



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MARILEY GONÇALVES BORGES

Evolução da Paisagem em Relevo de Chapada no Cerrado

GOIÂNIA - GO
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Mariley Gonçalves Borges

3. Título do trabalho

Evolução da Paisagem em Relevô de Chapada no Cerrado.

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Mariley Gonçalves Borges, Discente**, em 28/09/2023, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 29/09/2023, às 16:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4083174** e o código CRC **0F26CAFA**.

MARILEY GONÇALVES BORGES

Evolução da Paisagem em Relevo de Chapada no Cerrado

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de Concentração: Natureza e Produção do Espaço.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno

GOIÂNIA - GO

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Borges, Mariley Gonçalves
EVOLUÇÃO DA PAISAGEM EM RELEVO DE CHAPADAS NO
CERRADO [manuscrito] / Mariley Gonçalves Borges. - 2023.
CLXV, 165 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2023.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Bacias Hidrográficas. 2. Superfícies de Aplanamento. 3. Áreas
Úmidas. 4. Evolução Geomorfológica. 5. Geotecnologias. I. Bueno,
Guilherme Taitson, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **45/2023** da sessão de Defesa de Tese de **Mariley Gonçalves Borges** que confere o título de Doutora em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos **onze dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três**, a partir das **09 horas**, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada **“Evolução da Paisagem em Relevo de Chapada no Cerrado”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno (IESA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Maria Ivete Soares de Almeida (UNIMONTES)**, membro titular externo; Professor Doutor **Marcos Esdras Leite (UNIMONTES)**, membro titular externo; Professor Doutor **Márcio Henrique de Campos Zancopé (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Maximiliano Bayer (IESA/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do **trabalho**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora aos **onze dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 11/08/2023, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Henrique De Campos Zancopé, Professor do Magistério Superior**, em 11/08/2023, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maximiliano Bayer, Professor do Magistério Superior**, em 11/08/2023, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCOS ESDRAS LEITE, Usuário Externo**, em 11/08/2023, às 15:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Ivete Soares de Almeida, Usuário Externo**, em 11/08/2023, às 18:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3953192** e o código CRC **A0C3772E**.

Referência: Processo nº 23070.040539/2023-78

SEI nº 3953192

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me proporcionou vivenciar, pelos momentos bons e difíceis, todos eles têm contribuído para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro para a realização do doutorado, por meio da concessão de uma bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno, pela oportunidade de tê-lo como orientador, pela paciência, contribuições e direcionamentos dados ao trabalho.

Ao Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes pela disponibilização das imagens *Worldview-II* e do GPS geodésico.

Ao Laboratório de Análise de Água e Efluentes (LabLAAE) de Montes Claros, por todo o suporte nas campanhas de campo, pelos equipamentos, coletas e medições. E em especial, ao Jopen Marcelo, pelo auxílio na realização das coletas, medições e análises de campo.

Ao Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa, pela confecção do bloco-diagrama de evolução das veredas.

Aos professores, Maria Ivete e Marcos Esdras, fontes de inspiração ao longo de todo o meu percurso acadêmico. Sou grata por todo o auxílio recebido desde a graduação, propagando-se até o doutorado. Bem como, os ensinamentos recebidos sobre a geografia e de ser humano.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Gercino, e meus irmãos, pelo apoio e compreensão durante essa jornada.

Ao meu companheiro Hérick, por todo o apoio, suporte, carinho e incentivos constantemente recebidos, tornando a caminhada mais leve.

Ao meu tio Benvindo (*in memoriam*), tia Maria, Cleuza, Eustáquio e família, pela hospitalidade no início de minha trajetória acadêmica, contribuindo bastante para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao Ederson Guilherme, pela amizade e incentivo no decorrer desta caminhada.

A todos, muito obrigada!!!

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a relação entre a representatividade espacial das áreas úmidas (veredas) no contexto de bacias hidrográficas do Cerrado, o estágio de evolução dos relevos de superfícies de aplanamento e seus reflexos na dinâmica das vertentes e no funcionamento dos canais. O estudo foi realizado nas bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), no Norte de Minas Gerais. Justifica-se 1) pela importância de se compreender a evolução dos relevos de superfícies de aplanamento do Cerrado e seus reflexos nas paisagens, no funcionamento das vertentes e na dinâmica hidrológica dos canais fluviais, no contexto das bacias hidrográficas; e 2) pela relevância ambiental das áreas úmidas do Cerrado, ambientes responsáveis pelo aumento do tempo de residência das águas nas bacias, pela qualidade das águas fluviais, pelo estoque de C orgânico. Para tanto, foram realizados, por meio das geotecnologias, o estudo morfométrico das bacias, a aplicação de índices de dissecação e de umidade, a estimativa do potencial de perda de solos (USLE) e o mapeamento e a classificação das áreas úmidas. Foram ainda feitas medidas de vazão e análises dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas *in loco* e em laboratório ao longo de um ano hidrológico. Como resultados, constatou-se que as áreas úmidas da BHCC possuem maior representatividade espacial que na BHRB, isto é, 27,9 km² de área a mais. A distribuição das áreas úmidas na área de estudos associa-se com a presença de superfícies de aplanamentos ainda conservadas. Em comparação com a BHRB, constatou-se que a BHCC apresenta relevo menos dissecado, menor densidade de drenagem e menores declividades. Seu índice de umidade é maior e o perfil longitudinal de seu canal principal se encontra menos ajustado ao perfil considerado em “equilíbrio”, isto é, parte significativa da bacia encontra-se a montante do *knickpoint* principal do canal, portanto ainda não ajustada ao nível de base atual. Essas características são compatíveis com os dados hidrológicos, os parâmetros físicos e físico-químicos das águas, que indicaram para o córrego Catolé uma vazão mais regular e águas de menor turbidez, ou seja, menor transporte de sedimentos na bacia. Os resultados demonstraram que a evolução geomorfológica encontra-se em estágio mais avançado na BHRB, o que indica a tendência natural de diminuição das áreas úmidas, predomínio de relevos dissecados e maior transporte de sedimentos pela rede fluvial.

Palavras-Chave: Bacias Hidrográficas. Superfícies de Aplanamento. Áreas Úmidas. Evolução Geomorfológica. Geotecnologias.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the relationship between the spatial representation of wetlands (*veredas*) in the context of the watershed from the Cerrado, the stage of evolution of the reliefs of planation surfaces and their reflections on the dynamics of the slopes and on the functioning of the river channels. The study was carried out in the watersheds of Catolé (BHCC) and Borrachudo (BHRB) rivers, in the North of Minas Gerais. It is justified by 1) the importance of understanding the evolution of the reliefs of planation surfaces in the Cerrado and its reflections on the landscapes, on the functioning of the slopes and on the hydrological dynamics of the river channels, in the context of the hydrographic basins; and 2) the environmental relevance of the Cerrado wetlands, which are responsible for increasing the residence time of water in the basins, for the quality of river water, and for the stock of organic C. For this purpose, the morphometric study of the watersheds, the application of dissection and moisture indices, the estimation of soil loss potential (USLE) and the mapping and classification of wetlands were performed using geoprocessing. River discharge measurements, of the physical and physicochemical parameters of water analyzes were also carried out *in loco* and in the laboratory over a hydrological year. It was found that the wetlands of the BHCC have greater spatial representation than for BHRB, that is, 27.9 km² more area. The distribution of wetlands in the study area is associated with the areas of still preserved planation surfaces. Compared to the BHRB, it was found that the BHCC has less dissected relief, lower drainage density and lower slopes. Its moisture content is higher and the longitudinal profile of its main channel is less adjusted to the profile considered in "balance", that is, a significant part of the basin is located upstream of the main knickpoint of the channel, therefore not yet adjusted to the current baselevel. These characteristics are compatible with the hydrological, the physical and physicochemical parameters of water, which indicated that the Catolé river has a more regular flow and water with less turbidity, that is, less sediment transport in the basin. The results showed that the geomorphological evolution is at a more advanced stage in the BHRB, which indicates a natural tendency towards a decrease in wetlands area, predominance of dissected reliefs and greater transport of sediments by the river network.

Keywords: Watersheds. Planation surfaces. Wetlands. Geomorphological evolution. Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo esquemático da elaboração das superfícies de aplanamento do Brasil oriental.....	25
Figura 2: Relação entre topografia, solos e profundidade do nível freático em vereda de chapada.....	33
Figura 3: Modelo de evolutivo das áreas úmidas de veredas	36
Figura 4: Processos responsáveis pela carga total de sedimentos em canais fluviais	39
Figura 5: Parâmetros físicos e físico-químicos das águas e seus principais determinantes.....	41
Figura 6: Influência da forma das bacias hidrográficas nas vazões dos rios....	46
Figura 7: Localização da Área de Estudos	48
Figura 8: Unidades do Relevo na BHCC e na BHRB	49
Figura 9: Hipsometria e declividade das bacias - córrego Catolé e riacho Borrachudo.....	50
Figura 10: Geologia das bacias hidrográficas - córrego Catolé e riacho Borrachudo.....	52
Figura 11: Lineamentos Estruturais e suas Direções Preferenciais na BHCC e na BHRB	53
Figura 12: Diagrama de rosetas da direção preferencial da rede de drenagem - BHCC e BHRB	54
Figura 13: Pedologia das bacias hidrográficas - córrego Catolé e riacho Borrachudo.....	56
Figura 14: Uso e cobertura da terra na BHCC e BHRB	58
Figura 15: Compartimentação da BHCC e seus Perfis Transversais.....	61
Figura 16: Compartimentação da BHRB e seus Perfis Transversais	62
Figura 17: Fluxograma dos procedimentos metodológicos	63
Figura 18: Chave de interpretação do uso e cobertura da terra.....	68
Figura 19: Área de estudos - Bacias do córrego Catolé e riacho Borrachudo..	84
Figura 20: Delimitação da drenagem em diferentes limiares	86
Figura 21: Hierarquização da rede de drenagem	87

Figura 22: Procedimentos executados na confecção do Índice de Dissecação do Relevo.....	90
Figura 23: Associação entre o entalhamento do vale e a dimensão interfluvial média	92
Figura 24: Estimativa de Densidade de Kernel da Rede de Drenagem da BHCC e da BHRB	98
Figura 25: Meandros abandonados na planície de inundação do riacho Borrachudo.....	99
Figura 26: Índice de Dissecação do Relevo da BHCC e da BHRB	101
Figura 27: Fator Erosividade para as duas Bacias Estudadas.....	103
Figura 28: Fator Topográfico para as duas Bacias Estudadas.....	105
Figura 29: Suscetibilidade à Perda de Solos por Erosão Hídrica na BHCC e BHRB	107
Figura 30: Localização da área de estudos e suas Superfícies de Aplanamento	116
Figura 31: Cálculo da Relação Declividade-Extensão (RDE) proposto por Etchebere (2000).....	117
Figura 32: Rupturas de Declive na Rede de Drenagem da BHCC e da BHRB	120
Figura 33: Perfil longitudinal do Córrego Catolé e do Riacho Borrachudo	121
Figura 34: Índice Topográfico de Umidade (TWI) da BHCC e da BHRB.....	123
Figura 35: Superfícies de Áreas Úmidas na BHCC e na BHRB.....	125
Figura 36: Feições de erosão acelerada na bacia do médio Catolé.....	127
Figura 37: Pontos de medição dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas na BHCC e na BHRB.	133
Figura 38: Equipamentos utilizados na medição da condutividade elétrica, turbidez, pH e temperatura da água.....	135
Figura 39: Cor das Águas no Curso Principal da BHCC e da BHRB	139
Figura 40: Modelo representativo aproximado da geometria da seção Transversal.....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros físicos e físico-químicos das águas, unidade e método de coleta.....	70
Tabela 2: Estações meteorológicas convencionais utilizadas para o cálculo da Erosividade.....	94
Tabela 3: Parâmetros morfométricos da BHCC e da BHRB	100
Tabela 4: Fator K para as classes de solos presente na área de estudo.....	104
Tabela 5: Fator C para as classes de uso do solo da área de estudo.....	106
Tabela 6: Condições das amostragens na área de estudo.	137
Tabela 7: Estatística Descritiva dos Parâmetros físicos e físico-químicos das Águas na BHCC e na BHRB	141
Tabela 8: Vazões Específicas na BHCC e na BHRB	152
Tabela 9: Parâmetros físicos e físico-químicos das Águas na BHCC e BHRB entre janeiro e dezembro de 2021.....	154
Tabela 10: Correlação de Pearson dos Parâmetros Físicos e Físico-químicos das águas da BHCC e da BHRB.....	155

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Série Histórica do Uso e Cobertura da Terra na BHCC e BHRB.....	59
Gráfico 2: Série histórica de precipitação da estação de Januária/MG (1990-2020)	60
Gráfico 3: pH da Água no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021	142
Gráfico 4: Temperatura da Água no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021	144
Gráfico 5: Registros de precipitação na área de estudos entre janeiro e dezembro de 2021	146
Gráfico 6: Turbidez das Águas no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021	147
Gráfico 7: Sólidos Totais Dissolvidos nos Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021.....	148
Gráfico 8: Condutividade Elétrica no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021	149
Gráfico 9: Vazões Médias no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021	151

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ANOVA	Análise de Variância
APA	Área de Proteção Ambiental
ASA	Amplitude do Sinal Analítico
AUs	Áreas Úmidas
BDIA	Banco de Dados de Informações Ambientais
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BHCC	Bacia Hidrográfica do Córrego Catolé
BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada
BHRB	Bacia Hidrográfica Riacho Borrachudo
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Copernicus
Dd	Densidade de Drenagem
DIM	Diâmetro Interfluvial Médio
ESA	Agência Espacial Europeia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EV	Entalhamento do Vale
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FSTT	Fator de Simetria Topográfica Transversal
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ha	Hectare
Hf	Hierarquia Fluvial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de Circularidade
IDR	Índice de Dissecação do Relevo

IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Is	índice de Sinuosidade
Ir	Índice de Rugosidade
Km ²	Quilometro Quadrado
L	Litros
LabLAAE	Laboratório de Análises de Água e Efluentes
LS	<i>Stream Lenght-Gradient</i>
m	Metros
MDE	Modelo Digital de Elevação
MFI	Índice de Fournier Modificado
MIR	Infravermelho Médio
MG	Minas Gerais
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
NIR	Infravermelho Próximo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
Pd2	Pediplanos
POP	Procedimento Operacional Padrão
RDE	Relação Declividade/Extensão
SAGA GIS	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
µS	Micro Siemens
SIBICs	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TWI	Índice Topográfico de Umidade
Unimontes	Universidade Estadual de Montes Claros
UTM	Universal Transversa de Mercator
USLE	Equação Universal de Perda de Solo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Evolução da Superfície de Aplanamento e Incisão Fluvial.....	23
2.2 Áreas Úmidas do Cerrado.....	29
2.3 Hidrologia de Bacias e Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas..	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 Localização e Características Gerais.....	47
3.1.1 Elementos do Meio Físico e do Uso e Cobertura da Terra.....	48
3.1.2 Compartimentação de Bacias.....	60
3.2 Procedimentos Operacionais.....	62
3.2.1 Aquisição de Bases Cartográficas e Caracterização da Área.....	64
3.2.2 Processamento de Dados Orbitais e Campanhas de Campo.....	68
REFERÊNCIAS	71
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
CAPÍTULO I – ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DO RELEVO DE CHAPADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS E SUA SUSCETIBILIDADE À PERDA DE SOLO: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO	
4.1 INTRODUÇÃO	82
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	83
4.2.1 Localização da Área de Estudo.....	84
4.2.2 Procedimentos Operacionais.....	85
4.2.2.1 Análise Linear, Areal e Hipsométrica.....	85
4.2.2.2 Índice de Dissecação do Relevo.....	89
4.2.2.3 Equação Universal à Perda de Solos (USLE).....	92
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.3.1 Aspectos Morfométricos.....	96
4.3.2 Suscetibilidade à Perda de Solos.....	102
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
REFERÊNCIAS	109
CAPÍTULO II – SUPERFÍCIES DE ÁREAS ÚMIDAS EM RELEVO DE CHAPADAS: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO	
4.5 INTRODUÇÃO	114
4.6 MATERIAIS E MÉTODOS	116
4.6.1 Localização da Área de Estudo.....	116
4.6.2 Procedimentos Operacionais.....	117
4.6.2.1 Identificação de <i>Knickpoints</i>	117
4.6.2.2 Índice Topográfico de Umidade.....	118
4.6.2.3 Mapeamento das áreas Úmidas.....	118
4.7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	119
4.7.1 Rupturas de Declive (<i>Knickpoints</i>)	119
4.7.2 Perfis Longitudinais.....	120
4.7.3 Índice Topográfico de Umidade (TWI)	122
4.7.4 Superfícies de Áreas Úmidas.....	124

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	129
CAPÍTULO III – PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS EM ÁREAS DE RELEVO DE CHAPADAS: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO	
4.9 INTRODUÇÃO	131
4.10 MATERIAIS E MÉTODOS	132
4.10.1 Caracterização dos Pontos de Amostragem e Medição.....	133
4.10.2 Procedimentos Operacionais.....	134
4.10.2.1 Coleta de dados em campo.....	134
4.10.2.2 Análise Estatística dos dados.....	137
4.11 RESULTADOS E DISCUSSÃO	138
4.11.1. Estatística Descritiva do Conjunto de Dados.....	140
4.11.2 Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas na BHCC e na BHRB...	142
4.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
5. CONCLUSÕES	157
REFERÊNCIAS	160
ANEXO I	164

1. INTRODUÇÃO

Os relevos de chapada são parte marcante da paisagem do Norte de Minas Gerais e do Cerrado brasileiro. Autores como King (1956); Braun (1970) e Valadão (2009) associaram as chapadas com superfícies de aplanamento e sua gênese é geralmente atribuída ao processo de pediplanação (King, 1956), sob climas pretéritos mais secos. Os relevos tabuliformes de maior altitude no Norte de Minas Gerais, situados a oeste da Serra do Espinhaço, são comumente associados à superfície Sul-Americana (King, 1956; Valadão, 2009). A superfície Sul-Americana é descrita na literatura como uma superfície de excepcional grau de aplanamento (Braun, 1970), de longo período de elaboração, e de abrangência continental (Rabassa, 2014; Ladeira, 2014; Kröhling et al., 2014).

Remanescentes bem preservados desta superfície são encontrados em muitas partes do Norte de Minas Gerais. Correspondem, geralmente, aos topos das chapadas situados acima dos 800 m de altitude, elaborados a partir dos arenitos do Grupo Urucuia (Valadão, 2009). Ainda segundo este autor, a elaboração desta superfície teria iniciado no Aptiano e terminado no Mioceno Médio, quando teria ocorrido um episódio de soerguimento da região, dando início à sua dissecação. Portanto, a superfície Sul-Americana pode ser considerada, de certa forma, o ponto de partida para a elaboração do relevo hoje observado na região. Subsequentemente, no Mioceno superior, estabeleceram-se as condições para a elaboração de uma nova superfície de aplanamento, denominada Velhas (King, 1956; Braun, 1970) ou Sul-Americana I (Valadão, 2009), que ocorre regionalmente embutida na superfície Sul-Americana, com topos em torno dos 650 m de altitude. Esta segunda superfície, por sua vez, passa a ser dissecada a partir de um novo episódio de soerguimento, ocorrido no Plioceno Superior (Valadão, 2009).

O quadro descrito permite afirmar que a evolução da paisagem por dissecação de antigas superfícies de aplanamento, associada ao processo de incisão fluvial, é generalizada no Norte de Minas Gerais, mediante as atuais condições climáticas. A água das chuvas, escoando de forma concentrada, estabelece redes hidrográficas densas e com canais encaixados, constituindo o

principal agente morfogenético. Entretanto, sobre os remanescentes das superfícies de aplanamento, ainda pouco dissecados, persistem paisagens de interflúvios amplos e planos, cuja continuidade é interrompida por canais fluviais mal estabelecidos, pouco encaixados, hidromórficos, que compõem redes hidrográficas de baixa densidade de drenagem. Neste contexto, encontra-se a maioria das ocorrências de veredas, tipo especial de área úmida (*wetland*), característico das chapadas do bioma Cerrado.

Os remanescentes das superfícies de aplanamento podem ser interpretados como formas relictuais, considerando a tendência atual de dissecação e conseqüente desaparecimento dos relevos planos de chapadas e dos ambientes a ela associados. Em seu lugar, estabelecem-se ambientes rejuvenescidos, de maior eficiência de escoamento e com maior densidade e de drenagem. Autores como Trescases (1975), Lima e Queiroz Neto (1996), Filizola e Boulet (1996) propuseram que depressões fechadas ou fundos de vale hidromórficos (ex: veredas), constituiriam o estágio inicial da instalação e de desenvolvimento da rede hidrográfica sobre superfícies aplanadas sobrelevadas (platôs). Com a progressiva exportação de matéria, primeiro por erosão geoquímica por fluxos internos e, posteriormente, também por erosão mecânica superficial, os vales gradualmente se aprofundariam, incisando a superfície aplanada. Conseqüentemente, as depressões e os vales hidromórficos dariam lugar a canais encaixados em uma paisagem de relevo dissecado.

De fato, remanescentes de solos hidromórficos associados a paleoambientes mal drenados são observados em médias e altas vertentes de vales encaixados, presentes nas superfícies de aplanamento de diferentes áreas do Cerrado, como por exemplo, na região de Três Marias-MG (López, 2009); na chapada entre Uberaba-MG e Uberlândia-MG (Carvalho et al., 2017); em Minas Novas-MG (Bispo et al., 2011) e no Parque Estadual de Terra Ronca-GO (Silva, 2019). A presença desses solos relictuais indica que as áreas úmidas do tipo vereda, que hoje muitas vezes se restringem aos altos-cursos dos canais fluviais, eram mais extensas para jusante, e vêm regredindo em área, no sentido remontante, em resposta à incisão fluvial.

Portanto, partiu-se neste trabalho dos pressupostos de que a morfodinâmica das superfícies planas e elevadas (superfícies de aplanamento) das regiões de clima tropical úmido e sub-úmido é comandada pelo processo de incisão fluvial e de que a representatividade espacial das áreas úmidas no contexto das bacias hidrográficas (superfície ocupada pelas áreas úmidas) é um indicador do estágio de evolução dos relevos e das paisagens. Considerando-se o papel das águas como o principal agente morfogenético das transformações das paisagens tropicais, esta pesquisa propõe um estudo comparativo das características de duas bacias hidrográficas adjacentes, situadas no Norte de Minas Gerais. As bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), no Norte de Minas Gerais, apresentam superfícies aplanadas conservadas ou dissecadas, situadas sobre arenitos do Grupo Urucuia. São bacias vizinhas e de 4ª ordem, considerando a classificação hierárquica de Strahler (1957), inseridas na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros, criada em 1995. Em ambas as bacias a formação vegetal predominante é a savânica (cerrado *stricto sensu*), com presença de áreas úmidas do tipo vereda. Embora disponham de atributos físicos bastante semelhantes, como o nível hierárquico, a área, a cobertura vegetal e a litologia, as paisagens das duas bacias apresentam significativa diferença quanto à superfície total ocupada pelas áreas úmidas do tipo vereda.

Assim sendo, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a relação entre a representatividade espacial das áreas úmidas do tipo vereda no contexto de bacias hidrográficas do Cerrado, o estágio de evolução dos relevos de superfícies de aplanamento e seus reflexos na dinâmica das vertentes e no funcionamento dos canais fluviais. Os objetivos específicos correspondem a: 1) Caracterizar, quanto à morfometria do relevo, as bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo; 2) Estimar a perda de solos potencial por erosão hídrica para as bacias estudadas segundo a USLE (Equação Universal de Perda de Solo); 3) Mapear a superfície ocupada pelas áreas úmidas do tipo vereda em bacias com diferentes graus de dissecação (bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo); 4) Caracterizar o regime fluvial das duas bacias hidrográficas ao longo de um ano hidrológico; 5) Caracterizar os parâmetros

físicos e físico-químicos das águas das duas bacias hidrográficas ao longo de um ano hidrológico.

A hipótese deste trabalho é a de que as duas bacias estudadas encontram-se em diferentes estágios de evolução geomorfológica, com reflexos na dinâmica das vertentes (potencial de perda de solo) e no funcionamento dos canais fluviais (regime, parâmetros físicos e físico-químicos das águas).

Esse trabalho teve como foco a abordagem sistêmica, o método comparativo, a categoria paisagem e a bacia hidrográfica como unidade de análise. Pode-se definir um sistema com base em Chorley; Kennedy (1972): objetos e/ou atributos que exibem relações entre si e que operam como um todo complexo, constituindo estruturas. Para Elvelfeldt (2012, p. 132), um sistema é “uma interação coerente de processos que cria estruturas que podem ser temporariamente estáveis”.

O método comparativo se refere a uma abordagem que busca ressaltar as semelhanças e as diferenças entre duas ou mais áreas, assim como, o contraste desses aspectos (Brandão, 2012). A análise comparativa pode ser realizada para compreender aspectos do presente ou do passado, ou de suas combinações (Marconi; Lakatos, 2007).

A paisagem pode ser definida como “a parte facilmente perceptível de um sistema de relações subjacente, cujo conhecimento explicaria a co-presença e a coerência dos elementos percebidos, mas que não são facilmente acessíveis mediante a observação direta em sua totalidade” (Bernaldez, 1981, p. 03). Isto é, a paisagem é entendida aqui como a parte visível de um sistema (fenossistema, segundo Bernaldez, 1981), ou o reflexo externo, em sua totalidade, das interações dos componentes do meio natural, como rochas, formações superficiais, relevo, vegetação, água.

