.

BARBOSA, F.; PAULA, J.A.; MONTE-MOR, R.L. A bacia hidrográfica como unidade de análise e realidade de integração disciplinar. In: PAULA, J.; BARBIERI, A.; GUERRA, C.; LANDAN, E.; VIEIRA, F.; BARBOSA, F.; COSTA, H.; GUERRA, L.; MONTE-MOR, R.; SIMÕES, R.; BRAGA, T. (Eds). **Biodiversidade, população e economia: uma região de mata atlântica**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, ECMXC, PADCT/CIAMB, 1997. p. 257-270.

BARRELLA, W; PETRERE JR, M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F. de A.; RODRIGUES, R.R.; LEIÃO FILHO H.de F. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In:

RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001, p.187-207.

BARROS, R.S. de. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação obtidos a partir de sensores orbitais**. 2006. 172 f. Tese. Doutorado em Geografia – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Lei no 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**. Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>

BARBOSA, G.V. Relevô. In: Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais. **Diagnóstico da economia mineira: o espaço natural**. Belo Horizonte: BDMG, v2, 1967, p.69-108.

BOAVENTURA, R. S. Contribuição aos estudos sobre a evolução das veredas. In: CETEC - **2º Plano de Desenvolvimento Integrado no Noroeste Mineiro**. CETEC, Informe Técnico, v. 1, n. 1, Belo Horizonte, 1978.

BOAVENTURA, R.S. Contribuição aos estudos sobre a evolução das veredas. In: Características geomorfológicas. In: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC). **Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro**, Vol. 2: Recursos Naturais. Belo Horizonte. CETEC, 1981.

BOAVENTURA, R.S. Preservação das veredas: síntese. In: Encontro Latino Americano Relação Ser Humano-Ambiente, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: FUMEC, 1998.

BRANDT, D.; ENESTO, M. Resultados paleomagnéticos preliminares do Grupo Santa Fé (Paleozóico da Bacia Sanfranciscana): implicações sobre a idade e paleolatidade da sedimentação glacial. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.24 n.2, p.199-207, 2006.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2ªed. Brasília: SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.9, n 1, p 35-41, 2008.

CASTRO, J.P.C. As veredas e sua proteção jurídica. **Revista da Faculdade de Direito**, v. 22, n. 5-6, p.491-519, 1980.

CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista Scientia Plena**, v.5, n.2, p.1-7, 2009.

CHAVES, M. de A. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 115f. Tese. Doutorado em Ciência Florestal - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG**. 2008. 96f. Dissertação. Mestrado em Geografia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**. v.18, n.36, p.130-2, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 186p.

COSTA, A.; BORGES,P.; MAIA-RODRIGUES, B.H.; CHAVES, A.; GONTIJO, N.M; FELIPPE, M.F. Modificação do Espaço Agrícola de Barreiras-BA: evolução do uso do solo em um polo sojicultor. In: XIX Encontro Nacional de Geografia Agrária, 2009, São Paulo, **Anais...** São Paulo: USP, 2009.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico ao Milionésimo**. Brasília, 2003.

DIETRICH, W.E.; RENEAU, S.L.; WILSON, C. J. Overview: "Zero-order basins" and problems of drainage density, sediment transport and hillslope morphology. In: **Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim**, Paris: IAHS Publ. n. 165, p. 27-37, 1987.

DUARTE, G.G.F.; ASSAD, M.L.L. Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. 2007. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007.

DUNNE, T. Formation and control of drainage networks. **Prog. Phys. Geogr.**, vol. 4, p. 211-239, 1980.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno, In: **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, p. 07-36, 2001.

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

FRANÇA, G.V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151p. Tese. Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, C.R.; MOURA, A.C.M.; MELO, G.R.; DUTRA, L. Aproveitamento do potencial de imagens SRTM na geração de produtos de comunicação e na atualização de mapa de drenagem para o estado de Minas Gerais, Brasil. In: Congreso Geológico Argentino e Simposio Internacional sobre Avances de la Teledetección en Geología, 16. 2005. La Plata: publisher. **Anais...** La Plata, 2005.

FONSECA, B.M. **O uso do Sistema de Informações Geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na serra do Espinhaço Meridional-MG**. 2010. 94 f. Dissertação. Mestrado em Geografia – Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2010.

FONSECA, B.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica, Serra do Espinhaço Meridional-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 153-172, 2014.

GARDINER, V.; PARK, C.C. Drainage basin morphometry. Review and assessment: **Progress in Physical Geography**. v. 2, n. 1, p. 1- 35, 1978.

GUSTAVSSON, M. **Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Database in Sweden**. Faculty of Science and Technology 236. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations. Acta University, Uppsala, Sweden, 2006. 36 p.

HORTON, R.E. Drainage basin characteristics. **Trans. Am. Geophys. Union**, Oxford University, p. 350–361, 1932.