Por sua vez, a bacia hidrográfica corresponde a um “sistema espacial geograficamente definido a partir da configuração da rede de drenagem e delimitado por divisores hidrográficos (interflúvios)” (Magalhães Júnior et al., 2020, p. 54). Esse sistema permite o escoamento das águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas, além do transporte de sedimentos das áreas

mais elevadas (montante) para as mais baixas (jusante), ao longo do tempo (Stevaux; Latrubesse, 2017).

É importante considerar que a pesquisa tem um foco especial nas áreas úmidas (*wetlands*) do tipo vereda. As áreas úmidas das chapadas do Cerrado, dentre as quais se destacam as veredas, constituem paisagens especiais de grande beleza e relevância ambiental. O papel das áreas úmidas continentais como reguladoras dos regimes fluviais e da qualidade das águas é amplamente reconhecido na literatura (Bridon et al., 2006; Pereira, 2010; Gomes; Magalhães Júnior, 2020). Nas regiões tropicais sua importância é ainda maior, devido ao regime pluviométrico anual marcado por uma distribuição muito desigual das chuvas. A estação seca no domínio do Cerrado pode variar de 4 meses até 5 meses (Nimer, 1989). Além disso, há também significativa variação interanual, fazendo com que a estação da seca possa ser ainda mais longa.

As áreas úmidas do tipo vereda, definidas como "[...] vales rasos, com vertentes côncavas e arenosas de caimento pouco pronunciado e fundo plano, preenchidos por argilas hidromórficas" (Boaventura, 1981, p. 26), armazenam uma parcela das águas recebidas durante o período chuvoso e as fornecem gradativamente aos canais fluviais ao longo do ano, contribuindo para aumentar o tempo de residência da água nas bacias e para a perenidade dos rios (Melo, 2008; Pereira, 2010; Neves, 2011). Além disso, ao retardar os fluxos hídricos, diminuem os processos erosivos mecânicos (Queiroz, 2015). Portanto, seu mapeamento e conhecimento na região de estudos é fundamental para que se compreenda melhor seu papel ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução das Superfícies de Aplanamento e Incisão Fluvial

As superfícies de aplanamento são superfícies topográficas quase planas que se estendem por longas distâncias (Migoñ, 2004). Ainda segundo este autor,

[...] algum relevo é permitido, especialmente na forma de colinas residuais isoladas, mas os gradientes de declividade das vertentes devem ser muito baixos e a rede de drenagem não deve ser encaixada. Idealmente, as superfícies de aplanamento devem cortar diferentes estruturas rochosas (Migoñ, 2004, p. 788).

Trata-se, portanto, de áreas relativamente planas da paisagem que podem apresentar grandes extensões territoriais, ou então, consistir apenas em remanescentes, ou relevos residuais, de topos planos. Geralmente, são delimitadas por escarpas, feições resultantes do recuo paralelo das encostas (Valadão, 1998; 2009). Essas superfícies são também conhecidas na literatura como superfícies de erosão, superfícies cimeiras, peneplanos, pediplanos, etchplanos (Ross, 1991), ou então, como chapadas e platôs. As superfícies de aplanamento são formadas por erosão até um nível de base, geralmente o nível do mar (Ollier; Pain, 2000). Superfícies de aplanamento elevadas (platôs) indicam epirogênese de uma antiga planície de baixa altitude. Aplanamentos generalizados indicam um período de estabilidade tectônica, quando a ação da erosão não foi perturbada por soerguimentos (Ollier; Pain, 2000).

As superfícies de aplanamento podem ser consideradas poligenéticas (Salgado, 2007), uma vez que o emprego de diferentes teorias (pediplanação, peneplanação, etchplanação, etc.) possibilita compreender melhor o processo de sua elaboração. Nesse sentido, aspectos sobre sua origem, caracterização e evolução, podem ser vistos nos trabalhos de Davis (1899)¹, De Martonne

¹ Davis, W. M. The Geographical Cycle. In: **Geographical Journal Of The Royal Geographical Society**. v.14, 1899, p.481-504.

(1943)², Penck (1953)³, King (1956)⁴, Büdel (1957)⁵, Almeida (1964)⁶, Bigarella, Mousinho e Silva (1965)⁷, Millot (1983)⁸, Valadão (1998⁹; 2009¹⁰), dentre outros. Esses trabalhos diferenciam-se pela denominação dada às superfícies de aplanamento, tempo de duração e gênese, isto é, dando mais ênfase ao fator tectônico, ao fator climático, aos processos de intemperismo e pedogênese, ou combinando-os em diferentes graus.

O trabalho de Lester King (1956) denominado "A Geomorfologia do Brasil Oriental" é bastante conhecido pelas contribuições a respeito das superfícies de aplanamento. Conforme King (1956), as superfícies de aplanamento do Brasil oriental foram elaboradas a partir de processos cíclicos de desnudação e por soerguimentos decorrentes da epirogênese. Essas superfícies podem apresentar diferentes níveis topográficos associados à ocorrência de processos desnudacionais, formando uma paisagem escalonada (Silva, 2009). Os diferentes níveis topográficos ou morfológicos presentes na paisagem correspondem a diferentes idades, em que as superfícies mais elevadas são mais antigas e aquelas localizadas em posições mais baixas do relevo são mais jovens ou recentes (Salgado, 2007; Moreira; Perez Filho, 2020).

A formação dessas superfícies teria ocorrido a partir de sucessivos ciclos de erosão. Na região deste estudo não são encontrados remanescentes das superfícies associadas aos ciclos mais antigos de King (1956) (Gondwana e Pós-Gondwana). Os ciclos subsequentes foram por ele denominados ciclo Sul-

² DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo. v. 5, n. 4, p. 532-550. 1943.

³PENK, Walter. 1953. **Morphological Analysis of Land Forms: a Contribution to Physical Geology**. London: Macmillan, 1953. 429p.

⁴ KING, L. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. Ano XVIII, N. 2, 1956.

⁵ BÜDEL, J. Die doppeleten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, n. 1, p. 201-288, 1957.

⁶ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo. n. 41, p. 169-263. 1964.

⁷ BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Processes and Environments of the Brazilian Quaternary. In: INQUA Congress, **Caderno Especial**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1965. 156p

⁸ MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITISATION PROCESSES, 2., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IUGS; UNESCO; IGCP; IAGC, 1983. p.53-63.

⁹ VALADÃO, R. C. Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: denudação, superfícies de aplanamento e soerguimentos crustais. **Tese de Doutorado**. UFBA, Salvador: 1998, 242 p.

¹⁰ VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.10, n.2, p.77-90, 2009.

Americano, ciclo Velhas e ciclo Paraguaçu (King, 1956) (Figura 1). Por meio desses ciclos, formaram-se superfícies aplanadas preservadas e dissecadas com diferentes níveis topográficos, sustentados por rochas com diferentes graus de resistência (Resende et al., 2014).

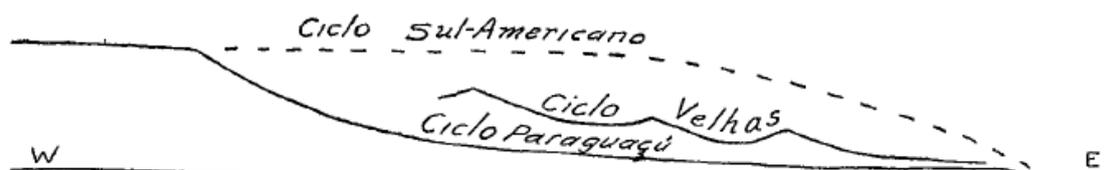


Figura 1: Modelo esquemático da elaboração das superfícies de aplanamento do Brasil oriental
Fonte: KING, 1956.

O ciclo Sul-Americano refere-se à elaboração de uma ampla superfície produzida a partir da individualização da placa Sul-Americana durante o final do Cretáceo e até o Terciário Médio, sendo denominada Superfície Sul-Americana (VALADÃO, 2009). Essa superfície corresponde à superfície Paleogênica de De Martonne (1943), à superfície de cristas médias de Ab'Sáber (1962), ao Pd2 de Bigarella, Mousinho e Silva (1965) e à superfície de Japi, de Almeida (1964).

A partir da Superfície Sul-Americana, outras superfícies provenientes de ciclos de erosão foram formadas na região estudada, como a Superfície Sul-Americana I e a Superfície Sul-Americana II (Valadão, 2009). A Superfície Sul-Americana I foi formada entre o Mioceno Médio e o Plioceno Inferior, após a dissecção da Superfície Sul-Americana, e corresponde ao ciclo Velhas de King (1956). Já a Superfície Sul-Americana II, formada a partir do Plioceno Superior, refere-se ao aprofundamento dos vales formados após a elaboração da Superfície Sul-Americana I (Valadão, 1998; 2009) e que, conforme King (1956) corresponderia ao ciclo Paraguaçu. A Superfície Sul-Americana II geralmente situa-se ao longo dos canais fluviais, em cotas altimétricas inferiores a 500 m na região norte de Minas Gerais (Almeida, 2015).

O aplanamento decorrente do ciclo Sul-Americano formou superfícies que foram degradadas pelos ciclos de erosão posteriores (Velhas e Paraguaçu), restando apenas seus remanescentes. A manutenção ou degradação dessas superfícies dependem do grau de resistência das rochas e de suas formações superficiais, além da disposição da rede de drenagem. Áreas compreendidas por

rochas mais resistentes, capeadas por lateritos, ou com baixa densidade de drenagem favorecem a manutenção das superfícies de aplanamento, pois a atividade erosiva atua com menor intensidade. Já as áreas com rochas mais friáveis, formações superficiais menos coesas e alta densidade de drenagem, ou que sofreram os reflexos de um rebaixamento do nível de base, dão origem a uma paisagem dissecada e com maior atuação dos processos erosivos (Silva, 2009; Moreira; Perez Filho, 2020).

A presença de materiais resistentes ao intemperismo e à erosão mecânica, como as crostas lateríticas, favorece a manutenção dessas superfícies (Tardy, 1993). As crostas lateríticas são constituídas por óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, que devido às condições climáticas (clima com estações contrastadas) (Tardy, 1993), tornaram-se materiais endurecidos, formando uma camada superficial de aspecto rígido (ferricrete, laterito). Essas formações superficiais mantêm os aplanamentos, retardando o processo de desmantelamento dessas superfícies, e são especialmente comuns e bem desenvolvidas sobre a superfície Sul-Americana (Resende et al., 2014; Mantovani, 2020; Moreira; Perez Filho, 2020).

As superfícies aplanadas do Cerrado encontram-se, em sua maioria, revestidas por formações vegetais homônimas, com presença de fitofisionomias de veredas ou de matas-galeria acompanhando a rede de drenagem que atravessa seu interior. Próximo aos seus limites há faixas de transição compostas por cerrados mesclados a outros tipos fitofisionômicos, além de possuir, dentro de seus domínios, enclaves pertencentes a outras formações vegetais (Ab'Sáber, 2003).

O clima é tropical com presença de duas estações bem marcadas (verões chuvosos e invernos secos), com períodos de estiagem que podem ultrapassar 4 a 5 meses secos (Nimer, 1989). A rede de drenagem em sua maioria é do tipo perene, no entanto, em função da sazonalidade climática, alguns rios apresentam regime intermitente. Em geral, as chapadas são consideradas áreas de baixa densidade de drenagem, os canais são extensos e as vazões costumam oscilar durante o ano (Ab'Sáber, 2003).

A ocorrência dos tipos de solos depende da sua posição ao longo das vertentes. Nas áreas elevadas e planas dos chapadões são comuns solos mais velhos, profundos e bem drenados, com altos teores de alumínio, bastante lixiviados, com cores avermelhadas ou amareladas relacionadas à presença de óxidos de ferro (hematita e goethita), classificados como Latossolos (Sano; Almeida; Ribeiro, 2008). Nas áreas acidentadas e rejuvenescidas do relevo os solos são mais jovens, pouco desenvolvidos, rasos, afetados pelo processo erosivo, características de Cambissolos e Neossolos (Resende et al., 2014).

As rochas do domínio do Cerrado são em sua maior parte constituídas por minerais resistentes ao processo de intemperismo, sendo predominantemente "rochas sedimentares, mas podem, excepcionalmente, ocorrer rochas metassedimentares de baixo metamorfismo, sedimentares vulcânicas ou vulcânica máficas" (Martins; Salgado, 2016, p.174).

Na bacia Sanfranciscana, as superfícies de aplanamento sobrepõem o embasamento do Cráton São Francisco, que inclusive aflora no Alto de Januária, ao longo da rede de drenagem, próximo a Bonito de Minas-MG (Iglesias; Uhlein, 2009; Rezende; Chaves; Oliveira, 2017).

As superfícies de aplanamento em áreas do Cerrado brasileiro estão em constante processo de evolução. Essa evolução está associada ao processo de incisão fluvial e dissecação do relevo pela rede de drenagem sob clima úmido e semi-úmido, sucedendo a fase inicial de estabelecimento dos vales hidromórficos por perdas geoquímicas (Lima; Queiroz Neto, 1996). O processo evolutivo das superfícies de aplanamento associa-se, portanto, com a atuação da rede de drenagem, que é responsável por escavar e modelar a paisagem (Lima; Cunha; Perez Filho, 2016).

A análise dos perfis longitudinais dos canais fluviais das redes hidrográficas fornece elementos importantes para a compreensão da evolução das paisagens. Canais com perfis longitudinais próximos do equilíbrio apresentam perda de matéria aproximadamente semelhante em todos os seus segmentos e não possuem trechos de maior erosão ou de acumulação (Barros; Magalhães Júnior, 2020). Sua representação gráfica é marcada por uma curva

côncava, reduzindo-se gradativamente em direção de jusante (Stevaux; Latrubesse, 2017).

Perfis longitudinais em desequilíbrio apresentam irregularidades em seu curso, em função de apresentar, em seu gradiente, rupturas de declive (suaves ou abruptas) associadas ao substrato rochoso, à atividade tectônica, ao fluxo de sedimentos transportados ou às variações do nível de base (Barros; Magalhães Júnior, 2020). Sua presença faz com que determinados trechos do seu gradiente possuam maior erosão, e outros, maior deposição (Stevaux; Latrubesse, 2017).

Os perfis em desequilíbrio podem apresentar rochas com diferentes graus de resistência, provocando a erosão diferencial, ou seja, as rochas com menor resistência são mais rapidamente erodidas, enquanto aquelas resistentes permanecem, formando seções descontínuas no percurso (Martins; Caldeira; Borges, 2012). A tectônica pode também ser responsável pela formação de rupturas nas seções dos rios, a partir do soerguimento de blocos, falhas e fraturas no substrato rochoso (soleiras estruturais). Em decorrência da atividade tectônica a rede de drenagem poderá encaixar devido à incisão vertical ou sedimentar o canal em função da maior carga de sedimentos fornecidos (Lana; Castro, 2012; Barros; Magalhães Júnior, 2020).

O fluxo de sedimentos transportados pelos rios apresenta características (volume, velocidade, etc.) que alteram a forma do leito, a partir de sua escavação ou acumulação, modificando o seu gradiente (Chistofolletti, 1980). O nível de base refere-se a uma suposta superfície responsável por cessar a erosão provocada pelo rio, que pode ser geral, temporário ou local (Chistofolletti, 1981; Barros; Magalhães Júnior, 2020). O nível de base local está relacionado a aspectos de dentro da própria bacia de drenagem, como exemplo, o rio principal de determinada bacia pode ser considerado como nível de base local para toda a paisagem a montante (Silva; Santos, 2010).

As rupturas de declive, ou *knickpoints*, sinalizam uma descontinuidade do perfil, que pode ser estacionária ou transitória. Os *knickpoints* classificados como estacionários ocorrem devido à maior resistência de determinadas rochas, provocando a erosão diferencial. Os *knickpoints* transitórios são aqueles que migram devido às alterações no sistema fluvial, como variações do nível de base,

carga sedimentar, etc. Essa migração ocorre no sentido remontante, e propaga na bacia um aumento da atividade erosiva (Martins; Caldeira; Borges, 2012). À medida que os *knickpoints* (estacionários ou transitórios) se formam, o perfil longitudinal tende a se ajustar até atingir novas condições de equilíbrio, fato que altera as características do sistema fluvial, e conseqüentemente, da paisagem em que se encontram inseridos (Rocha, 2009).

A formação e progressão remontante dos *knickpoints* resulta em maiores amplitudes altimétricas entre topos e talvegues ao longo do perfil, e conseqüentemente, maior velocidade das águas dos rios. A incisão fluvial é um processo que se refere ao entalhamento da drenagem devido ao aprofundamento dos vales pela erosão (Rezende; Castro, 2016). Os vales continuam a se aprofundar e encaixar até atingir o nível de base, a partir daí a erosão torna-se lateral, alargando os vales (Silva; Santos, 2010). Por meio da incisão fluvial, as encostas predispõem à dissecação, e como resultado, há o rebaixamento do relevo (Salgado; Cherem; Sordi, 2018).

A identificação de *knickpoints* é importante em estudos sobre a evolução da paisagem, pois pode revelar a transitoriedade de uma paisagem relictual para uma paisagem rejuvenescida. Além do mais, interferem nas taxas de remoção e sedimentação em uma bacia hidrográfica (Gailleton et al., 2019).

A incisão fluvial implica no aumento da erosão nas bacias e cada vez que o *knickpoint* migra, uma vaga erosiva remontante é emitida, incrementando a sua velocidade (Martins; Caldeira; Borges, 2012). A erosão remontante ou regressiva pode ser definida como aquela que se propaga em direção às cabeceiras de drenagem e novos pulsos podem ser notados a partir de rupturas de declive nos perfis do canal principal e de seus tributários (Gailleton et al., 2019).

A erosão remontante provoca o recuo das cabeceiras, aumentando a quantidade e o comprimento dos canais de primeira ordem, aprofunda os vales devido à dissecação dos relevos, aumenta a quantidade de sedimentos transportados das encostas para os rios e rebaixa o relevo (Sordi; Salgado; Paisani, 2015).

2.2 Áreas Úmidas do Cerrado

As áreas úmidas, (*wetlands* na literatura internacional), são ecossistemas muito comuns sobre as superfícies de aplanamento da região do Cerrado. A sua definição é bastante discutida na literatura, já que quase sempre são consideradas apenas aspectos específicos (hidrológicos, vegetacionais, pedológicos ou geomórficos), sem sua integração. Nesse sentido, Gomes (2017, p.166) elaborou uma proposta de definição das áreas úmidas, considerando todos esses aspectos de forma integrada:

Áreas Úmidas (AUs) são sistemas permanentes ou temporariamente saturados, inundados e/ou alagados, formados em relevos e substratos que permitem um maior acúmulo de águas superficiais e/ou subsuperficiais, por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados, comumente, por espécies vegetais adaptadas a essas condições e/ou por solos com características hidromórficas. Interferências antrópicas podem condicionar a sua formação, como as AUs em áreas marginais de reservatórios. Conforme a escala de análise da dinâmica hidrológica, as AUs podem incluir áreas permanentemente secas e/ou aquáticas, que são fundamentais para a sua manutenção ecológica (Gomes, 2017, p.166).

Dada a sua importância ambiental, esses ecossistemas foram reconhecidos internacionalmente e considerados como áreas de proteção, por meio de um tratado assinado em 1971, na cidade de Ramsar (Irã), também conhecido por Convenção de Ramsar. No mundo, estima-se que existam aproximadamente 7,8 milhões de km² de áreas úmidas (Krecek; Haigh, 2006). No Brasil, essas áreas correspondem a 20% do território (Gomes; Magalhães Júnior, 2020).

As áreas úmidas continentais compreendem áreas de brejos, pântanos, campos de murundus, lagoas transicionais, nascentes difusas e veredas. Cada tipo de área úmida possui sua especificidade (gênese, localização, evolução, etc.), que as diferenciam das demais (Gomes, 2017; Gomes; Magalhães Júnior, 2020). As áreas úmidas do tipo veredas são definidas como vales rasos de baixo declive, hidromórficos, cuja presença constante de água favorece ao acúmulo de matéria orgânica (Melo, 2008; Augustin; Melo; Aranha, 2009). As vertentes dos

vales com veredas são suaves, retilíneas ou fracamente convexas, com nascentes difusas e fluxo lento de água (Lima; Queiroz Neto, 1996).

Com base em sua fitofisionomia, as veredas geralmente são compostas por vegetação hidrófila, correspondente aos estratos herbáceos e arbóreo-arbustivos situados na parte central da vereda, podendo ou não, ser circundados por um solo arenoso (Guerra; Souza; Silva, 2020). O buriti (*Mauritia flexuosa*) é a principal espécie vegetal que indica a ocorrência de veredas (Gomes; Magalhães Júnior, 2020), embora não seja uma espécie exclusiva desses ambientes (Melo, 2008).

Suas águas apresentam frequentemente cores escuras decorrente da presença de ácidos húmicos e fúlvicos gerados pela decomposição da matéria orgânica, e à presença de elementos ferromagnesianos (ferro e manganês), que em contato com a água são solubilizados (Ramos et al., 2006). Esses ambientes contêm o ferro na forma reduzida, isto é, o íon férrico (Fe^{3+}) transforma-se em íon ferroso (Fe^{2+}), contribuindo para o escurecimento das águas (Resende et al., 2014).

As veredas localizam-se nas cabeceiras de drenagem das áreas aplanadas ou levemente deprimidas do Cerrado brasileiro, denominado relevo de chapadas (Bispo; Silva; Torrado, 2011; Gomes; Magalhães Júnior, 2020), cujo nível freático não esteja profundo (Brandão; Carvalho; Baruqui, 1991).

A sua ocorrência está associada à dinâmica fluvial e às condições litológicas e geomorfológicas da área (Rodrigues; Augustin, 2012). Ou seja, a presença de superfícies planas condicionando o fluxo lento das águas e as condições de permeabilidade dos solos são possivelmente os fatores condicionantes de sua ocorrência. Essas condições são também abordadas por Boaventura (1981), quando o autor cita a necessidade de existir superfícies de aplanamento, a sobreposição de camadas e o exorreísmo, para que esses ambientes ocorram.

As veredas são formadas em áreas aplanadas, ao longo da interseção de falhas e fraturas, por perdas geoquímicas, desenvolvendo-se primeiramente de forma interna, e, depois, de maneira superficial (Filizola; Boulet, 1996; Melo, 1992; 2008). Nesse sentido, pode-se dizer que sua formação está associada à

presença de uma superfície de aplanamento, à litoestrutura, e à dinâmica da água.

As superfícies de aplanamento fazem com que a água das chuvas se infiltre nas falhas e fraturas presentes nas rochas e não seja escoada, devido à baixa energia hidráulica e à baixa capacidade erosiva desses ambientes. A presença da água provoca a erosão química, primeiramente de forma interna, e depois, da camada superficial, lixiviando os elementos químicos mais solúveis e modificando as estruturas dos minerais (Ross, 1991; Filizola; Boulet, 1996). Com a formação dos solos hidromórficos orgânicos e inorgânicos, a vegetação se adapta, favorecendo espécies hidrófilas típicas desses ambientes (Queiroz, 2015).

Esses ecossistemas são de grande relevância ambiental devido às contribuições que desempenham. São áreas consideradas "ecótonos" ou de "solos hídricos" (Gomes, 2017; Gomes; Magalhães Júnior, 2020), que atuam na retenção de nutrientes, sedimentos e poluentes, controle dos ciclos biogeoquímicos, redução de inundações, regularidade das vazões, manutenção dos regimes fluviais e na qualidade das águas (Bridon et al., 2006; Haigh; Kilmartin, 2006). São também responsáveis pela formação de aquíferos suspensos, e por influenciar nas mudanças climáticas, devido essas áreas funcionarem como sumidouros de carbono e nitrogênio (Haigh; Krecek, 2006; Melo, 2008).

No estado de Minas Gerais, as veredas receberam reconhecimento pelas suas funções hidrológicas e passaram a ser consideradas como áreas de preservação permanente por meio da lei nº 9.375 de 12 de dezembro de 1986, alterada para a lei nº 9.682 de 12 de outubro de 1988. A referida lei utilizou a classificação realizada por Boaventura (1988) como referência, em que o autor considera a morfologia do relevo como principal característica, e enquadra as veredas em três classes: veredas de encosta, veredas de superfície aplainada e veredas-várzea. Os limites de proteção eram até 50 m (veredas de encosta) e 80 m (veredas de superfície aplainada e veredas-várzea) do seu entorno, além da sua área de ocorrência (Minas Gerais, 1988). Esta última teve seus limites de

proteção retrocedidos para 50 m, por meio da lei nº 20.922 de 16 de outubro de 2013.

Com relação aos tipos de solos, os Organossolos e os Gleissolos (Melânicos e Háplicos) são típicos do ambiente de veredas (Ramos et al., 2006; Melo, 2008). Os Organossolos correspondem ao 1º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SIBICs). Referem-se a solos orgânicos, saturados, ácidos, com presença de horizonte hístico. Há a acumulação de matéria orgânica, que em função das características do ambiente, demora a se decompor (EMBRAPA, 2018).

Quanto aos Gleissolos, estes são solos minerais com presença do horizonte glei, ou então, horizonte hístico, porém sem apresentar as características que o classifique como Organossolo. São solos hidromórficos, com presença de ferro na forma reduzida (Fe^{2+}), e de cores neutras (EMBRAPA, 2018).

A ocorrência de tais solos ao longo da vereda depende do comportamento do nível freático (Figura 2). Assim, no terço médio e superior em que o solo é mais seco devido à maior profundidade do nível freático, encontram-se os Gleissolos, e no terço inferior, encharcado por água decorrente do afloramento do nível freático, têm-se os Organossolos (Ramos et al., 2006; Melo, 2008).