HORTON, R.E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Application of Quantitative Morphology. **Bull. Geog. Soc. America**. v. 56, p. 275– 370, 1945.

KNIGHTON, D. **Fluvial Forms and Processes**. Victoria: Edward Arnold Ltda. 1984. 217 p.

KUMAR, N. Morphometric Analysis of River Catchments Using Remote Sensing and GIS (A Case Study of the Sukri River, Rajasthan). **International Journal of Scientific and Research Publications** vol. 3, Issue 6, June 2013, p. 1-6. ISSN 2250-3153 [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org).

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

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121p. Dissertação. Mestrado em Recursos Florestais – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LEOPOLD, L.B.; BULL, W.B. Base level, aggradation, and grade. **American Philosophical Society Proceedings**. v. 123, p. 168-202, 1979.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. San Francisco: Freeman, 1964. 522p.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976. 143p.

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

LIMA, O.N.B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W.de. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 37, n.4, p. 204-215, 2007.

LOBÃO, J.S.B.; VALE, R. de M.C. Microbacias na Região do Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC): Um Modelo em SIG para Análise Ambiental. In: XIII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.

LOPES, M.R.S. **Avaliação das taxas de recuo diferencial dos divisores Doce-São Francisco na borda leste do Quadrilátero Ferrífero: aplicação de isótopos cosmogênicos**. 2008. Projeto de Tese. Doutorado em Geografia. Departamento de Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARTINS, F.B.; ROCHA, J.; ROBAINA, A.; KURTZ, F., GARCIA, S.; SANTOS, A.; DILL, P.; NOAL, T. Zoneamento Ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne, Lavras**. v.11, n 3, p. 315-322, 2005.

MMA.GEO Brasil: Recursos Hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de águas; **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**, 2007.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de Cobertura Vegetal do Brasil**, Brasília, 2011.

MELO, D.R. **As veredas nos planaltos do Noroeste Mineiro, caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos**. 1992. 218f. Dissertação. Mestrado em Geografia - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1992.

MELO, D.R de. **Evolução das Veredas sob Impactos Ambientais nos Geossistemas Planalto do Buritizeiro/MG**. 2008, 353f. Tese. Doutorado em Geografia - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MENEZES, P.M.L.; COELHO NETO, A.L. Escala: estudo de conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: **GEOCart**, UFRJ, p.1-6p, 2003.

MORISAWA, M. Streams: **Their dynamics and morphology**. New York: McGraw-Hill, 1968. 175p.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96p. Dissertação. Mestrado em Recursos Florestais – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MÜLLER, V.C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. New York: Virginia and Tennessee. **Dept. of Geology**. n. 3, 30p, 1953.

OLIVEIRA, J.H.M.; CHAVES, J.M. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia. **Revista Mercator**. v. 9, n. 20, p. 217 - 238, 2010.

PINHEIRO, E.S. Comparação entre dados altimétricos SRTM, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**. v.1, n. 58 p.1-9, 2006.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira Ciências do Solo**. n. 28, p .297-305, 2004.

PORTO, M.F.A.; PORTO, R.La L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

RIFEEL, S.B. **Curva hipsométrica no mapeamento de paleosuperfícies: abordagem quantitativa**. 2006. 88p. Dissertação. Mestrado em Geologia Ambiental - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.; CARVALHO- JÚNIOR, O.A. de; FERNANDES, N.F.; GOMES, R.A.T. Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.4, n. 2. p.41-49, 2003.



RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **Cerrado: ambiente e flora. Fitofisionomias do Bioma Cerrado** (1st ed.). Planaltina, 556p.

ROSS, J. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. Sao Paulo: Contexto, 1990. 85p

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. 1ª ed. Editora Oficina de Textos, São Paulo 2006. 208p.

SABANÉS, L. **Manejo sócio-ambiental de recursos naturais e políticas públicas: um estudo comparativo dos projetos “Paraná Rural e Microbacias”**. 2002. 175f. Dissertação. Mestrado em Desenvolvimento Rural – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SAMPAIO, T.V.M. de. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem** – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente-ES. 2008. 147 f. Tese. Doutorado em Geografia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAMPAIO, T.V.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade. In: VII Encontro Nacional de Geomorfologia Belo Horizonte-MG. **Anais...** Belo Horizonte: IGC-UFMG, 2008.

SAMPAIO, T.V.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 15, n.1, p. 47-60, 2014.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. **Plano de gestão e gerenciamento da bacia do rio Araranguá**. Florianópolis : SDM – Instituto Cepa, vol. 3, 1997. 62p.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SILVA, A.M.; HERPIN, U. Caracterização morfométrica de sete bacias hidrográficas de mesoescala no estado de São Paulo. **Caminhos da Geografia**. v.17, n.3, p.20-30, 2006.