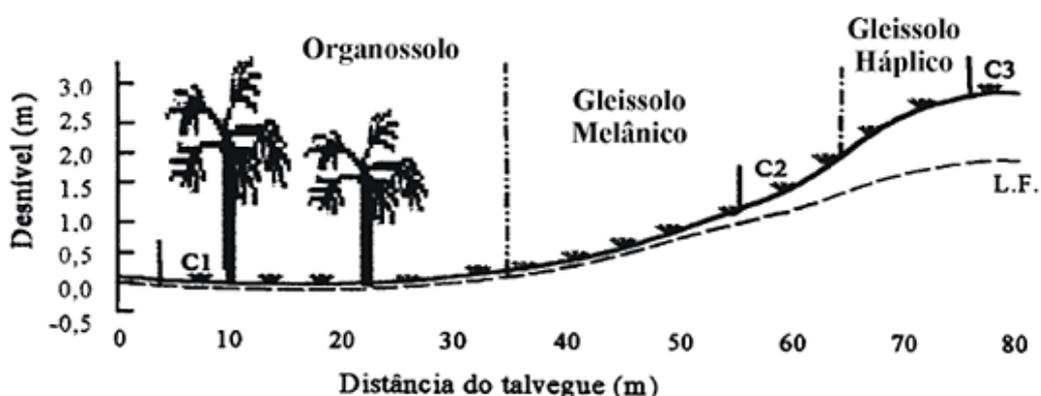


Figura 2: Relação entre topografia, solos e profundidade do nível freático em vereda de chapada (L.F: Nível freático; C1: terço inferior da vereda; C2: terço médio da vereda; C3: terço superior da vereda).

Fonte: RAMOS et al., 2006.

As veredas em geral, possuem pH ácidos, altos valores de alumínio trocável, baixa saturação por bases, baixa capacidade de troca catiônica e baixa

fertilidade (Ramos et al., 2006; Guerra; Souza; Silva, 2020). Correspondem a solos de baixa porosidade, comumente com presença de estrutura pedológica em blocos médios que se fragmentam em prismas (Bispo; Silva; Torrado, 2011).

Os ambientes de veredas são considerados transitórios (Lima; Queiroz Neto, 1996) e estão em constante processo natural de evolução, acompanhando o relevo de chapadas. Prova disso são os estudos palinológicos que indicam que essas áreas eram anteriormente ocupadas por outras formações de cerrado, que em função das condições úmidas do clima, favoreceram ao desenvolvimento da vereda (Gomes; Meyer; Pessenda, 2017; Guerra; Souza; Silva, 2020). Ao longo do tempo, as veredas tendem também a evoluir, e são substituídas pelas matas-galeria, cerradão e outros tipos de cerrado (Melo, 2008; Augustin; Melo; Aranha, 2009).

Lima e Queiroz Neto (1996) são os precursores da ideia de que as veredas representam um estágio evolutivo das paisagens das superfícies aplanadas do Planalto Central Brasileiro. Sua substituição por ambientes de melhor condição de drenagem e matas-galeria ocorre em função da incisão dos vales fluviais e da erosão remontante, que fazem com que as características de ocorrência desses ambientes sejam alteradas.

O desaparecimento das veredas decorre da incisão fluvial, que propaga no sentido remontante ao longo dos vales, até que restem apenas solos hidromórficos relictuais nas vertentes remodeladas, ou então, solos dessecados nas margens dos canais fluviais, indicadores dessa paleopaisagem. Dessa forma, a presença de solos paleo-hidromórficos ao longo das vertentes dos vales hoje encaixados é indicativa de que essas áreas úmidas, hoje comumente restritas às cabeceiras e altos cursos dos rios, prolongavam-se no passado, para a jusante (Melo, 1992; 2008; Lima; Queiroz Neto, 1996).

O aprofundamento do nível freático é um indicador da evolução desses ambientes, e pode ser notado a partir da presença de solos arenosos secos no terço superior das veredas (Melo, 2008), ou pela presença de espécies vegetais invasoras, como o babaçu (*Attalea speciosa*) e a macaúba (*Acrocomia aculeata*), pois são espécies de ambientes bem drenados (Guerra; Souza; Silva, 2020).

A existência constante de folhas secas nos buritis pode também, ser considerada indicativa do aprofundamento do nível freático, ou então, da deposição de sedimentos ou subsidência do Organossolo (Melo, 2008). Como consequência do rebaixamento do nível freático, há a interferência na decomposição da matéria orgânica, solubilização de nutrientes e alterações das características dos solos (Melo, 2008).

A latossolização dos Gleissolos é outro indicador da evolução das veredas. Nesse caso, a estrutura dos solos é modificada por processos biológicos e químicos, originando os Latossolos Acinzentados (Ferreira et al., 2010; Bispo et al., 2011). A bioturbação é um processo biológico relacionado ao revolvimento do solo pelas formigas, cupins e demais componentes da fauna do solo, que pode se intensificar à medida que a condição de drenagem do ambiente melhora (Resende et al., 2014). Assim, os solos que antes eram compactos, tornam-se agregados em estruturas granulares (Ferreira et al., 2010). Sobre o processo químico, o ferro (Fe) que se encontrava no estado reduzido (Fe^{2+}) passa a estar no estado oxidado (Fe^{3+}), formando hidróxidos e óxidos de ferro e produzindo plintitas, petroplintitas ou horizontes de cores mais amareladas ou avermelhadas (Bispo et al., 2011; Resende et al., 2014).

Conforme Brandão, Carvalho e Baruqui (1991), a evolução natural das veredas é um processo progressivo, que pode ser notado também, pela composição fitoflorística. Isso ocorre devido à vegetação apresentar uma resposta rápida às alterações da paisagem, em função de sua sensibilidade. Essa evolução engloba aproximadamente cinco fases:

- ❖ A primeira fase refere-se à vereda típica, composta por buritis jovens, vegetação predominantemente herbácea, e alguns arbustos.
- ❖ A segunda fase compreende a vereda com adensamento de buritis, arbustos e subarbustos, com aparecimento rarefeito de espécies arbóreas.
- ❖ Na terceira fase há o adensamento da cobertura vegetal, em que a vereda passa a ser caracterizada como arbustivo-arbórea.

- ❖ Na quarta fase, os estratos arbustivos, arbóreos e herbáceos estão totalmente desenvolvidos e intercalados aos buritis, sendo então denominada de vereda mista.
- ❖ A quinta e última fase é marcada pela sucessão dos buritis pelas espécies arbóreas, isto é, a substituição das veredas pelas matas-galeria.

A Figura 3 apresenta um modelo evolutivo das áreas úmidas (veredas) em formato bloco-diagrama, como uma tentativa de ilustrar esse processo. Em um primeiro momento, as veredas ocupam a maioria das cabeceiras dos córregos e rios das chapadas do Cerrado (A). Posteriormente, por meio da incisão fluvial e erosão remontante, esses ambientes começam a desaparecer devido à formação de talvegues (B). No terceiro momento, restam apenas relictos de hidromorfismo no alto da vertente, isto é, solos paleo-hidromórficos (B).

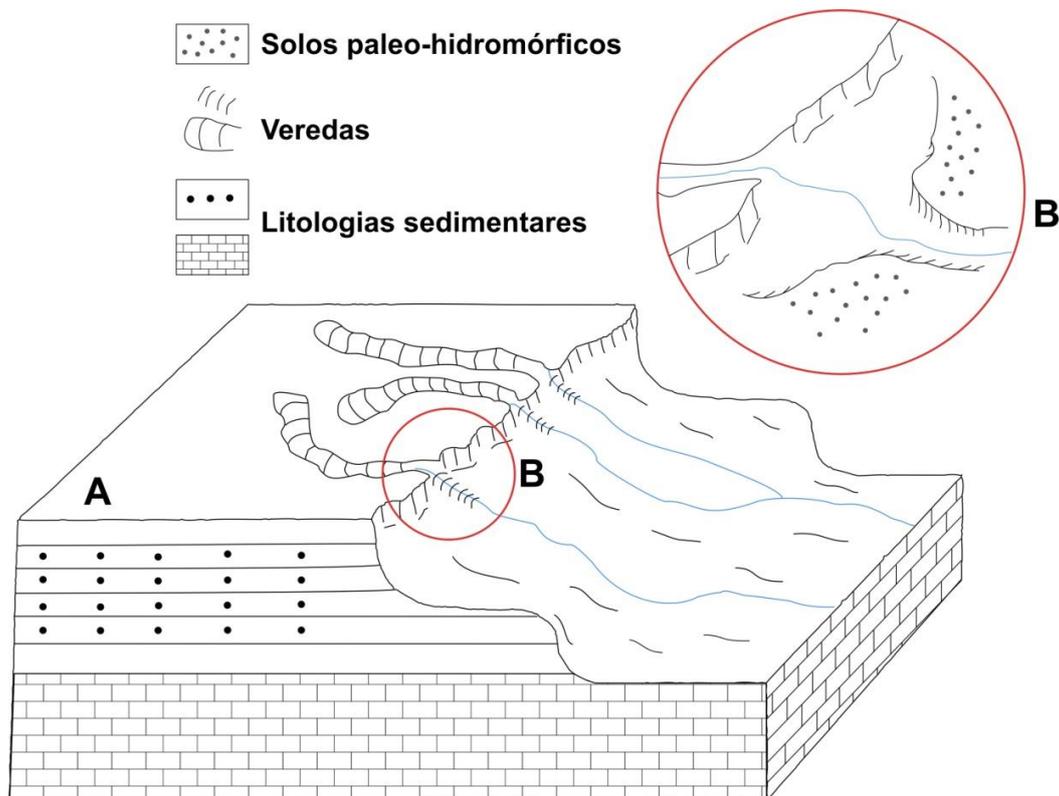


Figura 3: Modelo de evolutivo das áreas úmidas de veredas
 Fonte: Adaptado de TRESCASES, 1975 e BOAVENTURA, 1978.

O processo natural de evolução das veredas indica que as condições de ocorrência desses ambientes estão sofrendo desequilíbrio e sendo modificadas, e que, ao longo do tempo, tendem a desaparecer (Melo 1992; 2008). A partir do processo de evolução, as características das veredas (presença de hidromorfia, fluxo lento de água, baixa energia hidráulica) são alteradas, devido à formação de talwegues encaixados. Nesse caso, os processos erosivos são intensificados e o tempo de residência das águas nas bacias é reduzido, em função de maior gradiente do vale, gerado pela dissecação da paisagem (Guerra; Souza; Silva, 2020).

Além da evolução natural, as veredas são áreas suscetíveis a sofrer degradação por meio de ações antrópicas, como a implantação das pastagens, cultivos agrícolas, plantios de eucalipto, queimadas, aberturas de estradas e criação de barragens. Essas atividades fazem com que a vegetação seja suprimida e a erosão mecânica aumente, resultando na presença de sulcos nas veredas e na produção de sedimentos, assoreando as veredas (Melo, 2008; Neves, 2011).

2.3 Hidrologia de Bacias e Parâmetros Físicos e Físico-Químicos das Águas

As bacias hidrográficas são um sistema aberto, em que ocorre um balanço entre a entrada e saída de energia e matéria. São porções do espaço delimitadas por interflúvios, com seu interior drenado por um canal principal para onde as águas escoam, e os seus afluentes (Resende et al., 2014; Almeida, 2015). Nas bacias hidrográficas há a ocorrência de processos hidrológicos relacionados à circulação da água (vertical e horizontal), que fazem parte do ciclo hidrológico (Tucci, 2015).

O escoamento das águas pela rede de drenagem possui variação de seu volume no tempo e espaço, o que determina o seu regime fluvial. O regime fluvial pode ser definido como o comportamento da massa d'água de um rio ao longo do ano (Christofolletti, 1980). Após o período chuvoso, os rios podem reduzir ou permanecer com o volume de suas águas mesmo nos períodos de estiagens, nesse caso, o rio é considerado como perene. Durante as estiagens, se houver

redução de sua vazão até que o leito do rio fique seco, considera-se como intermitente. Se o canal existir somente quando ocorrem as chuvas e logo em seguida desaparece, como no caso das bacias de ordem zero, considera-se como efêmero (Magalhães Júnior; Barros; Lavarini, 2020).

O regime fluvial de um rio geralmente está associado à quantidade e distribuição das precipitações (Christofoletti, 1980) e com a presença de feições geomorfológicas que armazenam as águas das chuvas em determinado período (chuvoso), e as liberam aos rios em outros (período seco), como as veredas por exemplo (Melo, 2008; Neves, 2011).

Os canais fluviais são responsáveis pela circulação das águas em áreas continentais, pelo transporte e deposição da carga sedimentar gerada pela erosão (Christofoletti, 1980; 1981). A carga sedimentar é gerada a partir de processos químicos e físicos (intemperismo, erosão, movimentos de massa), que atuam sobre os materiais do regolito ao longo das vertentes (Figura 4). Os processos de intemperismo estão relacionados com a desagregação e com transformações mineralógicas nas rochas, produzindo material friável susceptível ao transporte.

Os processos erosivos estão relacionados à remoção e transporte de sedimentos finos (silte e argila) pelo efeito *splash* ou pelo escoamento superficial, formando a carga em suspensão presente nos rios. Em função de sua granulometria mais fina, esses sedimentos são facilmente transportados e se depositam conforme o fluxo apresentado pelos rios.

Os movimentos de massa referem-se aos movimentos de matéria causados pela força da gravidade, tais como os rastejamentos (*creep*), deslizamentos e desmoronamentos, as avalanches, a solifluxão e os fluxos de lama. A carga de sedimentos gerados por esse processo é de granulometria grosseira (diâmetro superior a 2,5 mm) como as areias e os cascalhos, que quando transportados para os rios pelo escoamento superficial, formam a carga material do leito.

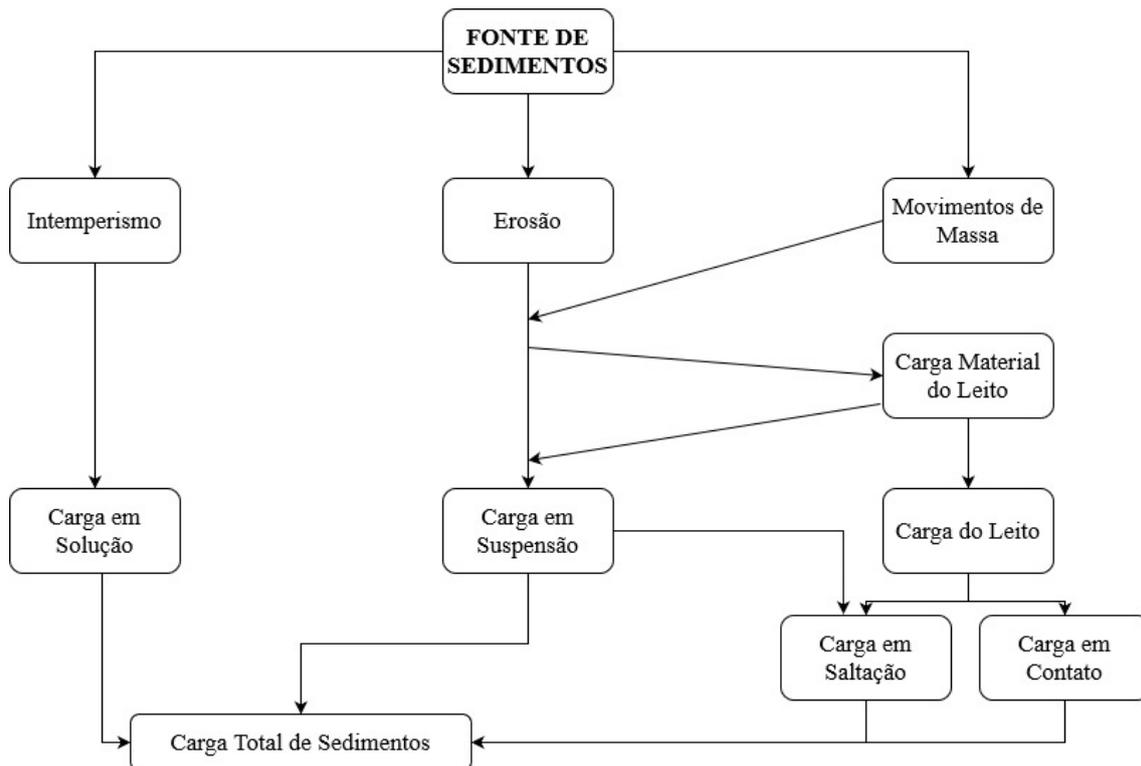


Figura 4: Processos responsáveis pela carga total de sedimentos em canais fluviais
 Fonte: Adaptado de CHRISTOFOLETTI, 1981.

A erosão, transporte e deposição de sedimentos em uma bacia recebem influência da relação espaço-temporal das precipitações, dos aspectos morfométricos, do substrato rochoso, da geometria hidráulica, dinâmica dos fluxos, entre outros (Toledo et al., 2009).

As águas pluviais atingem a vertente e escoam para os canais de modo superficial e subsuperficial, carregando detritos de diversas formas e tamanhos para o leito do rio, ou seja, são responsáveis pela ocorrência e intensidade dos processos intempéricos e erosivos das bacias hidrográficas em áreas tropicais (Karmann, 2009; Toledo et al., 2009). Essa remoção de sedimentos da vertente é dependente dos elementos do meio físico (geologia, topografia, vegetação, etc.), influenciando em sua quantidade, tipologia e granulometria.

Os aspectos morfométricos referem-se às características do relevo e da rede de drenagem de determinada bacia, que influenciam nos processos hidrológicos que ocorrem em seu interior (Macedo et al., 2020) - (Esse item será abordado no Capítulo I).

A carga sedimentar é transportada ou depositada pelos rios conforme as características apresentadas pela geometria hidráulica, como a declividade, profundidade, forma e largura do canal, velocidade das águas, vazão, quantidade e granulometria da carga sedimentar, rugosidade do leito, dentre outros (Grison; Kobiyama, 2011). Por meio da geometria hidráulica é possível perceber as alterações nas seções transversais e longitudinais dos canais, devido à ação das águas (Christofoletti, 1981).

O transporte desses sedimentos pela rede de drenagem acompanha a velocidade de suas águas, sendo depositados em trechos com baixos gradientes (Toledo et al., 2009). Geralmente, o fluxo turbulento é o responsável por manter a carga em suspensão (Christofoletti, 1980). Os detritos que compõem a carga do leito são transportados em saltação, suspensão ou em contato pelo rio de forma rápida ou lenta, fato que depende da capacidade e competência dos rios (Christofoletti, 1981).

Os processos erosivos mecânicos e geoquímicos que ocorrem nas bacias podem ser analisados a partir de coletas de amostras de água no canal principal e pela caracterização dos seus parâmetros físicos e físico-químicos (Barros; Magalhães Júnior, 2020). Os parâmetros físicos e físico-químicos afetam a pureza das águas (Pereira, 2010) e estão relacionados à presença de sólidos e gases (físicos), ou pela presença de matéria orgânica e inorgânica (químicos) (Von Sperling, 2005).

Com o propósito de diagnosticar a atividade erosiva e geoquímica na paisagem a montante, foram abordados nessa pesquisa apenas os parâmetros físicos (turbidez, temperatura, condutividade elétrica, e sólidos dissolvidos) e físico-químicos (potencial hidrogeniônico). Além dos parâmetros citados, a vazão é outro importante indicador que será usado nesse processo de diagnóstico das bacias para avaliar o regime fluvial. A título de visualização dos parâmetros abordados, a Figura 5 abrange uma síntese de suas principais características.

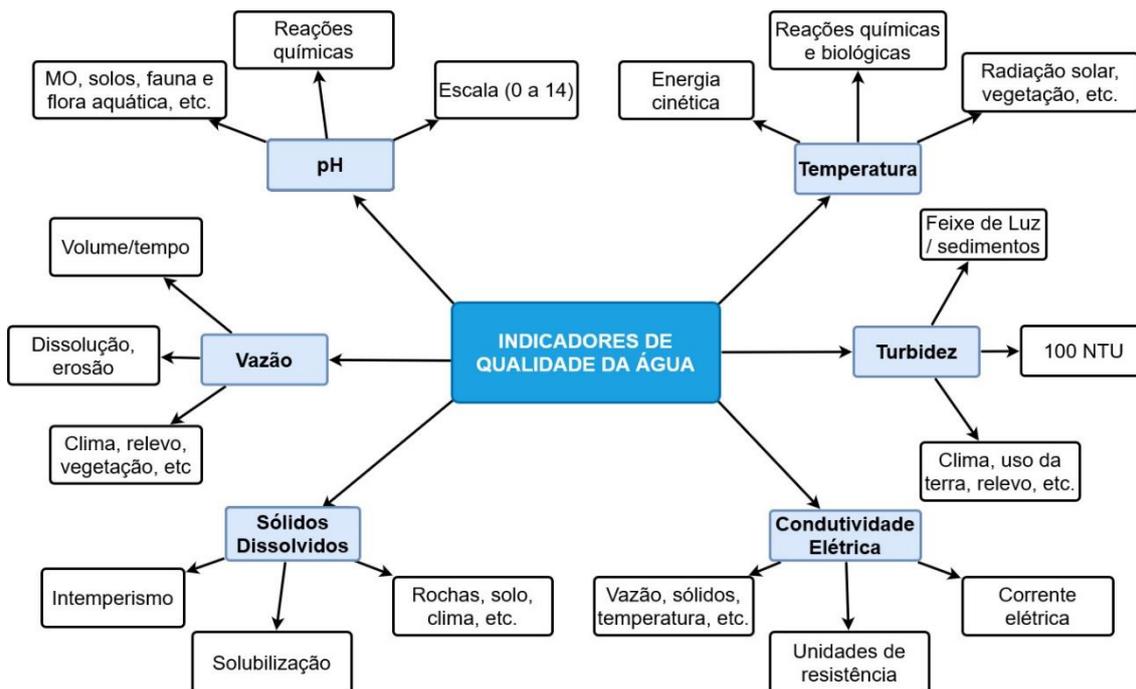


Figura 5: Parâmetros físicos e físico-químicos das águas e seus principais determinantes
Elaboração: A autora, 2023.

A turbidez é um parâmetro associado à redução do feixe de luz sobre as partículas de água, ocasionado pela presença de areia, silte, argila, bactérias, matéria orgânica e outros (Von Sperling, 2005). Sua medição é dada por meio de unidades nefelométricas de turbidez (UNT), em que a resolução nº 357/05 do CONAMA indica como padrão, o valor máximo de 100 UNT para as águas doces (Brasil, 2005). Esse parâmetro pode equivocadamente ser associado à cor das águas, haja vista que são aspectos visíveis observáveis. Nesse caso, a turbidez indica que há a presença de sólidos em suspensão inibindo a passagem da luz, enquanto a cor é resultante de sólidos dissolvidos que alteram o aspecto verdadeiro das águas (Luíz; Pinto; Scheffer, 2011).

Os valores de turbidez variam ao longo do ano entre as estações seca e chuvosa. No período chuvoso, o escoamento superficial vem das encostas para os rios, carregando sedimentos suspensos que impedem a ultrapassagem da luz, elevando os valores de turbidez das águas. No período seco, a turbidez tende a ser mais baixa devido à menor produção e transporte de sedimentos provocados pela erosão (Buzelli; Cunha-Santino, 2013; Belém, 2019). As águas

fornecidas pelas veredas durante as estiagens possuem também baixa turbidez, em função de seu armazenamento subterrâneo (Rocha et al., 2006).

O clima, por meio das precipitações que atingem a superfície gerando o escoamento superficial, a declividade do terreno, influenciando em sua velocidade, a vegetação, reduzindo o impacto das chuvas e o solo por meio do fornecimento de sólidos, pode ser considerado como os principais elementos do meio físico que exercem influência sobre a turbidez das águas dos rios (Luíz; Pinto; Scheffer, 2011). Elevados valores de turbidez provocam consequências na vida aquática, abastecimento público e demais usos (Buzelli; Cunha-Santino, 2013).

A temperatura da água revela a sua energia cinética, isto é, o calor de seu corpo, que pode alterar-se em função do seu transporte, vazão e profundidade dos cursos d'água, radiação solar incidente, substrato em que a águas percorrem, ocorrência de atividades industriais, cobertura vegetal, dentre outros (Pereira, 2010; Alvarenga et al., 2012). O aumento da sua temperatura reflete no ambiente através da ocorrência de reações biológicas e químicas, solubilidade de substâncias e na vida dos organismos aquáticos (Von Sperling, 2005).

A temperatura das águas varia conforme a profundidade, em que aquelas mais superficiais são quentes e as mais profundas são frias, essa diferenciação ocorre por causa da incidência da luz solar que atinge os cursos d'água. Essa estratificação é mais significativa ao longo do dia, pois embora as águas sejam corpos que absorvem o calor, no período noturno a temperatura tende a esfriar e se equalizar. Nos períodos chuvosos, as águas apresentam valores em °C mais altos que em períodos secos, devido ao escoamento superficial e ao aumento das vazões (Angelocci; Villa Nova, 1995; Alvarenga et al., 2012).

Os solos e os substratos rochosos também armazenam a radiação solar e quando as águas os percorrem, absorvem parte do seu calor, aumentando sua temperatura. A presença de vegetação influencia na exposição dos corpos d'água, solos e rochas ao sol, funcionando como uma fonte interceptora, reduzindo as suas temperaturas (Angelocci; Villa Nova, 1995). As águas dos rios podem também, variar sua temperatura conforme a topografia do relevo, pois o

aumento de seu gradiente implica em maior velocidade das águas, o que reduz as suas temperaturas (Alvarenga et al., 2012).

A condutividade elétrica (CE) refere-se ao potencial de condução da corrente elétrica pela água que é influenciada pela presença de sais, o tipo de uso do solo e a sazonalidade climática. A medição desse parâmetro é dada por meio de unidades de resistência ou por unidades de comprimento (Pereira, 2010). A condutividade elétrica possui estreita relação com outros parâmetros de qualidade da água (temperatura, vazão e sólidos dissolvidos). A maior quantidade de sólidos nas águas, as altas temperaturas e as maiores vazões fazem com que a condutividade elétrica apresente tendência de ser mais elevada no período chuvoso do que no período seco, devido ao escoamento superficial e à presença de material orgânico proveniente de áreas úmidas (Alvarenga et al., 2012; Belém, 2019). As bacias que possuem maior área coberta por vegetação natural conservada, mesmo no período chuvoso podem apresentar CE relativamente baixa, em função de menor potencial de ocorrências erosivas (Araújo et al., 2018).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) referem-se à quantificação de elementos químicos disponíveis na forma dissolvida, que foram gerados através de perdas geoquímicas a partir do intemperismo da rocha, em que a resolução 357/05 do CONAMA determina para as águas doces, o valor máximo padrão de 500 mg/L (Luíz; Pinto; Scheffer, 2011; Belém, 2019).

O grau de resistência das rochas aos processos intempéricos reflete na produção de sólidos. A presença de sedimentos dissolvidos nas águas indica que as rochas situadas a montante estão sofrendo intemperismo químico. Dependendo das condições do ambiente, uma rocha considerada resistente pode resistir às reações químicas e ser vulnerável às ações mecânicas (Barros; Magalhães Júnior, 2020).

Durante as estiagens, ambientes de hidromorfismo como as veredas fornecem valores mais elevados de sólidos dissolvidos. Isso ocorre em função do contato da água estagnada com a estrutura dos minerais, provocando a lixiviação dos elementos químicos (Magalhães Júnior et al., 2018).

O potencial hidrogeniônico (pH) está relacionado à quantificação de hidrogênio presente na água, medido por meio de uma escala que varia entre 0 a 14. Conforme a variação de seu pH as águas podem ser: ácidas (pH entre 0 e 6), neutras (pH entre 6 e 9) ou alcalinas (pH entre 9 a 14) (Von Sperling, 2005; Alvarenga et al., 2012). O pH das águas doces continentais geralmente costuma apresentar valores neutros, ou seja, entre 6 a 9 (Brasil, 2005).

O pH das águas de determinado rio depende do tipo de solo, pois a partir do contato da água com a estrutura dos minerais, ocorrem reações químicas (acidólise, hidrólise) que liberam os elementos mais solúveis, sendo removidos do perfil de solo e fornecidos aos cursos d'água (Toledo et al., 2009). O tipo fitofisionômico influencia no pH a partir do material orgânico produzido. As veredas, por exemplo, tendem a apresentar o pH mais ácido em função da geração de ácidos húmicos e fúlvicos devido à decomposição da matéria orgânica acumulada nesses ambientes (Ramos et al., 2006). Essa decomposição é favorecida pelas altas temperaturas atingidas durante o período seco (Pereira, 2010). Além disso, regiões de solos muito antigos e lixiviados tendem a apresentar águas de pH mais ácido do que regiões de solos jovens sob erosão mais intensa, uma vez que é maior a disponibilidade de minerais pouco alterados e de cátions básicos a serem lixiviados rumo aos canais fluviais (Sisinni; Moreira, 1996; Borges; Galbiatti; Ferraud, 2003).

As rochas, por meio de sua dissolução, são responsáveis pelo fornecimento de íons às águas, contribuindo no aumento de sua acidez (Belém, 2019). A variabilidade climática, por sua vez, pode ser considerada como o agente responsável pela ocorrência e intensidade dessas perdas geoquímicas e no processo de decomposição orgânica (Toledo et al., 2009). Autores como Almeida e Schwarzbald (2003) ressaltam a complexidade em determinar o principal elemento que está influenciando o pH de um determinado curso d'água, haja vista que vários aspectos do ambiente podem influenciá-lo.

A vazão indica o volume d'água em determinado segmento da rede de drenagem em um espaço de tempo, seu valor é expresso em litros por segundo (Ls^{-1}) ou em metros cúbicos por segundo (m^3/s) (Pereira, 2010). O aumento da vazão contribui no processo de dissolução de partículas em cursos d'água,

entretanto, se a vazão for muito elevada, a carga do leito pode ser erodida, escavando o canal e aumentando a carga de sedimentos transportados (Tucci; Braga, 2015). O clima, o relevo, o uso e ocupação do solo influenciam na vazão dos rios. Os longos períodos de estiagens (entre 4 a 6 meses secos) em áreas do Cerrado (Nimer, 1989) e o manejo do solo para práticas agrícolas de maneira inadequada, faz com a vazão dos rios apresente um desequilíbrio e o leito do rio fique seco em determinadas épocas do ano (Neves, 2011).

A vazão dos rios depende da presença de sólidos (suspensos ou dissolvidos), pois quanto menor a quantidade de sedimentos presentes nas águas, maior será a energia da lâmina d'água, aumentando a velocidade do escoamento em função da unidade de tempo (Barros; Magalhães Júnior, 2020). As veredas, por sua capacidade de armazenamento das águas, retardam a vazão no período chuvoso e liberam de maneira gradual durante as estiagens, fazendo com que os rios mantenham sua vazão, ainda que mínima, porém constante durante todo o ano (Neves, 2011).

Aspectos morfométricos como a forma das bacias (alongada ou circular) interferem nas vazões, podendo provocar picos nos períodos chuvosos. Uma bacia com formato alongado indica que as águas demoram mais tempo para ser escoadas, logo a vazão tende a ser equilibrada. Caso as bacias possuam característica circular, o tempo gasto pelo escoamento superficial será menor, aumentando rapidamente o volume das águas dos rios em pouco espaço de tempo, ou seja, ocorrem os picos de vazão (Goerl; Kobiyama; Santos, 2012) – (Figura 6).

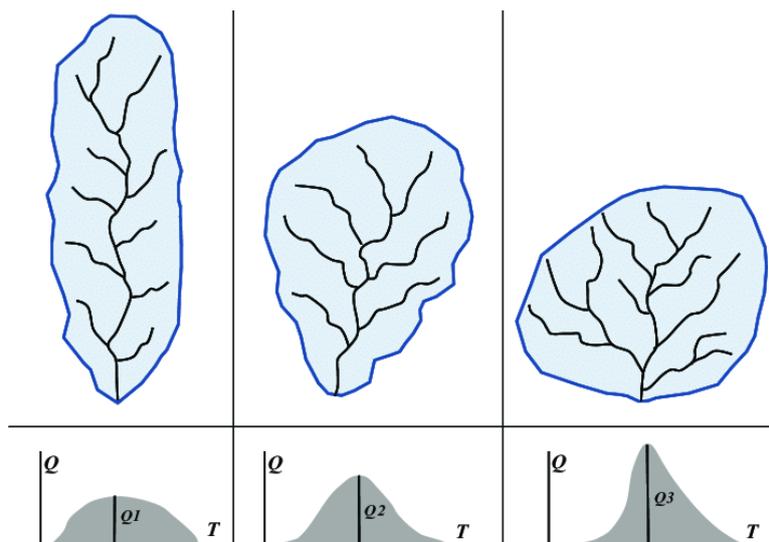


Figura 6: Influência da forma das bacias hidrográficas nas vazões dos rios
 Fonte: GOERL, KOBIYAMA e SANTOS, 2012.

Além da forma, a bacia pode apresentar baixa densidade de drenagem, que são indicativos de solos com maior capacidade de infiltração, reduzindo o volume do escoamento superficial, e conseqüentemente, a produção e o transporte de sedimentos (Menezes et al., 2014; Lima; Cunha; Perez Filho, 2016). A declividade implica na energia fornecida à massa d'água por causa da gravidade, aumentando sua velocidade e diminuindo o tempo a ser percorrido (Luíz; Pinto; Scheffer, 2011). As diferentes cotas altimétricas repercutem na evapotranspiração, devido às variações de temperaturas, fato que interfere nas precipitações, no escoamento e nas vazões (Menezes et al., 2014).

A medição de todos esses parâmetros no canal principal ao longo das estações revela o comportamento das bacias, refletindo a interação dos componentes do sistema. Durante o período chuvoso, os parâmetros tendem a possuir valores diferentes daqueles apresentados na estação seca, devido à intensidade das precipitações que erodem o solo das vertentes para os canais fluviais.

3. METODOLOGIA GERAL

Nessa seção serão apresentados aspectos gerais da localização da área de estudos, das características do seu meio físico e dos procedimentos operacionais empregados na pesquisa.

3.1 Localização e Características Gerais

Considerando o objetivo do trabalho, foi feita a escolha de duas bacias hidrográficas do Cerrado que apresentassem similaridade quanto aos aspectos do meio físico, mas diferença significativa quanto à superfície ocupada pelas áreas úmidas. Foram escolhidas as bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), situadas no norte de Minas Gerais, entre os paralelos 15°3'50" e 15°21'30" de latitude sul e entre os meridianos 44°35'0" e 44°51'40" de longitude oeste (Figura 7).

Esses cursos d'água são afluentes do rio Pandeiros, pertencente à região do médio São Francisco, e possuem extensões territoriais de 712,17 km² e 483,17 km², respectivamente. Ambas apresentam, em sua maior parte, cobertura vegetal ainda natural e litologias aproximadamente semelhantes.

LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS - CÓRREGO CATOLÉ E RIACHO BORRACHUDO

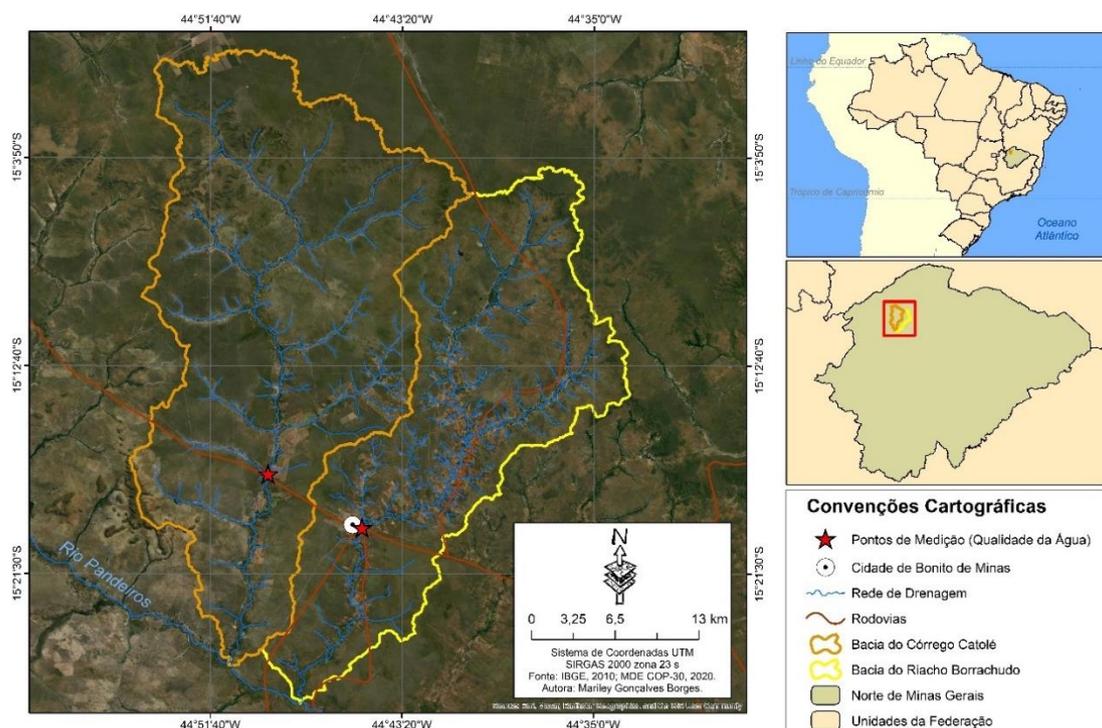


Figura 7: Localização da Área de Estudos

Fonte: IBGE, 2010; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Com aproximadamente 218,5 km de distância de Montes Claros, principal cidade do norte de Minas Gerais e 639,4 km da capital Belo Horizonte, o acesso às bacias estudadas apresenta pavimentação até a cidade de Bonito de Minas (via BR-135). O acesso à BHCC, que fica a oeste de Bonito de Minas, é por meio de estrada não-pavimentada.

3.1.1 Elementos do Meio Físico e do Uso e Cobertura do Solo

As unidades do relevo identificadas e mapeadas na BHCC e BHRB correspondem às chapadas de cimeira, planalto de nível intermediário, planalto dissecado, escarpas e vales fluviais rasos. As chapadas de cimeira correspondem a áreas aplanadas pelo ciclo Sul-Americano (King, 1956), denominada Superfície Sul-Americana (Valadão, 2009). Com distribuição espacial na forma de remanescentes na área de estudo, a sua localização ocorre na parte alta das bacias e no platô a sudoeste do córrego Catolé, compreendendo uma área aproximada de 62,17 km² na BHCC e 13,55 km² na

BHRB. Nas suas bordas, há a presença de material ferruginoso enrijecido (laterito), que sustenta o aplanamento.

As demais unidades do relevo mapeadas (planalto de nível intermediário, vales fluviais rasos, planalto dissecado e escarpas) integram a Superfície Sul-Americana I (Valadão, 2009). Essas áreas correspondem a relevos preservados e dissecados pelo ciclo Velhas de King (1956). O relevo com maior dissecação está situado na escarpa do aplanamento Sul-Americano e nas proximidades dos canais fluviais do médio e do baixo cursos da BHCC (5%) e da BHRB (15%). O aspecto mais conservado da Superfície Sul-Americana I é dominante ao longo das bacias de estudo, em especial, no Catolé (86%) – (Figura 8). Com base em Almeida (2015) e Valadão (2009), considerou-se que na área de estudo não existem áreas associadas à Superfície Sul-Americana II, provenientes do ciclo Paraguaçu de King (1956).

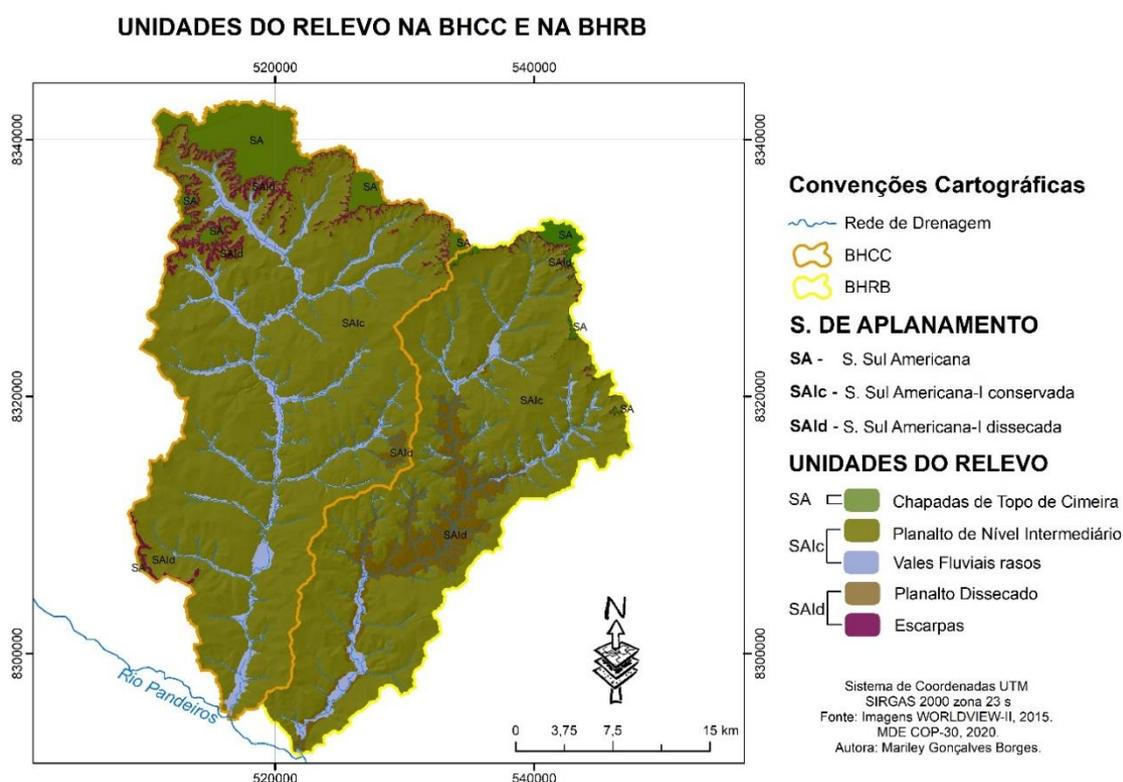


Figura 8: Unidades do Relevo na BHCC e na BHRB
Fonte: MDE COP-30, 2020; Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2022.

A hipsometria da área é marcada por cotas altimétricas entre 535-830 m (BHCC) e 522-836 m (BHRB), demonstrando a similaridade entre as duas bacias. As áreas mais elevadas do relevo (acima de 770 m) localizam-se no

extremo norte das bacias, em áreas da Superfície Sul-Americana. As áreas com características conservadas da Superfície Sul-Americana I possuem altitudes entre 640 e 760 m e a porção dissecada encontra-se em altitudes inferiores a 640 m.

A presença de um pequeno platô no baixo curso da BHCC com cotas altimétricas próximas àquelas apresentadas pelas superfícies aplanadas à montante sinaliza que toda a extensão da bacia já esteve em altitudes mais elevadas, e atualmente apresenta níveis mais baixos em decorrência da atividade erosiva. Nesse caso, o platô é uma área residual, que tem resistido ao processo de erosão e é testemunho da existência, no passado, de níveis topográficos mais elevados.

A declividade das bacias é consideravelmente baixa, com relevos planos (0 - 3%) e suavemente ondulados (3 - 8%) em sua maior parte - 91% na BHCC e 89% na BHRB. A declividade mais acentuada refere-se às áreas dissecadas do relevo, compreendidas pelas encostas do aplanamento Sul-Americano e pelos relevos ondulados situados no médio curso da BHRB (Figura 9).

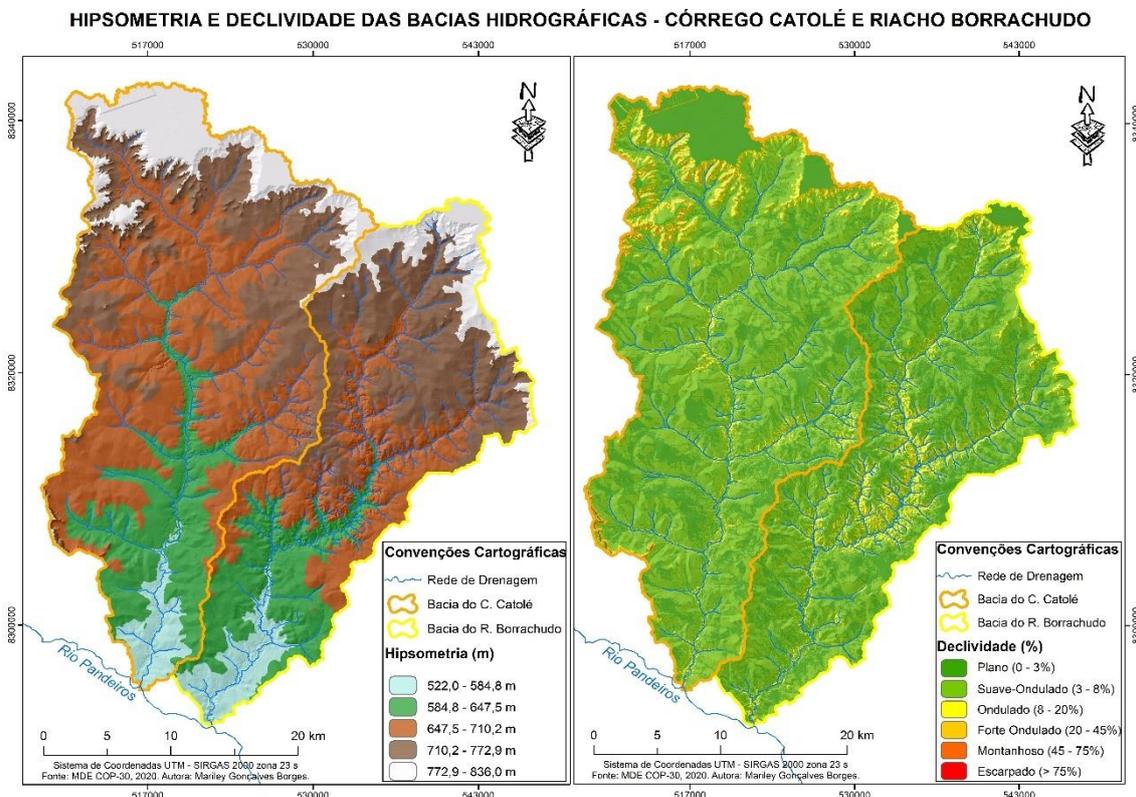


Figura 9: Hipsometria e declividade das bacias - córrego Catolé e riacho Borrachudo
 Fonte: MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

A geologia é representada por coberturas fanerozoicas e pré-cambrianas da bacia do São Francisco. Os arenitos do grupo Urucuia predominam na área de estudo - 84% na BHCC e 80% na BHRB, compreendendo as Formações Posse e Serra das Araras. A Formação Posse corresponde a arenitos esbranquiçados, podendo ser argilosos ou não, elaborados a partir da ação eólica ou fluvial, e a Formação Serra das Araras, compreende arenitos e argilitos avermelhados, que podem apresentar aspectos consistentes caso sejam consolidados pela sílica ou por óxidos de ferro (Campos; Dardenne, 1997). Na área de estudo, a Formação Serra das Araras foi depositada sobre a Formação Posse, na porção sudoeste da BHCC.

As coberturas elúvio-coluvionares correspondem às areias e argilas que cobrem o topo das chapadas. Os elúvios são materiais autóctones, formados a partir do intemperismo do substrato rochoso, nesse caso do grupo Urucuia. E os colúvios são materiais alóctones, provenientes de áreas mais elevadas do relevo (Campos; Dardenne, 1997; Iglesias; Uhlein, 2009). Próximo à parte de jusante da BHCC há a presença de uma cobertura aluvial relacionada ao transporte de sedimentos inconsolidados pela rede fluvial, e que foram depositados em baixas altitudes.

Na porção sul da BHRB há a presença de uma faixa estreita que se refere ao grupo Bambuí, composto por afloramentos de calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas. Essas rochas carbonáticas sobrepõem o embasamento, que aparentemente sofreu subsidência em função da presença de falhas normais de direções E-W e NW-SE. Essas rochas foram formadas em ambientes rasos, resultante da transgressão marinha (Iglesias; Uhlein, 2009; Rezende; Chaves; Oliveira, 2017).

Na parte central de ambas as bacias há a exposição do embasamento do Cráton São Francisco, denominado de Complexo Januária, composto por rochas do tipo gnaisses e granitoides associados, de aproximadamente 1.970 Ma (Iglesias; Uhlein, 2009). Nessa porção das bacias, autores como Rezende, Chaves e Oliveira (2017) consideram a existência de um arco magmático paleoproterozoico que se instalou e evoluiu entre o Riaciano-Orosiriano. Em áreas do médio curso da BHRB, as rochas apresentam xistosidade. Assim como

a existência de falhas ou fraturas, associadas a movimentos tectônicos – Figura 10.

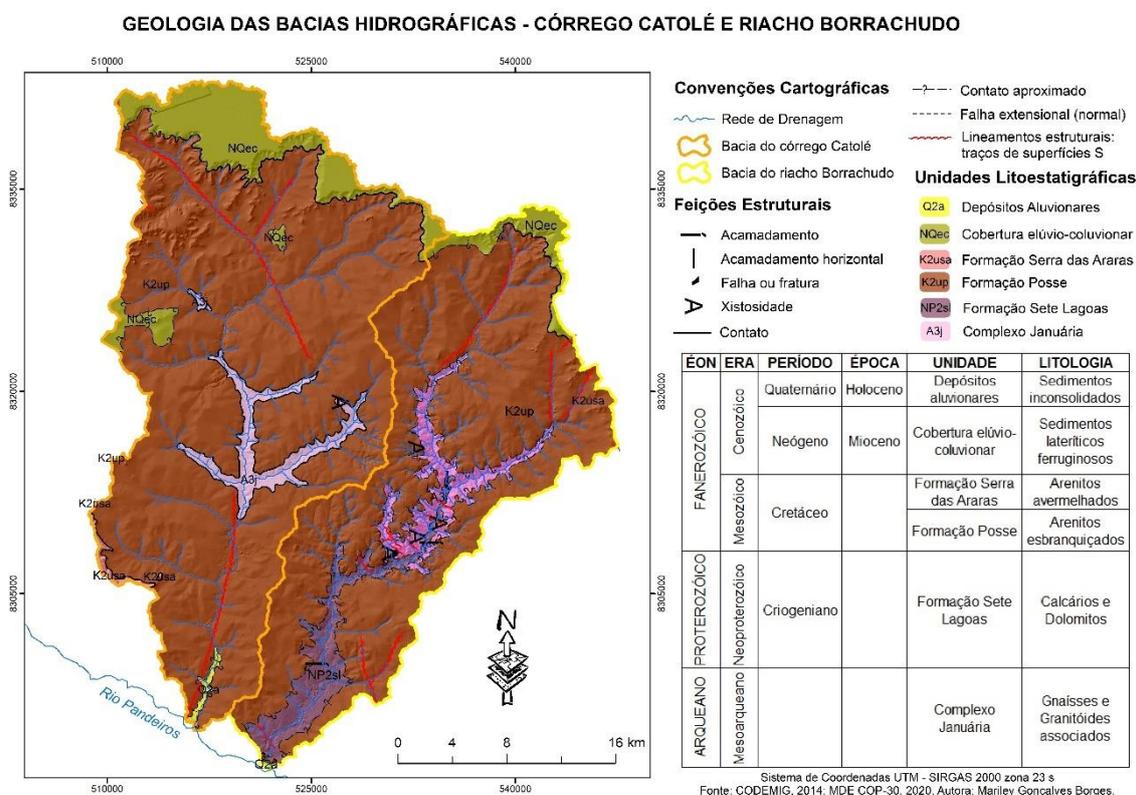


Figura 10: Geologia das bacias hidrográficas - córrego Catolé e riacho Borrachudo
Fonte: CODEMIG, 2014; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Com base na extração automática e manual dos lineamentos estruturais da área de estudos, foram identificadas cerca de 169 feições lineares positivas e 25 feições lineares negativas na BHCC, e, aproximadamente, 36 feições lineares positivas e 98 feições lineares negativas na BHRB. O maior número de lineamentos positivos ocorre na alta bacia, principalmente da BHCC, associado às áreas relictuais da S. Sul-Americana. Quanto aos lineamentos negativos, estes encontram-se presentes em maior quantidade na média bacia do Borrachudo, em trechos mais ou menos retilíneos da rede drenagem.