SILVA, T. de A. **Proposta Metodológica para Delimitação e Classificação do Ambiente de Veredas usando Imagens Orbitais**. 2007. 93f. Dissertação. Metrado em Geografia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C.N.L. da. Cartografia Geomorfológica como Subsídio para a Análise das Interferências do Uso da Terra no Desencadeamento dos Processos Erosivos: Um estudo em Área Canavieira. **RA E GA**. v.21, p. 365-391, 2010.

SPIGOLON, A.L.D.; ALVARENGA, C.J.S. de. Fácies e Elementos Arquiteturais Resultantes de Mudanças Climáticas em um Ambiente Desértico: Grupo Urucua (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 32, n.4, p.579-586, 2002.

SPRING: **Sistema de processamento de informações georeferenciadas**. Tutorial de geoprocessamento. Divisão de Geoprocessamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Atualização: 06 de fevereiro de 2004.

STRAHLER A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**. v.38, n.6, p. 913–920, 1957.

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

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

SCHUMM, S.A.; LICHTY, R.W. Time, space and causality in Geomorphology. **American Journal of Science** v.263, p. 110-119, 1965.

SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: IEF/UFLA, 2006. 288p.

SUMMERFIELD. M. **Global Geomorphology – an introduction to the study of landforms**. University of Edinburgh. Longman, 1991. 537p.

SUMMERFIELD, M.A.; HULTON, N.J. Natural controls on fluvial denudation rates in major world drainage basins. **Journal of Geophysical Research**. v.99, n.B7, p.13871–13883, 1994.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**. n.20, p. 137-156, 2007.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese. Doutorado em Ciências Florestal – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TRICART, J. **Principes et méthodes de geomorphologie**. Paris: Masson ed., 1965, 201p.

TRICART, J. A Geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim Geográfico**. v. 34, n. 251, p. 15-42, 1976.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH de Recursos Hídricos / 2ª ed., vol.4, 1997. 943p.

TUCKER, G.E.; BRAS, R.L.: **Hillslope processes, drainage density and landscape morphology**, Water Resour Res., vol. 34, n. 10, p. 2751-2764, 1998.

UMBELINO, G.J.M. **Proposta Metodológica para Avaliação da População Residente em Áreas de Risco Ambiental**: o caso da Bacia Hidrográfica do córrego do Onça/MG. 2006. 141f. Dissertação. Mestrado em Demografia – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

VALERIANO, M. de M.; MORAES, J.F.L.de. Extração de rede de drenagens e divisores por processamento digital de dados topográficos. In: VIII SBSR- Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador-BA. **Anais...** Salvador: INPE, 1996.

VALERIANO, M.M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE, 2002. 56p.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: UFGO, 2005.

VESTENA, L.R.; CHECCHIA, T.; KOBAYAMA, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do caeté, Alfredo Wagner/SC. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6. 2006. Goiânia. **Anais...** Goiânia:UFGO, 2006.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAW-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VIANA, M.B. **Programa de preservação de veredas na área de influência da UEH de Miranda**. 1987, 25f. Monografia de Curso de Especialização em Análise Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1987.

VIEIRA, L.C.; ALMEIDA, R.P.; TRINDADE, R.I.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; JANIKIAN, L. A Formação Sete Lagoas em sua área-tipo: fácies, estratigrafia e sistemas deposicionais. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 37, n. 4, p. 2-15, 2007.

XAVIER, R.A.; COELHO NETO, A.L. Ocorrência de depressões fechadas em divisores de drenagem no médio vale do rio Paraíba do sul. **Geografias**. v. 4, n. 2, p. 61-68, 2008.

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. **International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. 26-31 January, 1992. Dublin, Ireland.

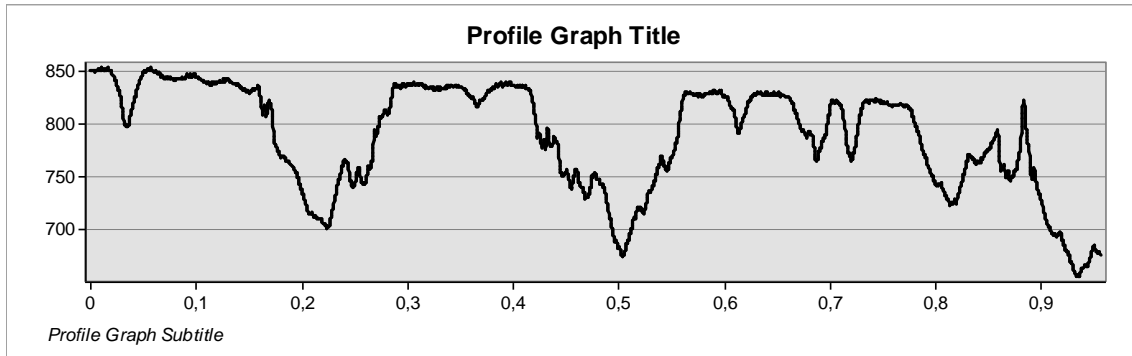
YASSUDA, E.R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v. 27, n.2, p. 5-18, 1993.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of drainage basin**. Amsterdam: Elsevier, 2a. ed. 1985. 238p.

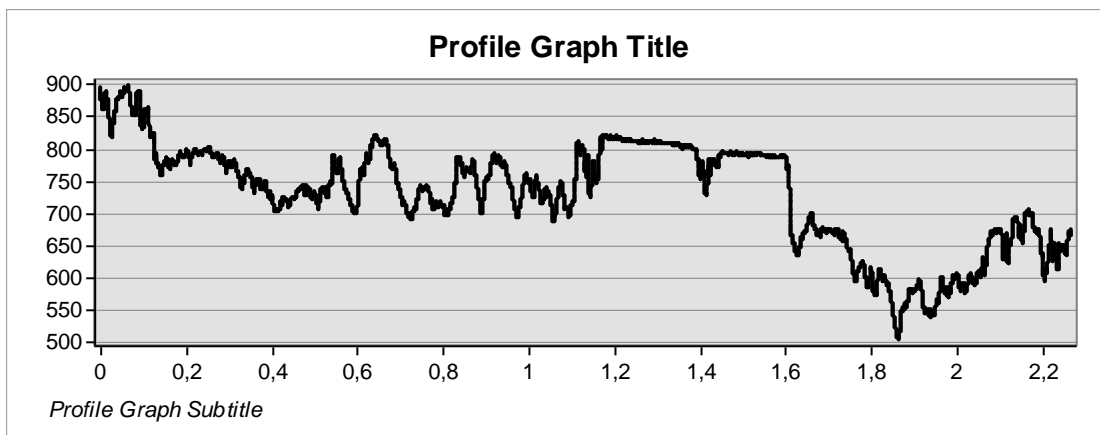
## **9. ANEXO 1 – Seções Topográficas dos Principais Rios da Área de Estudo**