Os lineamentos da BHCC possuem direções preferenciais de NE-SW e E-W, enquanto na BHRB são de direções N-S, E-W e NW-SE. Os lineamentos dispostos na direção E-W provavelmente possuem relação com a ocorrência de falhas neoproterozoicas, ou então, com falhas mais antigas, que foram reativadas devido à ocorrência de eventos associados à abertura do Atlântico

Sul (Campos; Dardenne,1997; Iglesias; Uhlein, 2009). Essas falhas estão associadas a estruturas do tipo *horst* e *graben* e podem conter diques compostos por rochas básicas (Rezende, Chaves, Oliveira, 2018).

Os lineamentos NW-SE parecem estar associados com diques máficos que ocorrem nestas direções, conforme demonstram as imagens obtidas por meio da Amplitude do Sinal Analítico (ASA), geradas através do levantamento aerogeofísico realizado pela CODEMIG. Os lineamentos com direção N-S possivelmente estão relacionados com o truncamento das estruturas associado à possível ocorrência de uma falha nessa mesma direção, cuja orientação é paralela ao rio São Francisco (Rezende; Chaves; Oliveira, 2017).

Com relação às feições lineares de direção preferencial NE-SW, não foram encontradas na literatura eventuais falhas e/ou fraturas que as justifiquem. Esses lineamentos são feições consideradas positivas que ocorrem, em sua maioria, na bacia do alto Catolé (Figura 11).

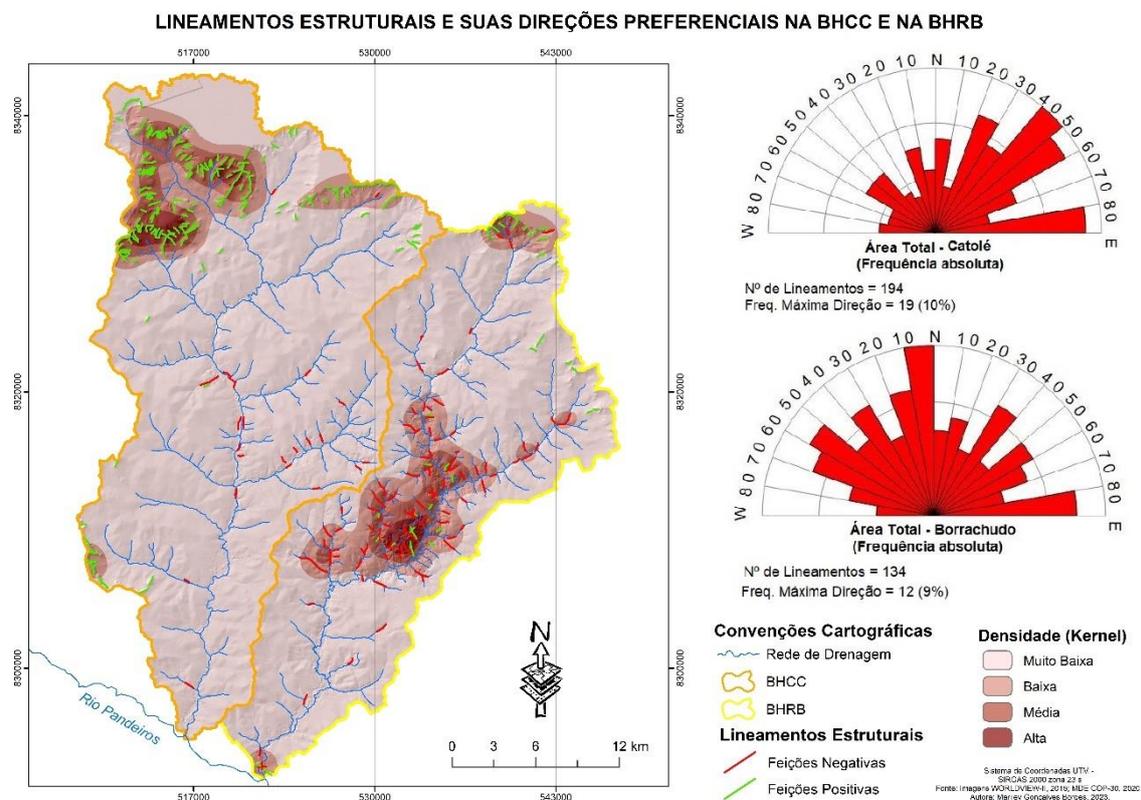


Figura 11: Lineamentos Estruturais e suas Direções Preferenciais na BHCC e na BHRB
 Fonte: MDE COP-30, 2020; Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2022.

Conforme o diagrama de rosetas da BHCC e da BHRB, a rede de drenagem possui canais orientados em diferentes direções, com direções preferencias de E-W (BHCC) e de NW-SE (BHRB). Embora ambas as bacias apresentem alguns canais com trechos que se sobrepõem aos lineamentos morfoestruturais negativos, em geral a rede de drenagem da BHCC e da BHRB não possuem controle litológico evidente – (Figura 12). O padrão de drenagem predominante nas duas bacias é o dendrítico. Esse padrão espacial é reflexo da resistência homogênea das rochas e caracteriza-se por apresentar canais fluviais dispostos em diferentes direções (Christofolletti, 1980).

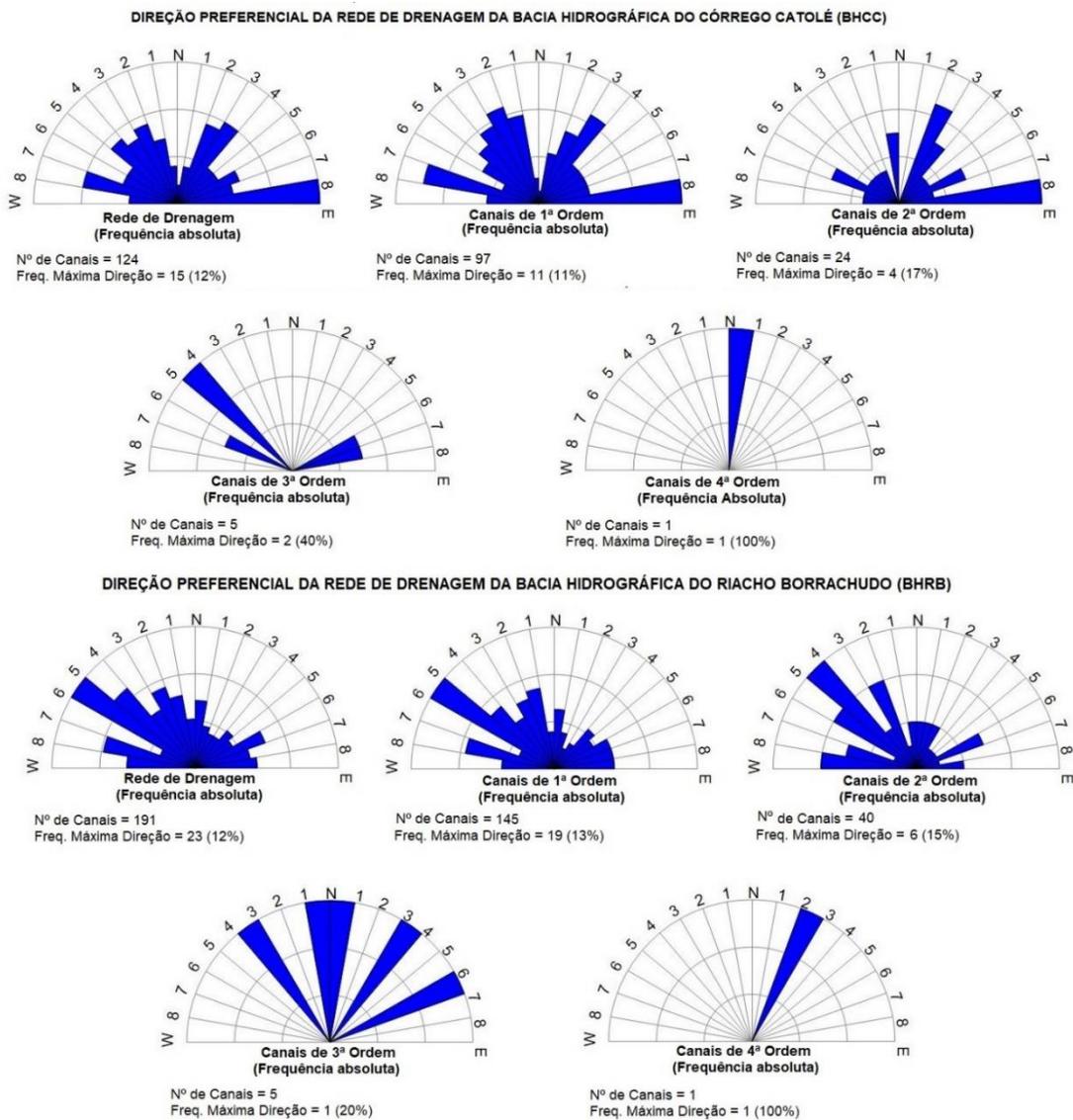


Figura 12: Diagrama de rosetas da direção preferencial da rede de drenagem - BHCC e BHRB
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2021.

A BHCC e a BHRB apresentam característica simétrica, conforme o fator de simetria topográfica transversal (FSTT) de Cox (1994), cujos valores médios são 0,26 e 0,27, respectivamente. Os maiores valores apresentados pelo FSTT ocorrem na alta bacia do Catolé, com valor máximo de 0,76 próximo da nascente. A presença de materiais resistentes (lateritos), responsáveis por manter ainda conservados os remanescentes da Superfície Sul-Americana na alta bacia do Catolé, faz com o canal apresente seu curso assimétrico para a esquerda. Quanto a BHRB, o maior FSTT é de 0,50 e ocorre no seu baixo curso.

Com base nos dados de solos do RADAMBRASIL reapresentados pelo IBGE (2011), a área de estudo possui predomínio de solos do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico (65% - BHCC, 46% - BHRB), consistindo em áreas aplanadas conservadas e dissecadas do relevo, existentes ao longo das bacias, com exceção apenas do médio curso da BHRB.

Os Latossolos correspondem à segunda classe de solo predominante nestas bacias (15% - BHCC, 39% - BHRB), com localização geográfica em diferentes níveis topográficos, desde áreas planas conservadas e elevadas até os fundos de vale, próximas ao exutório. O Latossolo Amarelo Distrófico é o mais representativo na BHRB (29%), enquanto o Latossolo Vermelho Distrófico (9%) e o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (1%), embora presentes, ocupem menores áreas.

Na BHCC, o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (8%) possui a maior área dentre os Latossolos, devido estar associado à ocorrência do aplanamento Sul-Americano, que nesta bacia é mais significativa do que na BHRB. O Latossolo Amarelo Distrófico (5%) e o Latossolo Vermelho Distrófico (1%) ocupam menores áreas e encontram-se situados em posições mais baixas do relevo.

Em ambas as bacias, o Cambissolo Háplico Alumínico (11% - BHCC, 3% - BHRB) encontra-se disposto em áreas de encostas, situadas entre a Superfície Sul-Americana e a Superfície Sul-Americana I. Quanto ao Cambissolo Háplico Ta Eutrófico, este é encontrado em áreas dissecadas apenas da bacia do médio Borrachudo (13%). Por fim, solos do tipo Gleissolo Melânico Alumínico ocorrem

somente na BHCC (8%), no médio e no baixo curso, próximo ao canal principal (Figura 13).

Ressalta-se que os dados de solos apresentados possuem generalizações cartográficas em função da escala de mapeamento efetuado pela Embrapa (2011). Prova disso são as áreas úmidas de pequena abrangência espacial, que geralmente são situadas nas cabeceiras de drenagem e que possuem o Gleissolo e o Organossolo como típicos desses ambientes, porém, essas áreas foram consideradas pela Embrapa como Neossolo Quartzarênico ou como Latossolo Amarelo nas bacias abordadas neste estudo.

PEDOLOGIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS - CÓRREGO CATOLÉ E RIACHO BORRACHUDO

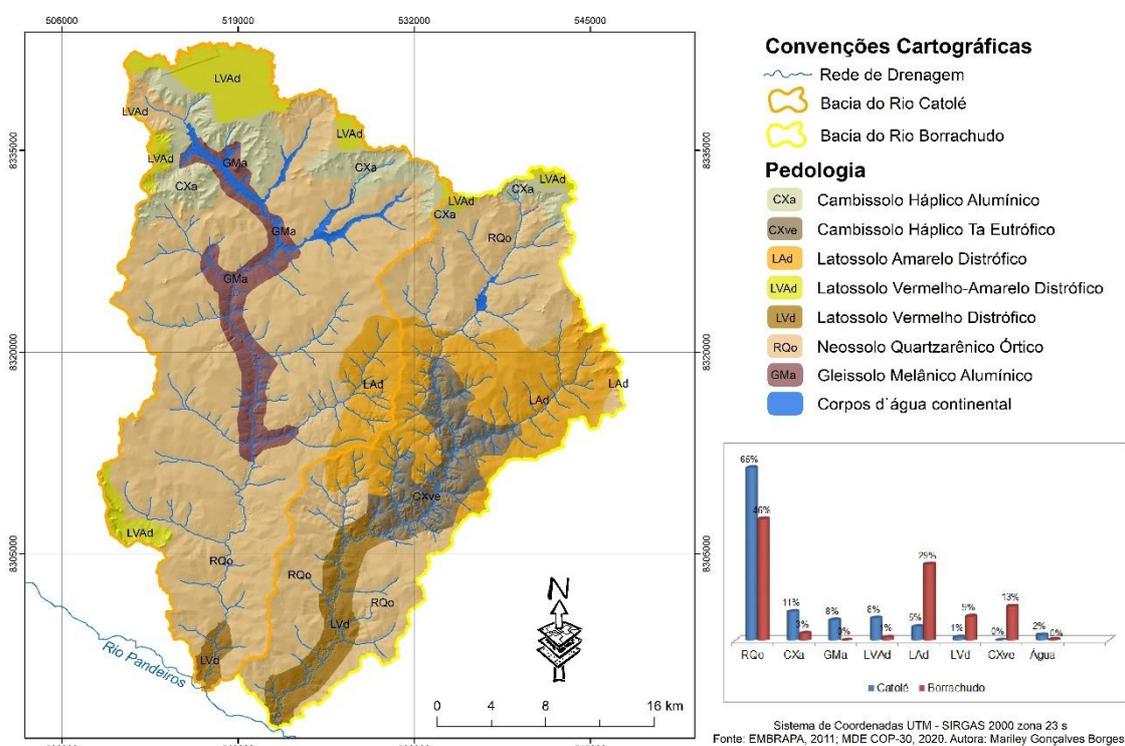


Figura 13: Pedologia das bacias hidrográficas - córrego Catolé e riacho Borrachudo
 Fonte: EMBRAPA, 2011; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Inseridas em área de domínio do bioma Cerrado, a BHCC e a BHRB apresentam em sua maioria, cobertura vegetal ainda em estado natural (91% e 86,5%, respectivamente). Foram identificadas, por meio da análise espectral de imagens, 4 fitofisionomias do Cerrado principais, correspondentes às formações savânica e florestal (cerrado *stricto sensu*, áreas úmidas, matas-galeria e mata

seca), além de 4 tipos de usos antrópicos (pastagem, agricultura, área urbanizada e solo exposto).

O cerrado *stricto sensu* é a fitofisionomia predominante (84% - BHCC, 81% - BHRB), ocupando áreas relativamente planas ao longo de toda a extensão territorial das bacias. Com 40,2 km² na BHCC e 33,6 km² na BHRB, o solo exposto é a classe que possui a segunda maior área, com distribuição espacial bastante fragmentada. Nesta classe estão incluídas estradas não-pavimentadas e porções não-vegetadas do espaço que não apresentaram características de áreas destinadas à pastagem e à agricultura, ou então, áreas consideradas como veredas. Na BHCC, a ocorrência de áreas de solo exposto relativamente próximas na porção sul e centro/norte da bacia ocorrem em função da presença de um cerrado *stricto sensu* ralo ou em estado de regeneração.

As áreas úmidas e as matas-galeria são fitofisionomias que acompanham a rede de drenagem, desde áreas suavizadas até encaixadas da paisagem. Embora as bacias possuam majoritariamente cobertura vegetal natural, suas matas-galeria representam cerca de 1% das bacias. Isso ocorre por causa do número expressivo de áreas úmidas, e também, pela utilização das proximidades dos cursos d'água para atividades agropecuárias.

As áreas de florestas estacionais decíduais, conhecidas conforme Ribeiro e Walter (2008) como mata seca, encontram-se presentes somente na BHRB, em relevos dissecados do médio curso, apresentando uma área de 9,29 km², aproximadamente.

A pastagem e a agricultura localizam-se nas proximidades dos canais fluviais, devido às habitações existentes nessas áreas necessitarem de acesso à água para consumo e desenvolvimento das culturas. Essas classes apresentaram características geométricas e aspecto bastante fragmentado em função de serem cultivadas por pequenos produtores rurais da região. Na área de estudo, as pastagens possuem áreas mais significativas (22,3 km² - BHCC, 29,7 km² - BHRB) do que os cultivos agrícolas (+/-1 km² em ambas). Quanto à área urbanizada (0,99 km²), esta se refere à cidade de Bonito de Minas/MG situada na BHRB, em sua margem esquerda (Figura 14).

USO E COBERTURA DA TERRA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS - CORRÉGO CATOLÉ E RIACHO BORRACHUDO

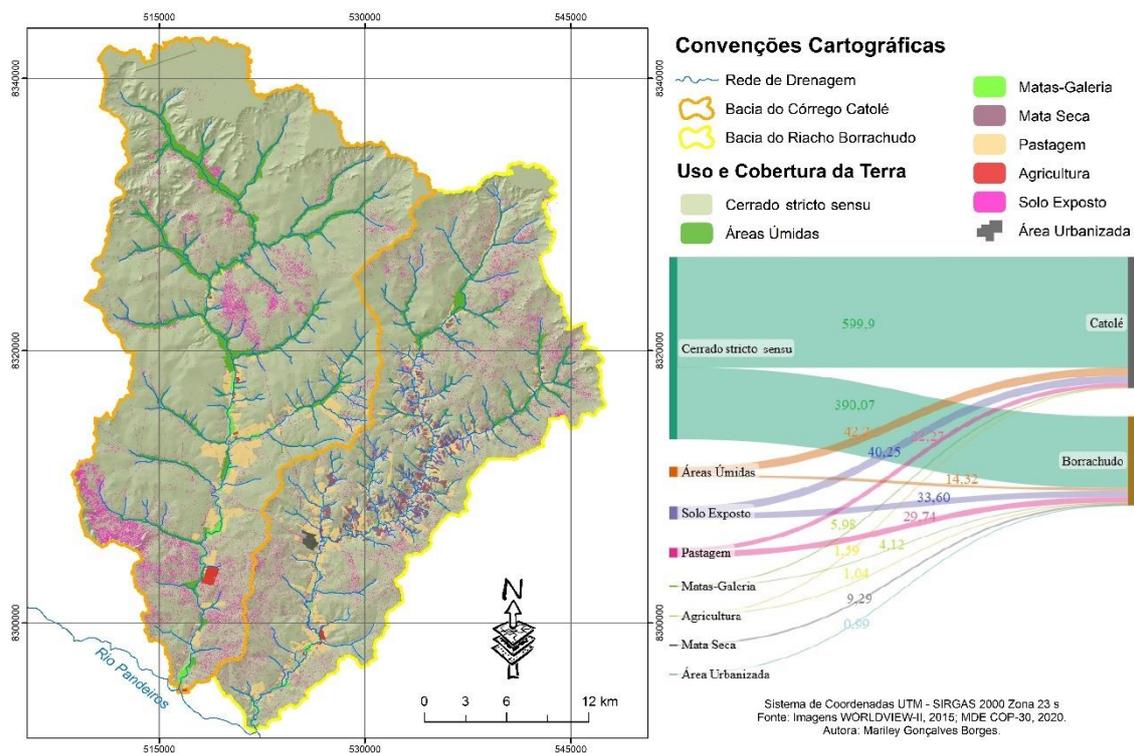


Figura 14: Uso e cobertura da terra na BHCC e BHRB
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Conforme a série histórica (1985-2020) de uso e cobertura da terra mapeada pelo MapBiomas – Coleção 6, as duas bacias possuem vegetação, em sua maioria, ainda em estado natural (acima de 90%) – Gráfico 1. Entre os anos de 1985 e 1995 a vegetação natural tem um leve incremento de área (8,9 km² - BHCC, 6,3 km² - BHRB), o que pode estar associado com a criação da APA do Rio Pandeiros, em 1995. No entanto, nos anos seguintes, a área antropizada aumenta novamente, atingindo o pico na BHCC em 2015 (21,7 km²) e na BHRB em 2020 (34,9 km²). A pastagem é o principal tipo de uso responsável pela retomada da área antropizada em ambas as bacias.

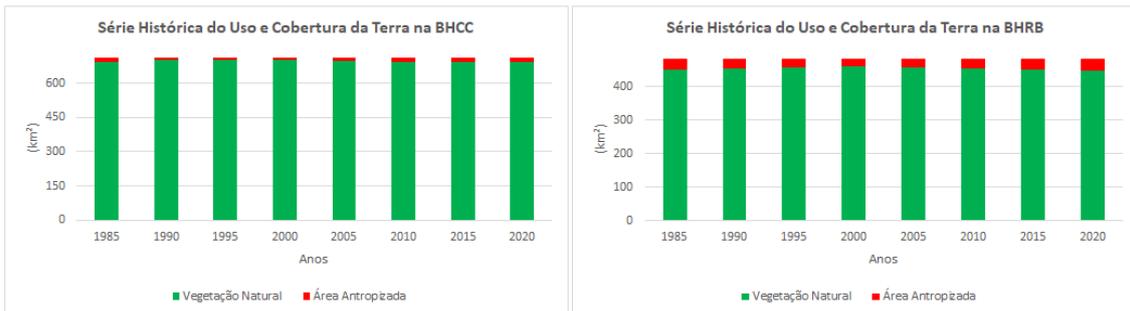


Gráfico 1: Série Histórica do Uso e Cobertura da Terra na BHCC e BHRB
 Fonte: Projeto MAPBIOMAS, 2021. Elaboração: A autora, 2022.

O clima da região é considerado Tropical Subúmido-Úmido, com presença de duas estações bem marcadas, uma chuvosa entre os meses de outubro e março e a outra seca, entre os meses de maio e setembro. O período de maior concentração das chuvas é entre novembro e janeiro e a duração do período seco varia conforme a distribuição das chuvas, variando geralmente entre 4 a 6 meses secos (Nimer, 1989). A região é marcada por índices pluviométricos entre 950 e 1250 mm anuais, com distribuição interanual bastante irregular. A temperatura média anual é considerada elevada, em função da alta influência da continentalidade, com valores superiores a 24 °C (Cavalcanti et al., 2009).

A estação mais próxima da área de estudo está situada no município de Januária/MG, com distância aproximada de 48,6 km do município de Bonito de Minas. Conforme dados históricos obtidos no INMET dos últimos trinta anos (1990-2020), a quantidade de precipitação interanual é bastante irregular, com mínimo de 450,8 mm (1993) e pico máximo de 1553,6 mm (1992). Com relação à precipitação intraanual, os meses entre novembro e março apresentam variações quanto aos valores máximos, com médias mensais entre 130 mm e 212 mm, aproximadamente. Os meses de junho, julho e agosto possuem os valores mais baixos do ano (~2 mm) e o mês de dezembro geralmente é o mais chuvoso, com 211,1 mm em média (Gráfico 2).