## Rio Carinhanha

### Perfil C - D

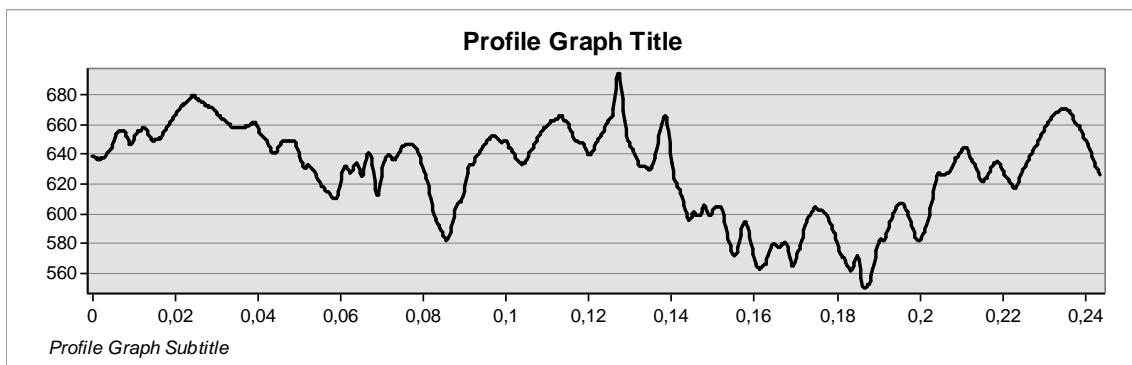


### Perfil A - B

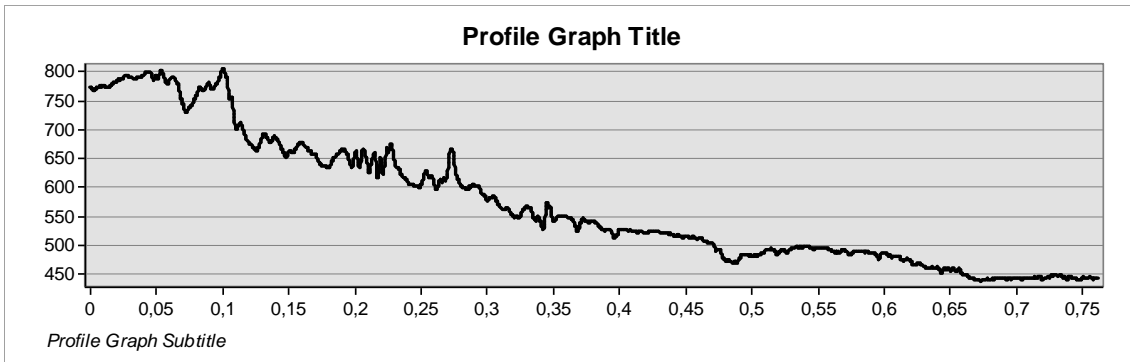


## Rio Calindó

### Perfil E - F

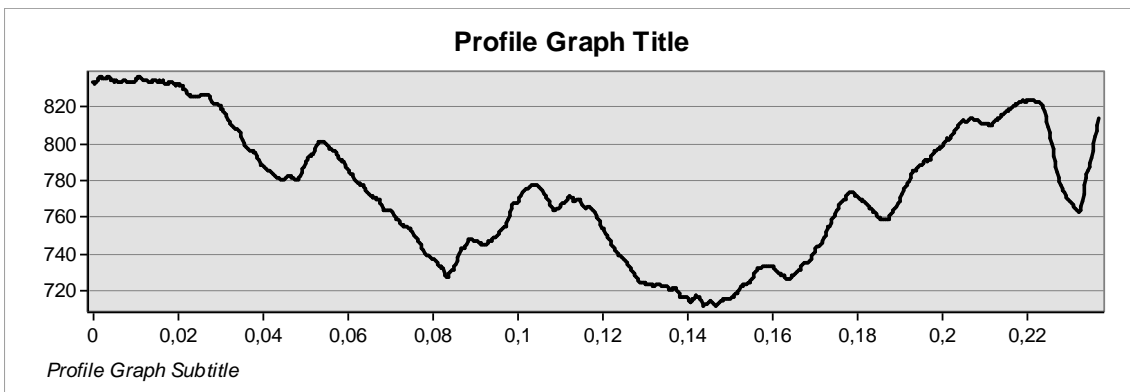


## Perfil G - H

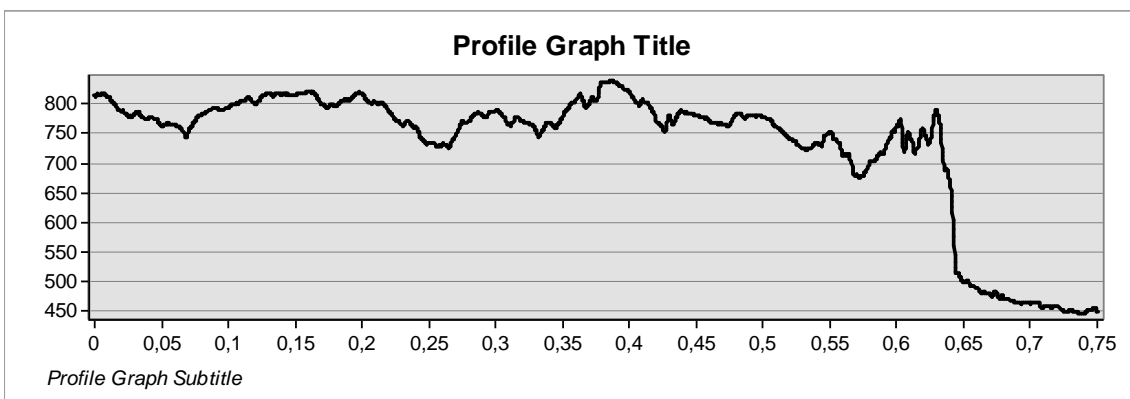