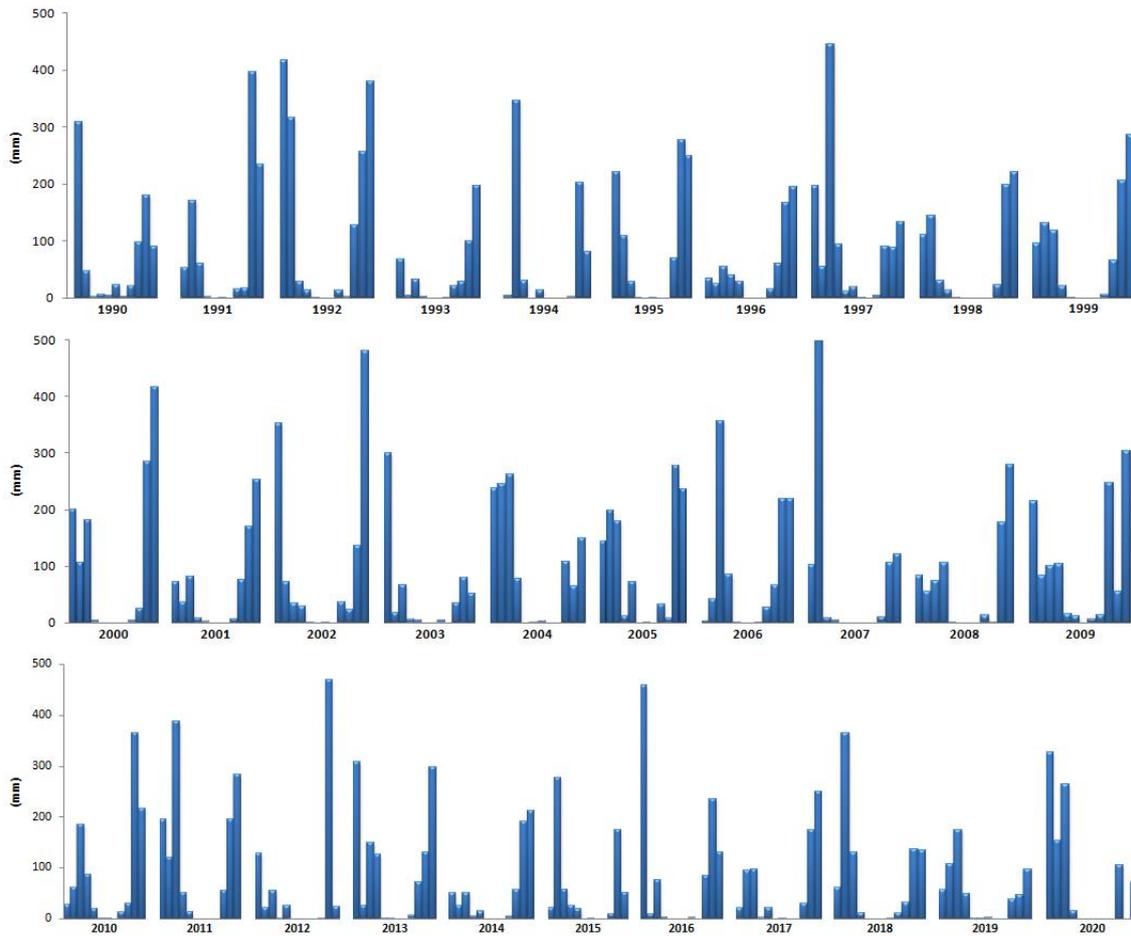


Gráfico 2: Série histórica de precipitação da estação de Januária/MG (1990-2020)
 Fonte: INMET, 2021. Elaboração: A autora, 2022.

3.1.2 Compartimentação das Bacias

A bacia do Alto Catolé (Figura 15 - Perfis A e B) apresenta interflúvios entre 750 m e 815 m de altitude, enquanto os fundos de vale atingem 660 e 680 metros. Nesse compartimento ocorre o maior desnível altimétrico da BHCC (Perfil A – 135 m, Perfil B – 120 m), considerando a seção transversal. Isso ocorre em função da presença de remanescentes da Superfície Sul-Americana delimitada por escarpamento no extremo norte da bacia, cujos topos ainda conservados são tabuliformes e aqueles em processo de dismantelamento apresentam pequenas cristas. Por sua vez, as vertentes possuem formas côncavas, o que favorece o escoamento superficial concentrado, e conseqüentemente, a erosão linear.

Na bacia do médio Catolé (Perfis C e D), as encostas apresentam desnível altimétrico de até 95 m, a forma predominante é a convexa, o que favorece a dispersão dos fluxos d'água. Na bacia do baixo Catolé (Perfis E e F), as encostas são mais amplas e suaves, com curvaturas convexas e côncavas ao longo do perfil, nesse compartimento os processos de deposição tendem a ser mais favorecidos do que os de erosão.

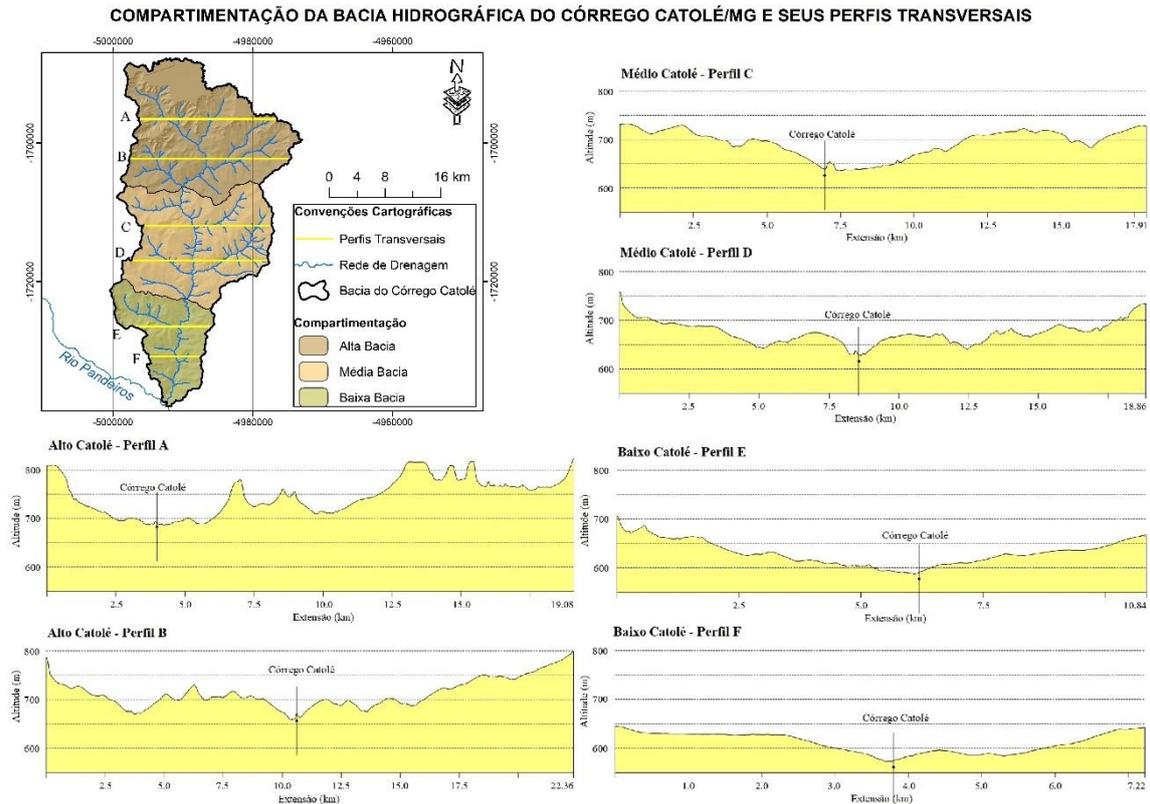


Figura 15: Compartimentação da BHCC e seus Perfis Transversais
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

A bacia do Alto Borrachudo (Figura 16 - Perfis A e B) possui interflúvios entre 715 m e 780 m de altitude e fundos de vale entre 655 m e 680 m, com desnível altimétrico de 100 m (Perfil A) e 60 m (Perfil B), valor menor do que o apresentado pela bacia do Alto Catolé. No extremo norte da bacia, a margem direita é mais elevada do que a margem esquerda, associado à presença de relictos da superfície Sul-Americana que tem ocorrências na porção norte-nordeste da bacia. As vertentes convexas são dominantes, com exceção daquelas próximas ao grande aplanamento que possuem curvaturas côncavas.

No Médio Borrachudo (Perfis C e D) há a ocorrência de vertentes com trechos convexos, côncavos e retilíneos, ou seja, há trechos cujo fluxo é concentrado e outros difusos. As áreas de relevo mais movimentado da bacia se encontram nesse compartimento, com encostas curtas e outras mais amplas que podem apresentar desnível de até 60 m. Na bacia do Baixo Borrachudo, há a presença de vertentes suaves e curtas (Perfil E), suaves e amplas (Perfil F), com desnível máximo de 30 m.

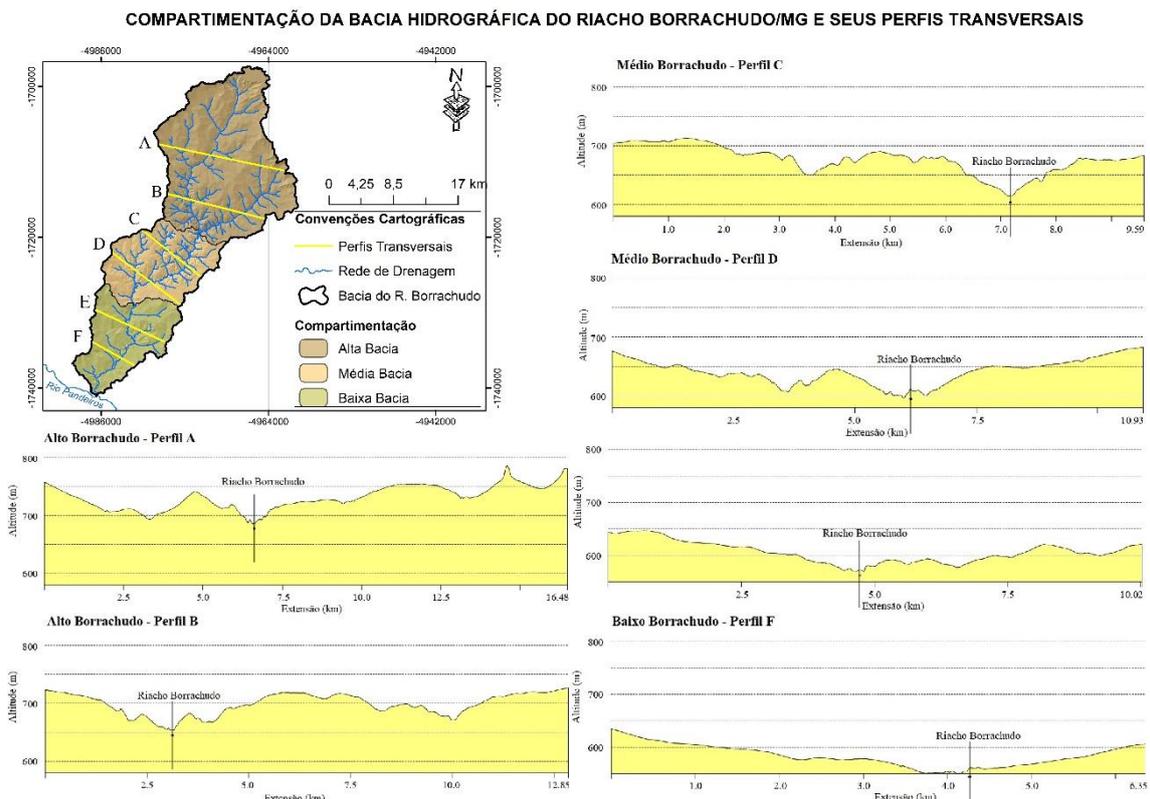


Figura 16: Compartimentação da BHRB e seus Perfis Transversais
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

3.2 Procedimentos Operacionais

A fim de cumprir os objetivos propostos na presente pesquisa, foi feita uma revisão bibliográfica de autores que abordam principalmente os seguintes temas: evolução da superfície de aplanamento e incisão fluvial; áreas úmidas; hidrologia de bacias e os parâmetros físicos e físico-químicos das águas. Em seguida, houve a obtenção de bases cartográficas da área de estudos, o

processamento e a análise dos dados, e por último, as campanhas de campo. A Figura 17 apresenta uma síntese das etapas metodológicas do trabalho.

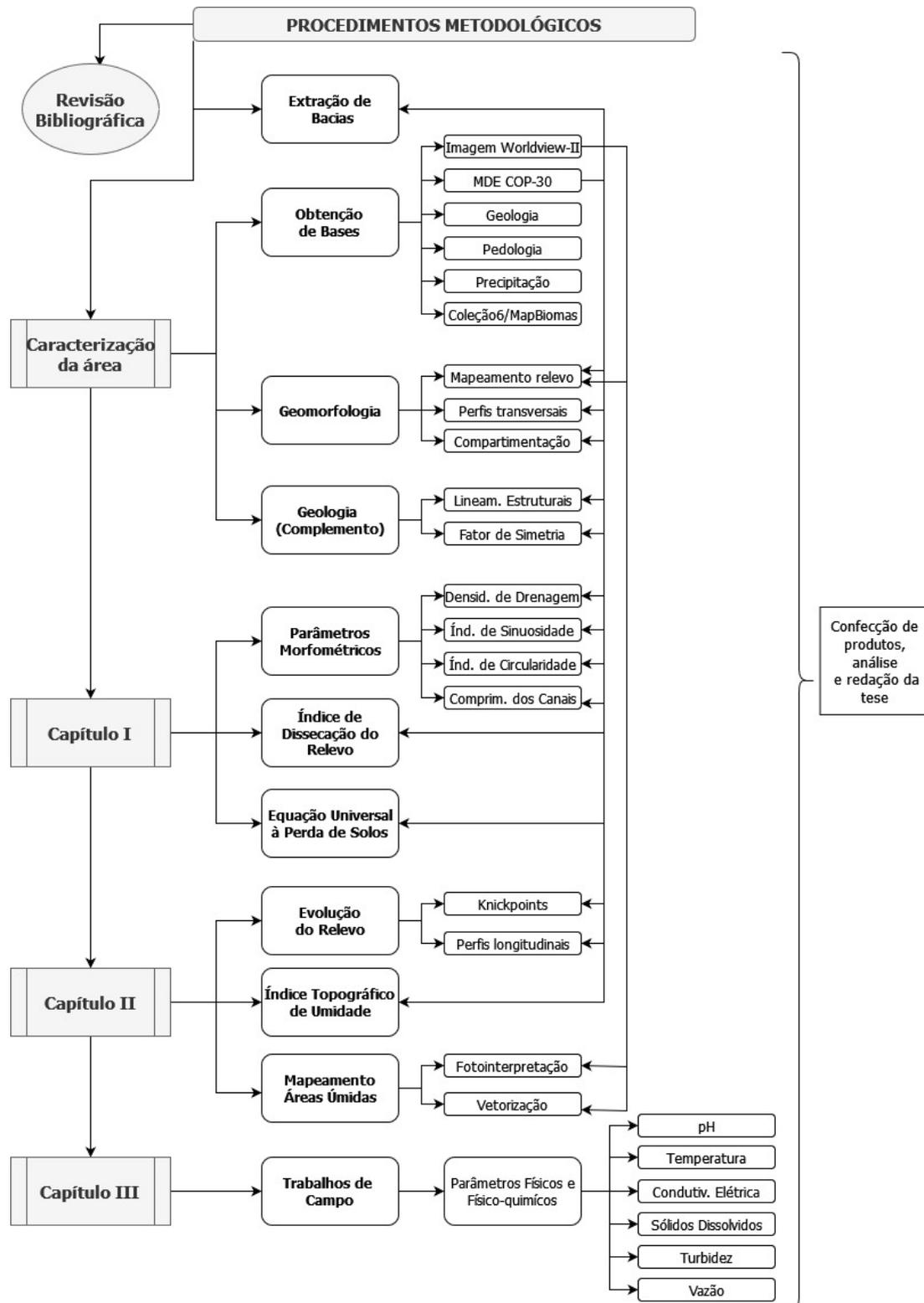


Figura 17: Fluxograma dos procedimentos metodológicos
Elaboração: A autora, 2023.

Os procedimentos metodológicos consistiram em 5 etapas, divididas em: aquisição de bases cartográficas e caracterização da área; morfometria das bacias hidrográficas e mapeamento da suscetibilidade à perda de solos; análise do relevo e mapeamento das áreas úmidas, medição dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas.

3.2.1 Aquisição de bases cartográficas e caracterização da área

Inicialmente, realizou-se a delimitação da área de estudo por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) COP-30, oriundo do programa Copernicus DEM com 1 segundo de arco (30 metros de resolução espacial), obtido via repositório do *OpenTopography*. O COP-30 (ou então, GLO-30) é um MDE lançado no ano de 2020 pela Agência Espacial Europeia (ESA), com imagens de acesso global e gratuito.

A escolha por esse MDE ocorreu em função dos estudos recentes realizados por Cremon et al., (2022) em que os autores testaram o COP-30 com algumas estações de referência do estado de Goiás e Distrito Federal. Ficou comprovado que há o cumprimento do Padrão Brasileiro de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) e que o MDE possui qualidade para mapeamentos de detalhes. O COP-30 é considerado o melhor MDE disponível no mercado atualmente, com resultados mais satisfatórios que o SRTM, NASADEM e o AW3D30 (Guth; Geoffroy, 2021; Purinton; Bookhagen, 2021; Cremon et al., 2022).

Posteriormente, foi feito o reconhecimento dos atributos fisiográficos das bacias. Para tanto, foram obtidas as seguintes bases cartográficas: Mapa de geomorfologia do projeto RADAMBRASIL, folha SD. 23 Brasília (escala 1:1.000.000); Base geológica (escala 1:100.000) disponível no portal da geologia da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2014); Base pedológica obtida por meio do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE); Séries históricas de precipitações da estação de Januária - MG (OMM: 83386) por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Utilizando como base os estudos de Valadão (2009), Almeida (2015) e Mantovani (2020), delimitou-se manualmente as superfícies de aplanamento da área de estudo, suas áreas dissecadas e conservadas. Para realizar tal mapeamento, usou-se as imagens do MDE COP-30 (2020) e do satélite *WorldView-II* (2015) de 1,20 metros de resolução espacial, concedidas pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Ainda nesta etapa, as bacias foram compartimentadas obedecendo aos limites de seus interflúvios. A partir da compartimentação da BHCC e BHRB em alta, média e baixa bacia, traçaram-se perfis topográficos transversais a fim de retratar o relevo em diferentes seções das bacias. A etapa de confecção dos perfis transversais foi realizada com o auxílio do *software* Global Mapper, versão 19.

A extração dos lineamentos estruturais presentes na BHCC e BHRB foi realizada de forma automática, por meio do módulo *Focus* do *software* PCI *Geomatics*, versão 2016. Os produtos de entrada nesse algoritmo foram as imagens de relevo sombreado da área de estudo com diferentes direções azimutais (45° , 90° , 315° , 360°), gerados com o auxílio do *software* ArcGis 10.5.

A extração automática foi verificada no ArcGis, a partir da sobreposição dos lineamentos com o relevo sombreado na direção azimutal de 315° e altitude de insolação em 45° . Nessa etapa, classificaram-se manualmente a partir da interpretação visual, as feições lineares positivas e negativas. Os lineamentos positivos são feições retilíneas ou levemente curvas do relevo em evidência, como por exemplo, as cristas (Sordi; Salgado; Paisani, 2015). Os lineamentos negativos são feições retilíneas da drenagem, em que geralmente correspondem a vales lineares confinados (Silva; Maia, 2017).

Para fins de espacialização das direções preferenciais dos lineamentos estruturais, assim como, da rede de drenagem, foram gerados o diagrama de rosetas conforme a frequência absoluta, em intervalos de 10° . Esse procedimento foi realizado com o auxílio do *software* Spring versão 5.5. A análise do padrão da rede de drenagem das duas bacias foi realizada manualmente, a partir da interpretação visual de imagens e classificadas conforme a literatura (Christofolletti, 1980).

Foi realizado também, o cálculo do fator de simetria topográfica transversal (FSTT) com base em Cox (1994) que se refere à posição do rio principal perante o eixo central da bacia. Esse índice varia entre 0 e 1, quando próximos de 0 a bacia possui característica simétrica, e, próximo a 1, significa que a bacia é assimétrica. Seu cálculo é realizado da seguinte fórmula – Equação 1:

(1)

$$FSTT = Da/Dd$$

Em que:

FSTT = fator de simetria topográfica transversal;

Da = distância horizontal entre o rio principal e o eixo médio da bacia;

Dd = distância horizontal entre o eixo médio da bacia e o divisor topográfico.

O FSTT foi realizado no *software* ArcGis, a partir da identificação e delimitação manual do seu eixo médio. O cálculo foi efetuado a cada 1 km a partir da nascente, sendo que o valor unitário final se refere a média apresentada por cada bacia.

Ressalta-se que as etapas de extração e análise dos lineamentos, direção preferencial, padrão espacial da rede de drenagem e fator de simetria foram realizadas com o objetivo de verificar possível controle estrutural nas bacias de estudo.

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi feito com base nas imagens *WorldView-II* (1,20 m). Essas imagens são referentes ao período de inverno do ano 2015 e correspondem ao comprimento de onda na faixa do visível (*RED, GREEN, BLUE*). Tendo como base os estudos de Panizza e Fonseca (2011) e Borges (2018), foi feita inicialmente uma interpretação visual de imagens para efeito de identificar os tipos de usos existentes na área de estudo e sua distribuição na paisagem. Os aspectos observados nas imagens referem-se a atributos espectrais e espaciais, tais como a tonalidade, textura, estrutura, localização e sombreamento.

Foram identificadas na BHCC e BHRB fitofisionomias do Cerrado do tipo cerrado *stricto sensu*, mata seca, matas-galeria e veredas e usos antrópicos como a pastagem, agricultura, solo exposto e área urbanizada. Em função da imagem não conter a banda do Infravermelho Próximo (NIR) e Infravermelho Médio (MIR), comprimentos de onda que melhor evidenciam a vegetação, as imagens apresentaram maior semelhança espectral dos elementos, limitando o método de mapeamento. Contudo, nessa pesquisa a alta resolução espacial (1,20 m) compensa a ausência do infravermelho. Nesse caso, a área urbanizada, pastagem, agricultura, matas-galeria e veredas foram delimitadas manualmente pelo processo de vetorização, e, a mata seca, o cerrado *stricto sensu* e o solo exposto foram mapeados por meio de condições de bandas isoladas utilizando a Calculadora Raster do ArcGis 10.5 e do QGIS 2.14.

A partir da chave de interpretação do uso e cobertura da terra nas bacias do BHCC e BHRB (Figura 18) foi possível visualizar as características espectrais da imagem apresentada por cada classe, sua tonalidade, textura, estrutura e posição no relevo, atributos importantes para sua identificação e mapeamento.

CHAVE DE INTERPRETAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA DO CATOLÉ E BORRACHUDO - MG		
CERRADO <i>STRICTO SENSU</i>	MATA SECA	ÁREAS ÚMIDAS
Tonalidade: Verde; Textura: Lisa; Estrutura: Alveolar.	Tonalidade: Rosa/Marron; Textura: Rugosa; Estrutura: Alveolar.	Tonalidade: Verde/Marron/Branco; Textura: Orientada; Estrutura: Linear.
		
MATAS-GALERIA	PASTAGEM	AGRICULTURA
Tonalidade: Verde Médio; Textura: Orientada; Estrutura: Linear.	Tonalidade: Rosa/Marron/Verde; Textura: Heterogênea; Estrutura: Retangular.	Tonalidade: Verde Claro; Textura: Homogênea/Lisa; Estrutura: Retangular.
		
ÁREA URBANIZADA	SOLO EXPOSTO	
Tonalidade: Amarelo Claro; Textura: Heterogênea; Estrutura: Quadriculada.	Tonalidade: Branco/ Rosa Claro; Textura: Lisa; Estrutura: Paralela.	
		

Figura 18: Chave de interpretação do uso e cobertura da terra
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2020.

Obteve-se, também, a série histórica de uso e cobertura da terra da BHCC e da BHRB por meio do projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), referente à coleção 6 (1985-2020), com resolução espacial de 30 m.

3.2.2 Processamento de dados orbitais e campanhas de campo

Nessa etapa foi feita uma análise dos parâmetros morfométricos gerados a partir do MDE COP-30 (2020). Essa etapa é importante não apenas para a caracterização das bacias, mas para melhor interpretar eventuais diferenças no

regime dos dois rios principais. Os parâmetros morfométricos referem-se à densidade de drenagem (Dd), índice de circularidade (Ic), índice de rugosidade (I_r) e o comprimento médio dos canais. Foi realizado também o índice de dissecação do relevo, com base em Guimarães et al., (2017), em que os autores apresentam uma proposta automatizada desse índice morfométrico proposto inicialmente por Ross (1994)¹¹.

❖ Elaboração do mapa de suscetibilidade à perda de solos

O mapa de suscetibilidade à perda de solos foi feito com base na Equação Universal de Perda de Solo - USLE (Wischmeier; Smith, 1978), cujos processamentos foram feitos em ambiente SIG. Esse modelo é considerado empírico, cujo objetivo é avaliar a erosão por meio de estimativas das taxas de perda de solos em determinado tempo e espaço.

Na literatura, diversos trabalhos (Martín-Fernández e Martínez-Núñez, 2011¹²; Tetzlaff et al., 2013¹³; Galdino et al., 2015¹⁴) têm demonstrado resultados satisfatórios com a aplicação dessa metodologia. As ressalvas têm sido dadas quanto à incompatibilidade de escalas dos produtos de entrada (*input*) no modelo, principalmente dos fatores C e P (manejo do solo e práticas conservacionistas) (Medeiros et al., 2016). Mesmo assim, o modelo apresenta contribuições regionais significativas quanto à suscetibilidade à erosão, com dados que podem ser manuseados e refinados em ambiente SIG. A USLE baseia-se na álgebra entre o comprimento (L) e declividade da vertente (S), erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) - (Equação 2).

(2)

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

❖ Rupturas de Declive e Perfis Longitudinais

¹¹ ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revistado Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

¹² MARTÍN-FERNÁNDEZ, L.; MARTÍNEZ-NÚÑEZ, M. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. **Science of the Total Environment**. v.409, p.3114-3123, 2011.

¹³ TETZLAFF, B.; FRIEDRICH, K.; VORDERBRÜGGE, T.; VERECKEN, H.; WENDLAND, F. Distributed modelling of mean annual soil erosion and sediment delivery rates to surface waters. **Catena**. 2013.

¹⁴ GALDINO, S.; SANO, E. E.; ANDRADE, R. G.; GREGO, C. R.; NOGUEIRA, S. F.; BRAGANTINI, C.; FLOSI, A. H. G. Large-scale modeling of soil erosion with RUSLE for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. **Land Degrad Dev**. 2015.

As rupturas de declive (*knickpoints*) foram geradas de forma automática por meio da ferramenta *knickpoint Finder* acoplada ao Arc Gis 10.8. Essa ferramenta baseia no cálculo da Relação Declividade-Extensão (RDE) proposto por Etchebehere (2006) e derivado do índice *Stream Length-Gradient* (LS) de Hack (1973). Em seguida, foram gerados os perfis longitudinais referentes ao curso principal da BHCC e da BHRB.

❖ Mapeamento da superfície ocupada pelas Áreas Úmidas

As áreas úmidas foram identificadas por meio da interpretação visual de imagens e delimitadas manualmente por meio do *software* ArcGis 10.8. As imagens orbitais utilizadas nesta etapa foram as do satélite *WorldView-II* (2015) de 1,20 m de resolução espacial.

❖ Caracterização do regime fluvial e dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas

Por meio da realização de trabalhos de campo, foram coletadas amostras de água na calha do rio principal da BHCC e da BHRB, próximo a cidade de Bonito de Minas/MG, durante um ano hidrológico (01/2021 a 12/2021). Os pontos de coleta de água foram determinados por meio de imagem de satélite (*WorldView-II*) e acessados em campo por meio de GPS portátil Garmin Oregon 750, disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes. Esses pontos foram escolhidos em função de estarem situados na baixa bacia, de modo a fornecerem informações sobre os processos que se desenvolvem à montante, e também, quanto à questão de logística (acesso). Os parâmetros físicos e físico-químicos obtidos referem-se à turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, condutividade elétrica, vazão e sólidos totais dissolvidos – (Tabela 1).

Parâmetro	Unidade	Método
pH	pH a 25 °C	PHmetro (<i>in loco</i>)
Temperatura da Água	°C	PHmetro (<i>in loco</i>)
Condutividade Elétrica	μS/cm à 25,0 °C	Condutivímetro (<i>in loco</i>)
Sólidos Dissolvidos	mg/L	Análise Laboratorial
Turbidez	NTU	Turbidímetro (<i>in loco</i>)
Vazão	L/s	Flutuador (<i>in loco</i>)

Tabela 1: Parâmetros físicos e físico-químicos das águas, unidade e método de coleta
Elaboração: A autora, 2021.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA, M. I. S. de. **Unidades de paisagem na bacia hidrográfica do rio Pacuí / Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte - MG: Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais, 2015, 190p. (Tese, doutorado em Geografia).
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1 p.81-97, 2003.
- ALVARENGA, L. A.; MARTINS, M. P. P.; CUARTAS, L. A.; PENTEADO, V. A.; ANDRADE, A. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012.
- ANGELOCCI, L. R.; VILLA NOVA, N. A. Variações da temperatura da água de um pequeno lago artificial ao longo de um ano em Piracicaba-SP. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.52, n.3, p.431-438, 1995.
- ARAÚJO, P. L.; HAMBURGUER, D. S.; JESUS, T. A.; BENASSI, R. F.; CICCIO, V. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP. **REGA**, Porto Alegre, v. 15, 2018.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; MELO, D. R. de.; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma Cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2009.
- BARROS, L. F. de. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P. (ORGs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.
- BELÉM, F. L. **Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**. Goiânia – GO: Universidade Federal de Goiás, 2019, 250f. (Tese, doutorado em Geografia)
- BERNALDEZ, F. G. - 1981 - **Ecología y paisaje**. Madrid, H. Blume Ediciones. 251p.
- BISPO, F. H. A.; SILVA, A. C.; TORRADO, P. V. Highlands of the upper Jequitinhonha Valley, Brazil. I – characterization and Classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1069-1081, 2011.

BISPO, F. H. A.; SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; SOUZA JÚNIOR, V. S. da. Highlands of the upper Jequitinhonha Valley, Brazil. II – mineralogy, micromorphology, and landscape evolution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1081-1091, 2011.

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

_____. 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.

_____. Preservação das veredas: Síntese. In: Encontro Latino-Americano Relação Ser Humano-Ambiente, 2, Belo Horizonte, 1988, **Anais...** Belo Horizonte: FUMEC, 1988.

BORGES, M. G. **Fitofisionomias do Cerrado e as áreas potenciais de ocorrência do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) e buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) no norte de Minas Gerais**. Montes Claros - MG: Universidade Estadual de Montes Claros, 2018, 109p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; FERRAUDO, A. S. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da bacia hidrográfica do Córrego Jaboticabal. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8 n.2, p.161-171, 2003.

BRANDÃO, M.; CARVALHO, P. G.; BARUQUI, F. M. Veredas: uma abordagem integrada. **Daphne**, Belo Horizonte, v. 1, n. 3, p. 5-8, 1991.

BRANDÃO, P. B. Velhas aplicações e novas possibilidades para o emprego do método comparativo nos estudos geográficos. **GeoTextos**, v. 8, n. 1, p.167-185, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução do N.º 357, de 17 de março de 2005/03/05. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 09 Agosto 2020.

BRAUN, O. P. G. 1970. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, v.32, p.3-39, 1970.

BRIDON, J.; ROA, M. C.; BROWN, S. J.; SCHREIER, H. Integrating wetlands into watershed management: effectiveness of constructed wetlands to reduce

impacts from urban stormwater. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGS). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**. Marienbad, Czech Republic, p.143-154, 2006.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Água**, Taubaté, v.8, n.1, p.186-205, 2013.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília - DF, v.27, p.269-282, 1997.

CARVALHO, D. T. L.; BUENO, G. T.; JESUS, G. N.; ROSOLEN, V. S. Compartimentação e evolução do relevo da chapada Uberaba-Uberlândia-MG. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Brasileiro de Geografia Física, **Anais...** Campinas, 2017.

CAVALCANTI, I. F. de. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da.; DIAS, M. A. F. da. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 2ª ed. 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher. 1981.

COX, R. T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.

CREMON, É. H.; BETTIOL, G. M.; JUNIOR, J. P. M.; MACEDO, F. C.; RABELO, M. W. de O. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 536–546, 2022.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de informação de solos brasileiros**. 2011. Disponível em: <https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html>. Acesso em: 09 Agosto 2020.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília - DF, 5. ed., rev. e ampl., 2018.

ELVERFELDT, K. V. **System Theory in Geomorphology: Challenges, Epistemological Consequences and Practical Implications**. Springer, 2012.

FERREIRA, C. A.; SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ROCHA, W. W. Genesis and classification of Oxisols in a highland toposequence of the upper Jequitinhonha Valley (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 195-209, 2010.

FILIZOLA, H. F.; BOULET, R. Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. **Geomorphology**, v. 16, p.77-86, 1996.

FISRWG, Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group, 2001. 637 p.

GAILLETON, B.; MUDD, S. M.; CLUBB, F. J.; PEIFER, D.; HURST, M. D.; A segmentation approach for the reproducible extraction and quantification of knickpoints from river long profiles. **Earth Surface Dynamics**, v. 7, p. 211-230, 2019.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. dos. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.103-111, 2012.

GOMES, C. S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais**. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017, 212p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR. A. P. Classes hidrogeomorfológicas de áreas úmidas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.21, n.2, p.313-327, 2020.

GOMES, M. O. S.; MEYER, K. E. B.; PESSEDA, L. C. R. Reconstituição paleoambiental da vereda Carrasco da Raposa, Parque Estadual da Serra do Cabral, MG, Brasil, por meio de estudos palinológico e isotópico. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre - RS, v. 44, p. 41-62, 2017.

GRISON, F.; KOBIYAMA, M. Teoria e aplicação da geometria hidráulica: revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, p.25-38, 2011.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J. N. de.; SILVA, E. V. da. Veredas da Chapada do Araripe: subespaços de exceção no semiárido do estado do Ceará, Brasil. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 14, n. 2, p.51-66, 2020.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do Índice de Dissecação do

Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 155-167, 2017.

GUTH, P. L.; GEOFFROY, T. M. LiDAR point cloud and ICESat-2 evaluation of 1 second global digital elevation models: Copernicus wins. **Transactions in GIS**, v. 25, p. 2245-2261, 2021.

HAIGH, M.; KILMARTIN, M. P. Hydrology of disturbed peat-land, heads of the Valleys, Wales. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGs). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**. Marienbad, Czech Republic, p.95-106, 2006.

HAIGH, M.; KRECEK, J. Conclusion – wetlands in context. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGs). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**. Marienbad, Czech Republic, p.313-338, 2006.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e Coberturas Fanerozóicas no vale do rio São Francisco, Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v.39, p.256-266, 2009.

KARMANN, I. Água: Ciclo e ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de.; TAIOLI, F. (ORGs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2ª ed. 2009.

KING, L. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Ano XVIII, N. 2, 1956.

KRECEK, J.; HAIGH, M. J. Headwater wetlands. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGs). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**, Marienbad, Czech Republic, p.95-106, 2006.

KRÖHLING, D.; BRUNETTO, E; GALINA, G.; ZALAZAR, M.C.; IRIONDO, M. Planation Surfaces on the Paraná Basaltic Plateau, South America. In: RABASSA, J.; OLLIER, C. (Eds.). **Gondwana Landscapes in Southern South America**. New York: Springer, p. 247-304, 2014.

LADEIRA, F.S.B. Gondwana Paleosurfaces in the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. In: RABASSA, J.; OLLIER, C. (Eds.). **Gondwana Landscapes in Southern South America**. New York: Springer, p. 135-160, 2014.

LANA, C. E.; CASTRO, P. de. T. A. Níveis de base fluviais: síntese dos principais condicionantes e dinâmica de instalação. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia, v.3, n.1, p.102-122, 2012.

LIMA, K. C.; CUNHA, C. M. L. da.; PEREZ FILHO, A. Relações entre rede de drenagem e superfícies de aplainamento semiáridas. **Mercator**, Fortaleza, v.15, n.2, p.91-104, 2016.

LIMA, S. do, C.; QUEIROZ NETO, J. P. de. As veredas e a evolução do relevo. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 15, 1996.

LÓPEZ, C. M. **Estudo ecossistêmico em uma vereda na região de Três Marias/MG: com base em indicadores limnológicos e ecomorfológicos**. São Paulo: UNESP, 2009. (Tese, doutorado em Aquicultura).

LUÍZ, A. M. E.; PINTO, M. G. C.; SCHEFFER, E. W. O. Parâmetros de cor e turbidez relacionados aos usos do solo e à morfometria da bacia hidrográfica do rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 13, p. 52-67, 2012.

MACEDO, D. R.; LOPES, F. W. de. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P. Noções de hidráulica e hidrometria fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P. (ORGs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P.; LAVARINI, C. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P. (ORGs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; FERREIRA, L. L. B.; FELIPPE, M. F.; COSTA, F. C. da.; HORN, A. H. Relações entre perdas geoquímicas e configuração geomorfológica de bacias fluviais de baixa ordem na borda oeste do espinhaço meridional (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.19, n.2, p.303-319, 2018.

MANTOVANI, J. R. A. **Mapeamento de superfícies de aplanamento no centro-norte da Amazônia**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás - UFG, 2020, 129p, (Tese, doutorado em Geografia).

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo, 2007.

MARTINS, A.; CALDEIRA, B.; BORGES, J. "Transient Knickpoints" no leito dos rios, significado na evolução da paisagem. In: SILVA, A.M; ARAÚJO, A.A; REIS, A.H; MORAES, M; BEZZEGHOUD, M. **Two decades of earth science research**. University of Évora, 2012.

MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. S. Chapadas do Brasil: Abordagem científica e conceitual. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.1, p.163-175, 2016

MEDEIROS, G. de. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. de. A. Estimates of annual soil loss rates in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

MELO, D. R. **As veredas nos planaltos do noroeste mineiro, caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos**. Rio Claro - SP: Universidade Estadual de São Paulo, 1992, 218p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

_____. **Evolução das veredas sob aspectos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/MG**. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 341p. (Tese, doutorado em Geografia).

MENEZES, J. P. C. de.; FRANCO, C. S.; OLIVEIRA, L. F. C. de.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de. S.; FIA, M. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.4, p.659-672, 2014.

MIGÓN, P. Planation surfaces. In: GOUDIE A. S. (Ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. vol. 1, London: Routledge, 2004. p. 788-792.

MINAS GERAIS. Lei nº 9682, de 12 de outubro de 1988. Altera a ementa e o artigo 1º da Lei nº 9375, de 12 de dezembro de 1986, que declara de interesse comum e de preservação permanente os ecossistemas das veredas do vale do rio São Francisco e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 13 out. 1988.

MOREIRA, V. B.; PEREZ FILHO, A. Das superfícies de aplainamento aos pulsos climáticos holocênicos: a evolução da paisagem em relevos de chapada. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia - MG, v.32, p.176-195, 2020.

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. Montes Claros - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 58p. (Dissertação, mestrado em Ciências Agrárias).

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2ª. ed. 1989.

OLLIER, C.; PAIN, C. **The origin of mountains**. London: Routledge, 345 p., 2000.

PANIZZA, A. de C.; FONSECA, F. P. Técnicas de Interpretação Visual de imagens. **Revista GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo. 2011.

PEREIRA, S. Recursos hídricos em veredas do bioma Cerrado no estado de Goiás. Goiânia - GO: Universidade Federal de Goiás, 2010, 123p. (Tese, doutorado em Agronomia).

PURINTON, B.; BOOKHAGEN, B. Beyond Vertical Point Accuracy: Assessing Inter-pixel Consistency in 30 m Global DEMs for the Arid Central Andes. **Frontiers in Earth Science**, v. 9, p.1-24, 2021.

QUEIROZ, M. L. **Nascentes, veredas e áreas úmidas - revisão conceitual e metodologia de caracterização e determinação: Estudo de caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas - Distrito Federal**. Brasília - DF: Universidade de Brasília, 2015, 148p. (Dissertação, mestrado em Geociências).

RABASSA, J. Some Concepts on Gondwana Landscapes: Long-Term Landscape Evolution, Genesis, Distribution and Age. In: RABASSA, J.; OLLIER, C. (Eds.). **Gondwana Landscapes in Southern South America**. New York: Springer, p. 9-48, 2014.

RAMOS, M. V. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F. da.; VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. L. N. Veredas do Triângulo Mineiro: solos, água e uso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v.30, p. 283-293, 2006.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia: Base para Distinção de Ambientes**. Lavras - MG: Editora UFLA, 6. ed, 2014.

REZENDE, E. A.; CASTRO, P. de. T. A.; Variação espacial e condicionantes do entalhamento fluvial na bacia do Rio Grande, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.17, n.4, p. 645-659, 2016.

REZENDE, C. R. de.; CHAVES, A. de. O.; OLIVEIRA, V. de. P. Evidências diretas e indiretas de arco magmático paleoproterozoico na região do Alto de Januária – norte de Minas Gerais. **Geonomos**, UFMG, v. 26, p.1-22, 2018.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; (Orgs.). **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 152-212.

ROCHA, P. C. Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial no alto Rio Paraná, Centro Sul do Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.24, n.48, p.153-176, 2009.

ROCHA, C. M. B. M. da.; RODRIGUES, L. dos. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R. de.; SILVA, I. J. da.; JESUS, E. F. M. de.; ROLIM, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno de Saúde Pública**, v.22, n.9, p.1967-1978, 2006.

RODRIGUES, B. H. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das condições geomorfológicas associadas à ocorrência de veredas no norte de Minas Gerais. 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro - RJ, **Anais...** 2012.

ROSS, J. L. S. O relevo brasileiro, as superfícies de aplanamento e os níveis morfológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, v.5, p.7-24, 1991.

SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Revista Geografias**, v.3, p.64-78, 2007.

SALGADO, A. A. R.; CHEREM, L. F. S.; SORDI, M. V. de. Grandes capturas fluviais no Brasil: síntese das novas descobertas. **Estudos do Quaternário**, Braga, v.9, p.23-31, 2018.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, 2008. 410p.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Ed. The Blackburn Press. Colorado: Press, The Blackburn. 1977. 338p.

SILVA, F. G. Incisão fluvial e dinâmica da evolução da paisagem nas veredas: bacia do Ribeirão Angélica, Parque Estadual Terra Ronca-Goiás, Brasil. In: II Jornada de Integração do IESA e XXIV Seminário Interno da Pós-Graduação em Geografia, **Anais...** Goiânia, 2019.

SILVA, M. B.; MAIA, R. P. Caracterização morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v.18, n.3, p.637-655, 2017.

SILVA, T, M. DA. Superfícies geomorfológicas do planalto sudeste brasileiro: revisão teórico-conceitual. **Geo UERJ**, v.3, n.20, P.1-22, 2009.

SILVA, T. M.; SANTOS, B. P. Sistemas de drenagem e evolução da paisagem. **Revista Geografia Acadêmica**, v.4, n.1, p.5-19, 2010.

SISSINO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n.12, v.4, p.515-523, 1996.

SORDI, M. V. de.; SALGADO, A. A. R.; PAISANI, J. C.; evolução do relevo em áreas de tríplice divisor regional de águas - o caso do planalto de Santa Catarina: análise da rede hidrográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n.3, p.435-447, 2015.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v.38, p.912-920, 1957.

TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Masson, 1993, 459p.

TOLEDO, M. C. M. de.; OLIVEIRA, S. M. B. de.; MELFI, A. J. Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de.; TAIOLI, F. (ORGs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2ª ed. 2009.

TRESCASES, J. J. **L'évolution Géochimique Supergene des Roches Ultrabasiques en Zone Tropicale Formation des Gisements Nickélicifères de Nouvelle-Caledonie**. Paris: Mem. ORSTOM, 78, 259p, 1975.

TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (ORGs). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. Clima e Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (ORGs). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

VALADÃO, R. C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfícies de aplanamento e soerguimentos crustais**. Salvador - BA: Universidade Federal da Bahia, 1998, 242p. (Tese, doutorado em Geografia).

VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.2, p.77-90, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

CAPÍTULO I - ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DO RELEVO DE CHAPADA NO NORTE DE MINAS GERAIS E SUA SUSCETIBILIDADE À PERDA DE SOLO: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi apresentar as características morfométricas principais das bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo e mapear sua suscetibilidade à perda de solos. Justifica-se por subsidiar interpretações sobre a evolução das paisagens de chapada em áreas de Cerrado do norte de Minas Gerais. A metodologia utilizada consistiu na geração e análise de parâmetros morfométricos, no Índice de Dissecação do Relevo e no mapeamento das áreas com potencial perda de solos por erosão hídrica, a partir da aplicação da Equação Universal à Perda de Solos (USLE). Esses produtos foram gerados no *software* ArcGis 10.5 e QGIS 2.18, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) COP-30. Como resultados, constatou-se que ambas as bacias possuem baixa suscetibilidade à ocorrência de grandes variações de vazão ou cheias em períodos chuvosos, devido a sua característica alongada. O índice de rugosidade, a densidade de drenagem, a declividade média e o índice de dissecação do relevo demonstraram que a bacia do riacho Borrachudo possui vertentes mais íngremes que a bacia do córrego Catolé, que favorecem o escoamento. As duas bacias possuem baixas declividades e alto percentual de cobertura de vegetação natural, contribuindo para o baixo potencial erosivo. Em geral, os parâmetros morfométricos juntamente com o índice de dissecação do relevo sinalizaram que as paisagens da bacia do riacho Borrachudo se encontram em estágios evolutivos mais avançados que na bacia do córrego Catolé.

Palavras-chave: Morfometria. USLE. Evolução da paisagem. SIGs.

4.1 INTRODUÇÃO

Em áreas de relevos de chapada ocorrem processos hidrológicos verticais e horizontais que determinam a dinâmica das águas (Tucci; Mendes, 2006). As precipitações atingem as vertentes e são escoadas ou infiltradas, conforme as características do meio físico. Essas características referem-se ao tipo de cobertura vegetal, a topografia do relevo, permeabilidade dos solos, dentre outros (Stevaux; Latrubesse, 2017; Rocha; Santos, 2018).

As águas escoadas de modo superficial escavam e modelam a paisagem, formando canais que as drenam para o exterior das bacias. Durante esse escoamento, as águas alcançam velocidades distintas conforme a estrutura da drenagem e a inclinação das vertentes, e podem remover e transportar fragmentos das partes mais elevadas para as mais baixas do relevo, em diferentes níveis de intensidade (Tucci, 2015).

Quanto às águas infiltradas, estas podem ser escoadas subsuperficialmente, ou então, armazenadas, de modo que, durante o período das secas, os rios conseguem manter seus regimes fluviais a partir da disponibilização dessas águas (Melo, 2008). Nesse caso, além da quantidade de água precipitada, a capacidade de armazenamento das bacias também é importante, pois permite que não ocorra escassez em determinadas épocas.

Assim, o prevalectimento da infiltração e armazenamento das águas ao invés do escoamento superficial contribui na manutenção dos regimes fluviais, isto é, da massa d'água dos rios ao longo do ano (Aquino; Latrubesse; Souza Filho, 2009), além reduzir as ocorrências erosivas. A análise dos aspectos morfométricos do relevo possibilita compreender os regimes dos rios, pois permite obter dados quantitativos associados à rede de drenagem e ao relevo (Rocha et al., 2014; Leite; Rocha, 2016; Almeida; Bayer; Ferreira Júnior, 2016). Essa análise é realizada a partir de atributos lineares, areais e hipsométricos, que de forma conjunta, possibilitam a análise sistêmica.

O formato das bacias, o número de canais, o índice de dissecação do relevo e a sinuosidade do curso principal são exemplos de parâmetros morfométricos que refletem na velocidade do escoamento, na potencialidade de

ocorrências erosivas, no tempo de residência das águas e na sua qualidade (Stevaux; Latrubesse, 2017). O uso deste método foi difundido a partir dos trabalhos de Horton (1945)¹⁵, Strahler (1952)¹⁶, Schumm (1956)¹⁷, Chorley (1962)¹⁸, e desde então, tem sido bastante utilizado.

Quanto à suscetibilidade à perda de solo por erosão superficial, a Equação Universal à Perda de Solos (USLE) é um método empírico que tem apresentado resultados satisfatórios em sua predição, mesmo que os dados inseridos no modelo possuam limitações, como as generalizações cartográficas, por exemplo. Essas estimativas fornecem uma representação espacial da suscetibilidade à erosão, a partir da interseção das características do meio físico e permitem interpretações acerca da evolução do relevo.

A área de estudos compreende as bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), situadas em relevos de chapadas, no norte do Estado de Minas Gerais. Trata-se de bacias adjacentes, de mesmo nível hierárquico, e com características comparáveis quanto aos aspectos do meio natural, diferindo quanto à superfície ocupada pelas áreas úmidas do tipo veredas: na BHCC elas ocupam área de 40,94 km² enquanto, na BHRB, 14,18 km².

Portanto, o objetivo deste capítulo foi apresentar as características morfométricas principais das bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo e mapear sua suscetibilidade à perda de solos. Estes resultados, somados aos do capítulo II e III, subsidiaram as interpretações acerca da evolução das paisagens de chapada em áreas do Cerrado.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

¹⁵ HORTON, R. E. Erosional development of stream sand their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

¹⁶ STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

¹⁷ SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, N. Jersey, v.67, p.597-646, 1956.

¹⁸ CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. USGS, Professional Paper 500 B, 1962. (tradução em Notícia Geomorfológica, v. 22, n. 23, 1971. p. 3-22)

4.2.1 Localização da área de estudo

A área de estudos corresponde às bacias do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), afluentes do rio Pandeiros, localizadas em áreas de chapada do Cerrado norte-mineiro. Essas bacias estão inseridas, em sua maioria - 96% (BHCC) e 97% (BHRB), em Unidades de Conservação do tipo Área de Proteção Ambiental (APA do rio Pandeiros) - Figura 19.

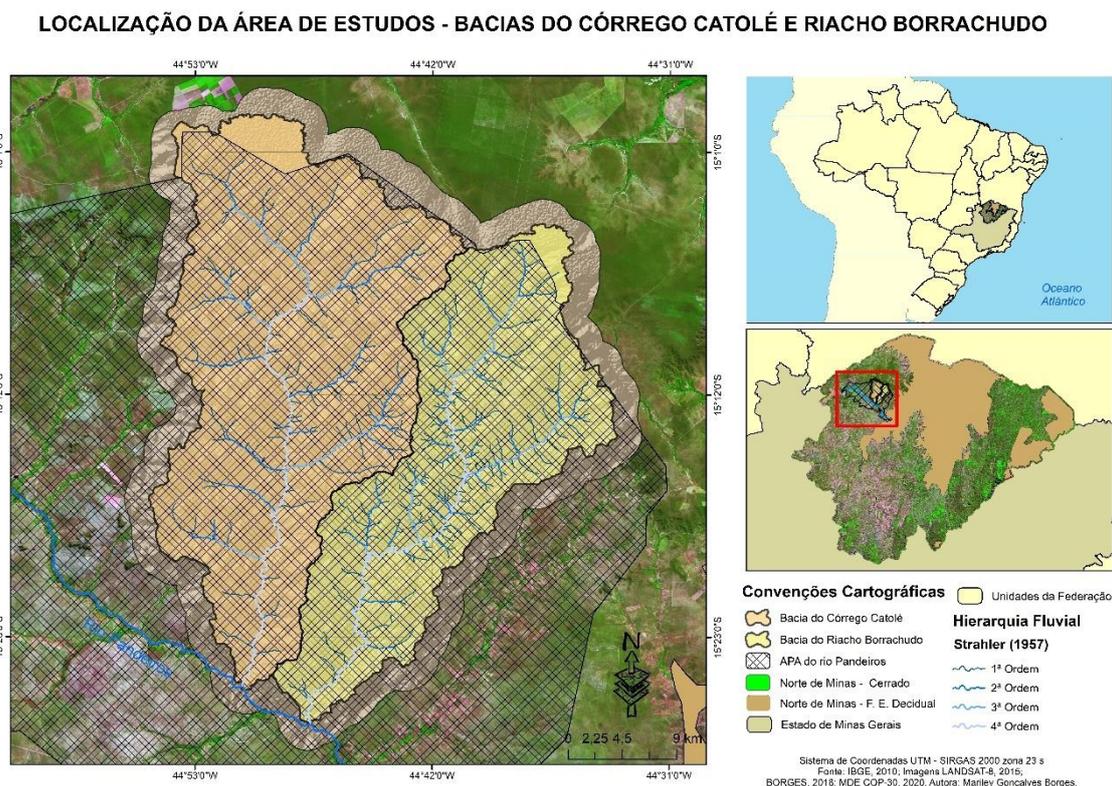


Figura 19: Área de estudos - Bacias do córrego Catolé e do riacho Borrachudo

Fonte: IBGE, 2010; Imagens WORLDVIEW-II, 2015; Imagens LANDSAT-8, 2015; BORGES et al., 2020 ; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2020.