## Rio Peruaçu

## Perfil I - J

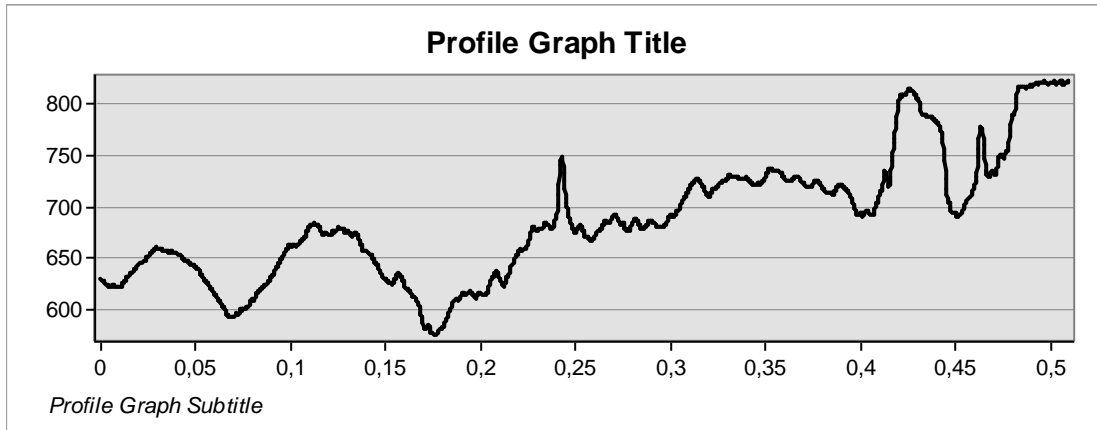


## Perfil K - L

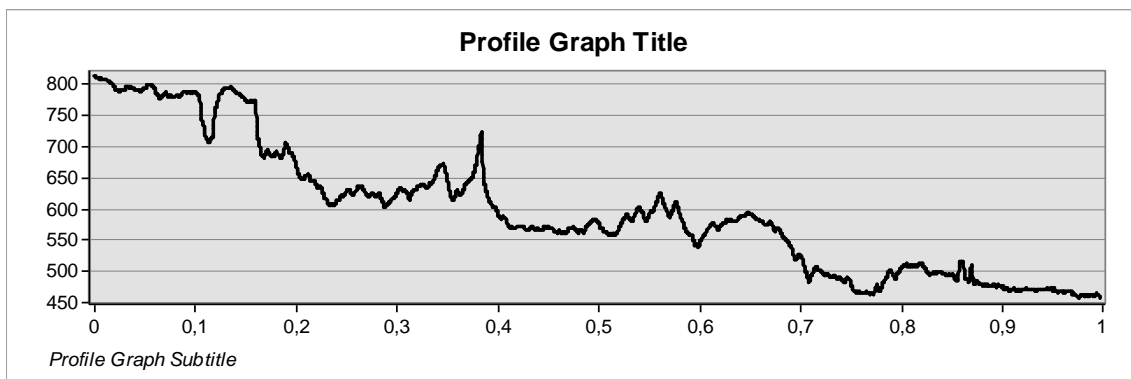


## Rio Pandeiros

Perfil K = L

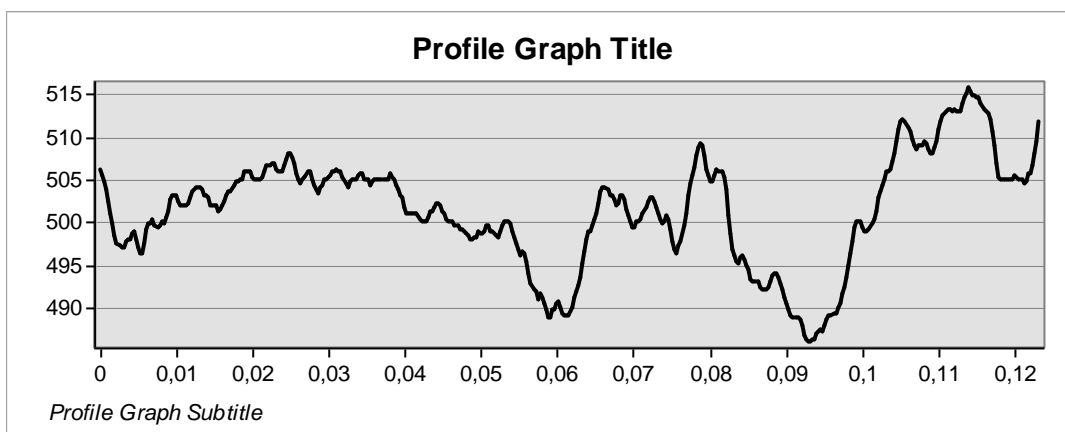


Perfil M - N



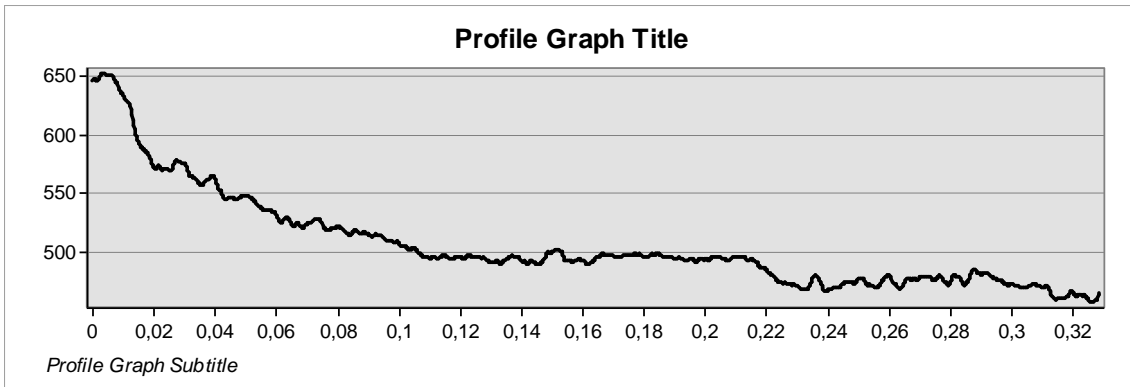
## Ribeirão do Peixe

Perfil O - P



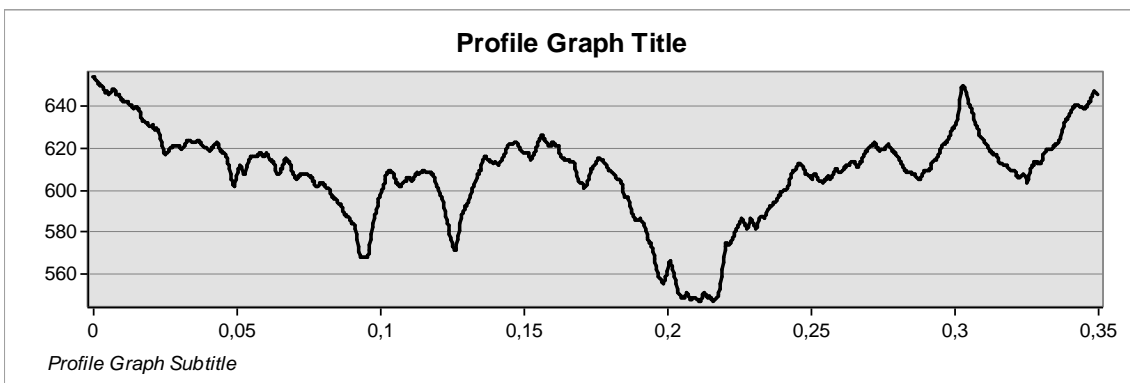


## Perfil Q - R

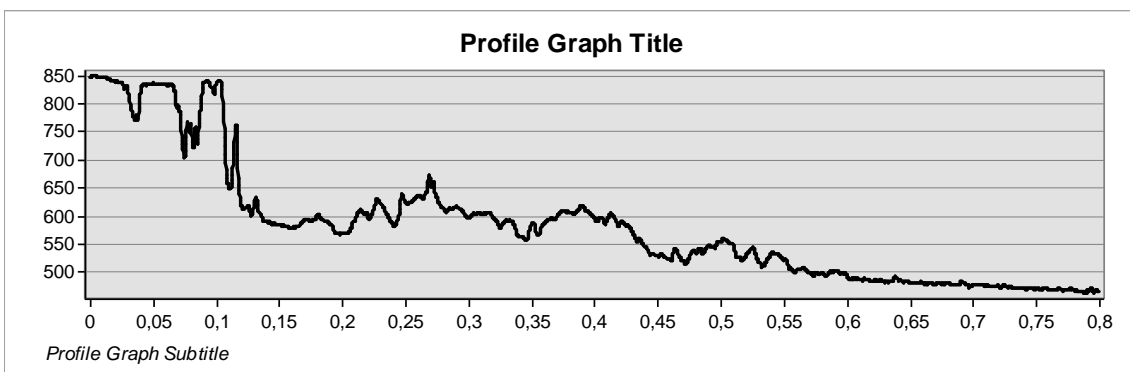


## Rio Pardo

## Perfil S - T

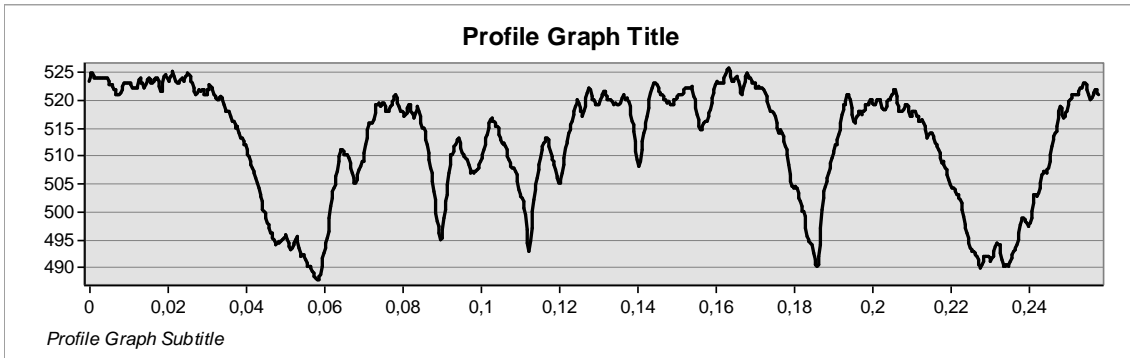


## Perfil U - V

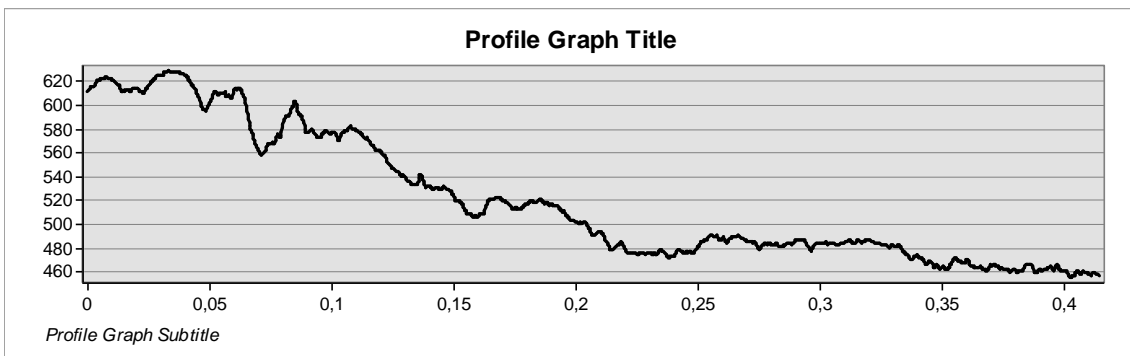


## Córrego Bom Jardim

### Perfil X - Y

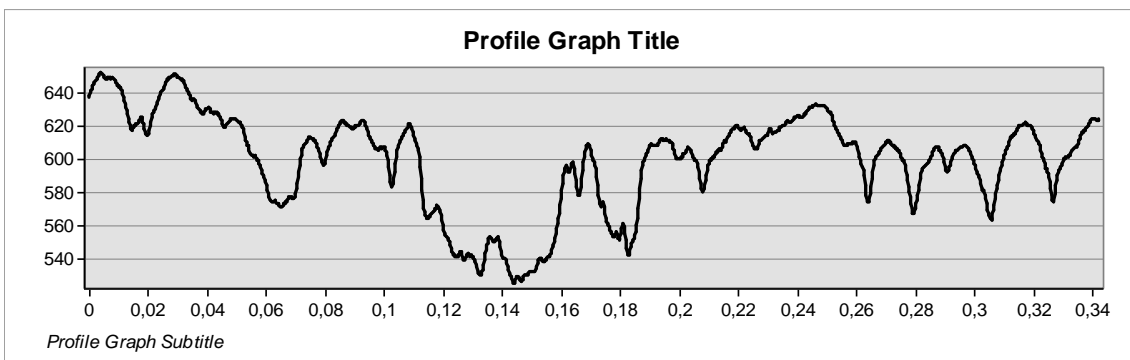


### Perfil W - Z

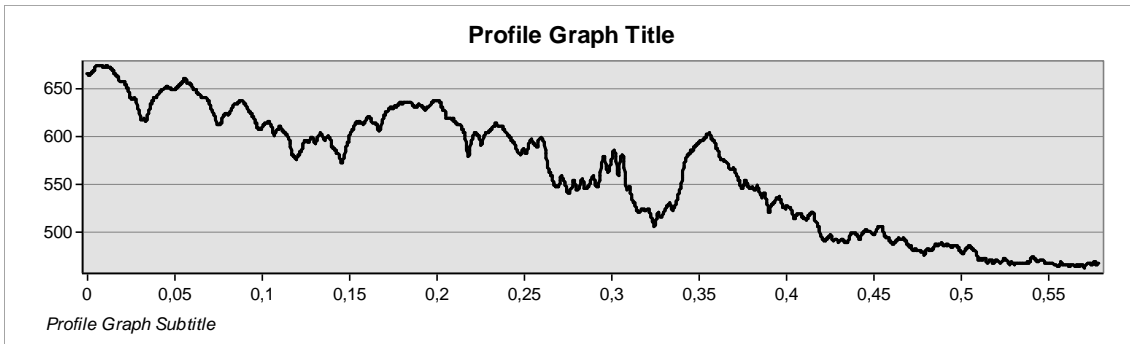


## Rio Acaraí

### Perfil AA - BB

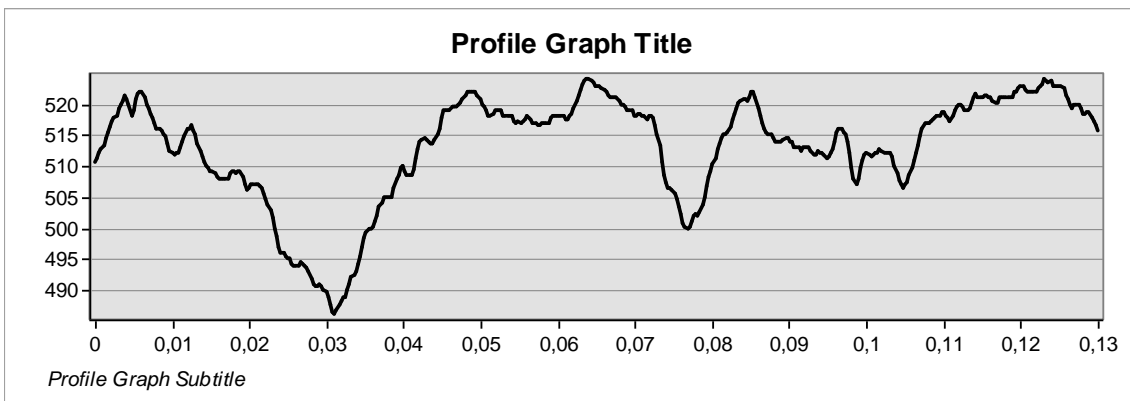


### Perfil CC - DD



### Riacho Fundo

#### Perfil EE - FF



#### Perfil GG - HH