A BHCC e a BHRB situam-se em um ambiente de domínio de veredas, que inclusive é responsável pelo abastecimento de grande parte dos canais do Pandeiros, importante afluente do Médio São Francisco (Neves, 2011). Além da manutenção dos regimes fluviais, as veredas alimentam o pantanal mineiro (o pântano do rio Pandeiros), que possui uma área que oscila entre 3000 e 5000 hectares ao longo do ano (Nunes et al., 2009).

As áreas de veredas são mais representativas na BHCC do que na BHRB, embora em ambas as bacias, esses ambientes venham sendo descaracterizados em função da perda de suas áreas e de suas funções

ecossistêmicas, fragmentação da paisagem e intervenções antrópicas (Borges et al., 2020; Magalhães Filho, 2020).

4.2.2 Procedimentos Operacionais

A fim de cumprir o objetivo proposto, foi feita uma caracterização morfométrica com base em aspectos lineares, areais e hipsométricos, conforme Horton (1945), Strahler (1957) e Christofolletti (1980) e o Índice de Dissecação do Relevo (IDR) baseado em Ross (1994) e Guimarães et al., (2017). A suscetibilidade à perda de solos dessas áreas foi estimada a partir da Equação Universal à Perda de Solos (USLE) de acordo com Wischmeier e Smith (1978).

4.2.2.1 Análise Linear, Areal e Hipsométrica

Para realizar a análise morfométrica foi adquirido o Modelo Digital de Elevação (MDE) do programa Copernicus DEM de 30 metros de resolução espacial, a partir do repositório do *OpenTopography*. Obteve-se também, imagens de alta resolução (1,20 metros) do satélite *WorldView-II*, concedidas gratuitamente pelo Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes.

O MDE COP-30 foi utilizado na extração dos limites da BHCC e da BHRB, na identificação da declividade média dos seus canais e do índice de rugosidade do relevo. Quanto às imagens *WorldView-II*, estas foram utilizadas na delimitação da rede de drenagem de forma conjunta ao MDE e a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) do rio São Francisco (Escala 1:50.000), disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA).

A utilização das imagens *WorldView-II* na delimitação da drenagem ocorreu em função da subestimação em determinadas áreas e superestimação em outras, conforme o limiar estabelecido (Figura 20) na Calculadora Raster do ARCGIS. Os limiares de 10.000 e 5.000 não consideravam alguns canais existentes na média bacia do Borrachudo. Por sua vez, o limiar de 2.000 considerava em sua maioria os canais da média bacia, mas em contrapartida, superestimava canais na alta bacia que conforme a interpretação visual de

imagens não existia. Portanto, visando obter o maior detalhamento possível, a drenagem foi vetorizada a partir da sobreposição dessas três camadas (imagens *WorldView-II*, MDE COP-30, BHO - 1:50.000).

Autores como Cherem et al., (2020) citam a possibilidade de ocorrer omissões e generalizações na definição da drenagem, em função da resolução espacial das imagens. As imagens que possuem tamanhos de pixel de 30 m representam na verdade, uma área de 900 m em cada célula, ou seja, os vales estreitos serão omissos, devido a consideração do valor médio da área representada pelo pixel. Nesse caso, as imagens que possuem maiores resoluções espaciais, possibilitam maior nível de detalhamento da rede de drenagem.

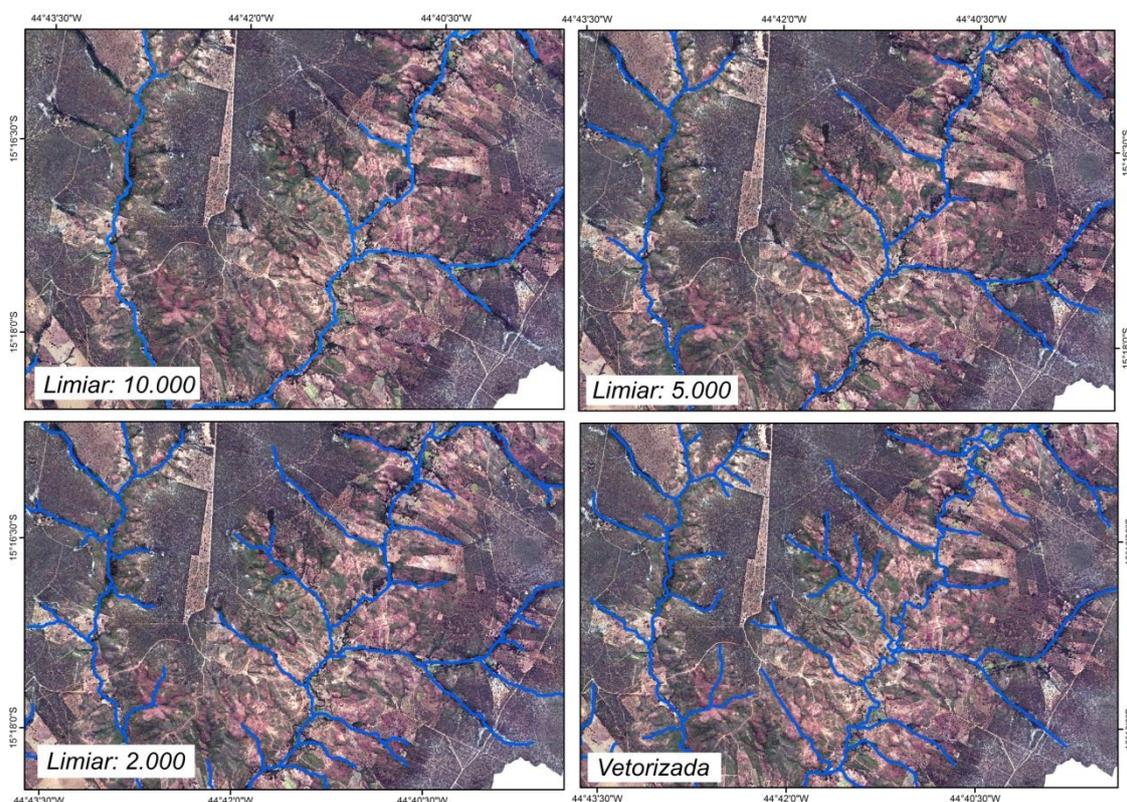


Figura 20: Delimitação da drenagem em diferentes limiares
Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2021.

Após a delimitação da rede de drenagem, foi feita a delimitação das duas bacias hidrográficas por meio do modo automático de extração. Em seguida, foram gerados os seguintes aspectos morfométricos: hierarquia fluvial, densidade de drenagem e índice de sinuosidade (atributos lineares); índice de

circularidade, comprimento médio e total dos canais (atributos areais); declividade média e índice de rugosidade (atributos hipsométricos). Esses parâmetros foram escolhidos por considerar que fornecem uma compreensão das características do sistema fluvial, assim como, do relevo de chapadas (Rocha et al., 2014; Almeida; Bayer; Ferreira Júnior, 2016).

A hierarquia fluvial (Hf) é uma forma de classificar os cursos d'água que possuem ou não tributários, em 1^a, 2^a, 3^a, ..., ordem (Cherem et al., 2020). Essa hierarquização dos canais baseia-se em Strahler (1952) ou em Horton (1945). De acordo com Strahler (1952), os canais que compõem as cabeceiras de drenagem são considerados de 1^a ordem, pois não possuem tributários. A partir da junção de dois canais de 1^a ordem, há a formação de um canal de 2^a ordem, dois canais de 2^a ordem formam um canal de 3^a ordem, e assim, continuamente. Na classificação de Horton (1945), apenas alguns canais de cabeceiras são considerados de primeira ordem, pois os canais mais extensos de ordem superior estendem-se até as cabeceiras - Figura 21.

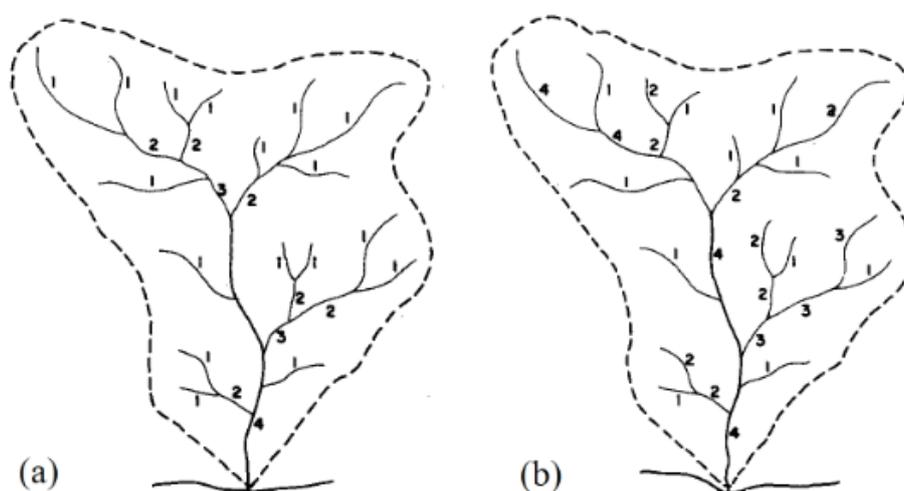


Figura 21: Hierarquização da rede de drenagem -(a) Strahler (1952) e (b) Horton (1945)
Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980.

A densidade de drenagem (Dd) é um parâmetro que expressa o potencial hidrográfico de determinada bacia, sendo calculada através da álgebra entre o comprimento total dos canais e a área da bacia (Ribeiro; Pereira, 2013; Resende et al., 2014). As bacias que apresentam valores que se aproximam de 0,5 km/km² sinalizam baixa capacidade de formação de canais superficiais, devido à

infiltração das águas pelo solo. Caso os valores sejam próximos ou superiores a 3,5 km/km² há a baixa infiltração dos solos e o forte escoamento das águas (Castro; Carvalho, 2009; Calil et al., 2012).

O índice de sinuosidade (*I_s*) refere-se ao arranjo espacial do rio principal e revela a sua relação com o aspecto estrutural da bacia (Leite; Rocha, 2016). Esse parâmetro é calculado a partir da divisão entre a extensão do percurso superficial do canal pela distância de suas extremidades (Christofolletti, 1980). Os valores de *I_s* podem ser próximos a 1, o que indica que os canais são retilíneos, ou próximos a 2, constituindo canais meandantes. Canais mais retilíneos favorecem o escoamento e tendem a diminuir o tempo de residência das águas em uma bacia.

O índice de circularidade (*I_c*) foi proposto inicialmente por Miller em 1953 (Christofolletti, 1980) e expressa à relação entre a forma da bacia e o escoamento superficial e subsuperficial das águas. As bacias que apresentam formato alongado possuem baixa probabilidade de picos de cheias durante os períodos chuvosos, devido o maior tempo para ser escoadas. Já as bacias com formatos circulares causam justamente o inverso, isto é, maior possibilidade de ocorrer enchentes devido ao rápido escoamento (Leite; Rocha, 2016; Cherem et al., 2020). O cálculo do *I_c* é realizado através da relação entre a área da bacia e área de um círculo que possui o mesmo perímetro da bacia (Christofolletti, 1980). Os valores deste índice variam até 1, caso sejam inferiores a 0,51 indicam que as bacias são prolongadas e se forem superiores a 0,51, as bacias são circulares.

O comprimento total dos canais se refere à extensão dos canais que compõem cada nível hierárquico presente na bacia. Quanto ao comprimento médio dos canais, este considera o comprimento total dos canais dividido pela quantidade de canais de determinada ordem.

A declividade média dos canais está relacionada ao grau de energia disponível para o escoamento das águas. Quanto maior a declividade média, maior tende a ser o escoamento, e, em contrapartida, menor será a capacidade de infiltração e armazenamento da água no solo (Ribeiro; Pereira, 2013). Ou

seja, o tempo de residência das águas nas bacias depende da declividade média apresentada pelos canais.

O índice de rugosidade (I_r) expressa o grau de inclinação das vertentes a partir da relação entre a amplitude altimétrica pela densidade de drenagem (Leite; Rocha, 2016). Valores elevados de I_r indicam vertentes íngremes, o que favorece a erosão devido o escoamento concentrado. Se os valores de I_r forem baixos, as vertentes são consideradas suaves, com baixa possibilidade de cheias, e, conseqüentemente, baixa capacidade erosiva (Christofolletti, 1980).

4.2.2.2 Índice de Dissecação do Relevo

O Índice de Dissecação do Relevo foi obtido por meio dos *softwares* ArcGis 10.5 e QGIS 2.18. Os procedimentos efetuados para a construção do índice totalizam 4 etapas: pré-processamento das imagens, grau de entalhamento dos vales, dimensão interfluvial média e o cálculo da dissecação do relevo (Figura 22).

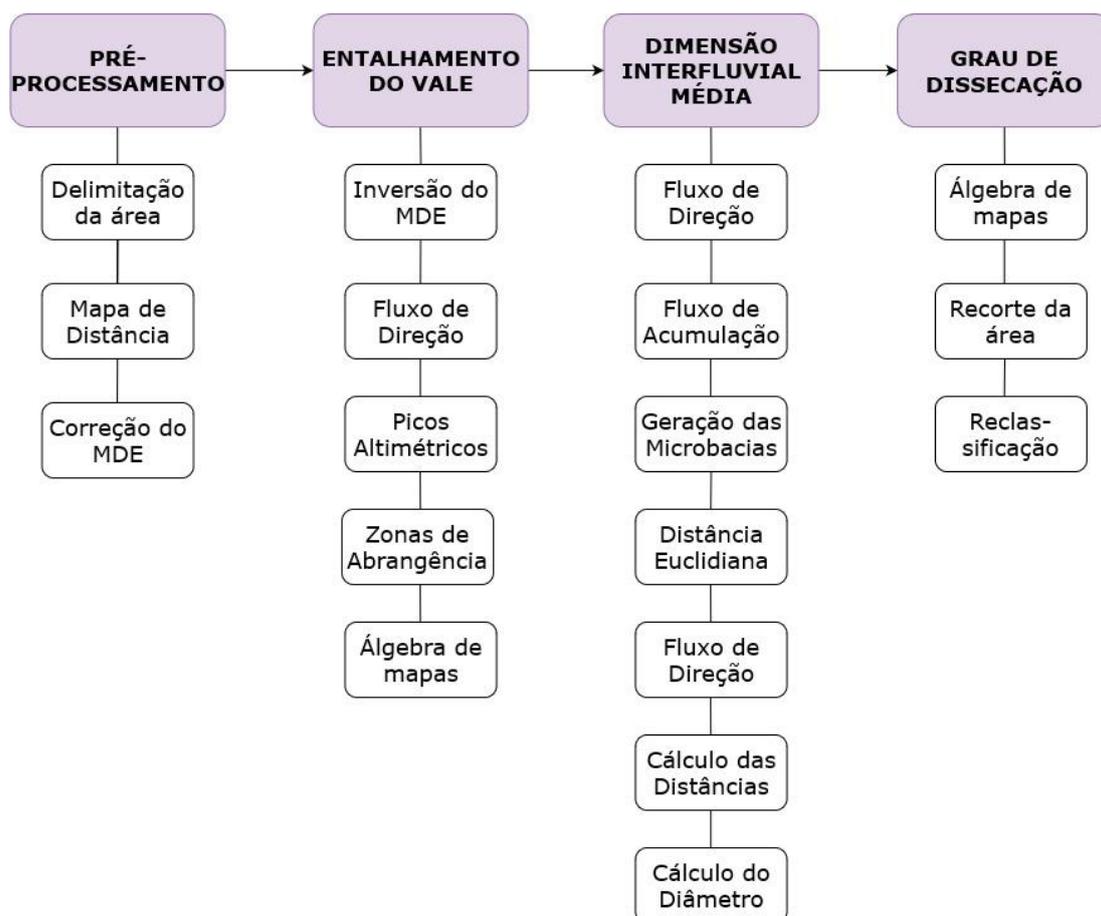


Figura 22: Procedimentos executados na confecção do Índice de Dissecação do Relevo. Elaboração: A autora, 2020.

A etapa do pré-processamento refere-se ao tratamento e preparação do MDE COP-30, em que primeiramente foi feito um mapa de distância (*buffer*) de 2 km sobre os limites da BHCC e da BHRB, cujo objetivo foi reduzir o efeito de bordas das imagens para os processamentos efetuados posteriormente. Logo após, foi feita uma correção do MDE por meio do preenchimento de falsas depressões (*fill*), geradas através da influência dos valores de pixels vizinhos ou por imprecisões apresentadas pelas imagens.

A etapa seguinte refere-se ao grau de entalhamento dos vales, que retrata a distância vertical entre os topos e os fundos de vale, ou seja, a amplitude altimétrica entre ambos (Rezende; Castro, 2016). Conforme o dicionário geológico-geomorfológico, o entalhamento dos vales é produto da erosão fluvial, responsável por escavar e modelar o relevo (Guerra; Guerra, 2011).

Para gerar o mapeamento do grau de entalhamento dos vales, foi feita a inversão dos valores altimétricos do MDE corrigido (*fill*), através de sua multiplicação na Calculadora Raster por (-1). Por meio desse comando, os topos de morros transformam-se em fundos de vale, assim como os fundos de vale tornam-se topos de morros. Logo após, foi feita a direção dos fluxos (*flow direction*) do *fill* invertido e a identificação de falsas depressões através do *sink*. O arquivo gerado pelo *sink* é em formato matricial, assim houve a necessidade de modificá-lo para vetorial, adicionar os valores das cotas máximas de altitude e rasterizá-los novamente.

Utilizando a ferramenta *basin* foram geradas as áreas referentes às superfícies de abrangência das cotas máximas, que em seguida foi interpolado ao *sink*. Essa interpolação foi realizada por meio das estatísticas zonais do QGIS e algumas áreas apresentaram ausência de valores, necessitando inseri-los manualmente. Adiante, por meio da Calculadora Raster foi feita a álgebra entre as superfícies de abrangência das cotas máximas e o MDE corrigido (*fill*), cujo produto final refere-se ao mapeamento do entalhamento dos vales.

A terceira etapa consistiu no mapeamento da dimensão interfluvial média que corresponde à distância métrica entre os divisores de água. Nessa etapa foi necessário fazer o fluxo de direção (*flow direction*) e de acumulação (*flow accumulation*) sobre o *fill* original, haja vista que a direção de fluxo feito anteriormente, refere-se ao *fill* invertido.

Posteriormente, foram geradas as microbacias em formato matricial, por meio da ferramenta *watershed* do QGIS, que logo em seguida foram convertidas para polígonos e linhas. A partir das linhas das microbacias fez-se a distância euclidiana média (*euclidian distance*) para calcular as distâncias mais longas e curtas das microbacias e por meio da função "*int*" da calculadora raster, transformou-as em valores inteiros. Em seguida, foram invertidos os valores da distância euclidiana média, transformando as maiores distâncias entre os interflúvios em menores, e vice-versa.

Após a geração do arquivo raster da distância euclidiana invertida, fez-se novamente o *flow direction* e o *sink*, destacando justamente as maiores distâncias. A fim de inserir informações correspondentes ao centro das bacias,

converteu-se o arquivo *sink* para formato vetorial, por meio da tabela de atributos realizou-se o cálculo do diâmetro interfluvial médio (DIM), interpolou-os aos polígonos das microbacias por meio da ferramenta estatísticas zonal, rasterizou-os considerando a coluna que corresponde ao DIM e reclassificou-os da seguinte maneira: <20 m (10); 20-40 m (20); 40-80 m (30); 80-160 m (40); >160 (50).

A quarta e última etapa foi o cálculo dissecação do relevo, que expressa a combinação entre o entalhamento dos vales (distância vertical) e a distância (horizontal) dos interflúvios (Figura 23). As áreas com vales profundos e distância interfluvial pequena, são indicativos de relevos dissecados, enquanto, vales rasos com dimensão interfluvial média a grande, a dissecação tende a ser considerada fraca ou moderada (Guimarães et al., 2017; Souza; Furrier, 2019).

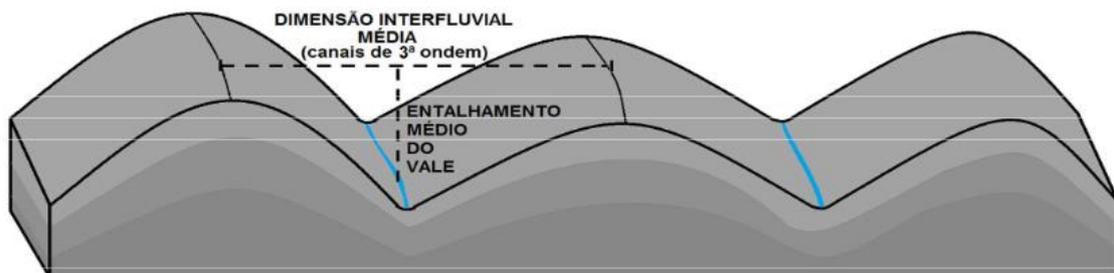


Figura 23: Associação entre o entalhamento do vale e a dimensão interfluvial média
Fonte: SOUZA; FURRIER, 2019.

Sendo assim, o cálculo do grau de dissecação do relevo foi feito a partir da adição na Calculadora Raster entre o entalhamento do vale (EV) e a dimensão interfluvial média (DIM) das duas bacias de estudo.

4.2.2.3 Equação Universal à Perda de Solos (USLE)

A Equação Universal à Perda de Solos ou *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (Wischmeier; Smith, 1978) é um modelo empírico de predição da perda média anual de solos de determinada área por meio da erosão hídrica, em que seu cálculo é feito a partir da álgebra entre elementos naturais e antrópicos (Equação 3).

(3)

$$A = R * K * LS * C * P$$

Onde:

A= Perda média anual de solo por unidade de área ($t\ ha^{-1}ano^{-1}$);

R= Fator erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$);

K= Fator erodibilidade dos solos ($t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$);

LS= Fator Topográfico (adimensional);

C= Uso e manejo do solo (adimensional);

P= Práticas conservacionistas (adimensional).

❖ *Fator Erosividade da Chuva (R)*

A erosividade (Fator R) está associada à capacidade das precipitações em provocar a erosão em áreas não-vegetadas (Oliveira et al., 2014). Essa capacidade depende da intensidade de sua ocorrência em um período aproximado de 30 minutos consecutivos (EI_{30}). Nesse caso, devido à dificuldade ou ausência de registros desses dados, o EI_{30} pode ser associado ao Índice de Fournier Modificado (MFI), em que os valores de erosividade são obtidos por meio das médias mensais e anuais das precipitações (Oliveira; Leite, 2018).

A determinação dos valores de erosividade de determinada área requer a obtenção de dados históricos de pluviosidade, no entanto, esses registros são de difícil acesso, insuficientes ou escassos (Mello et al., 2007; Viola et al., 2014). Na área de estudo, não há a presença de estações que forneçam um histórico da pluviosidade, nesse caso, a erosividade foi obtida a partir dos valores de precipitação das estações mais próximas.

Para efeito deste estudo, foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados históricos (1990-2020) de seis estações meteorológicas convencionais (83386, 83408, 83384, 83334, 83332 e 83286) localizadas nos estados de Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Bahia (BA) – (Tabela 2).

ESTAÇÕES	CÓDIGO	LATITUDE (Y)	LONGITUDE (X)
Januária (MG)	83386	15°26'54.6" S	44°22'00.2" W
Carinhanha (BA)	83408	14°18'01.6" S	43°46'13.5" W
Arinos (MG)	83384	15°54'01.6" S	46°06'37.5" W
Formoso (GO)	83334	14°57'01.6" S	46°14'25.5" W
Posse (GO)	83332	14°05'25.6" S	46°22'13.5" W
Correntina (BA)	83286	13°19'49.6" S	44°37'13.5" W

Tabela 2: Estações meteorológicas convencionais utilizadas para o cálculo da Erosividade
 Fonte: INMET, 2021. Elaboração: A autora, 2021.

Em função da ausência de dados de estações localizadas na área de estudo foi feito o Índice de Fournier Modificado (MFI) conforme sugerido por Mello et al., (2007), Oliveira; Leite (2018). Esse índice baseia-se nas médias de precipitação mensal e anual, em um período mínimo de 10 anos contínuos, aproximadamente. Nesse trabalho, foram utilizados registros pluviométricos dos últimos 30 anos (1990-2020) – (Equação 4).

(4)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p_a}$$

Onde:

MFI= é o coeficiente da chuva (mm);

P_i= é a precipitação média mensal (mm);

P_a= é a precipitação média anual (mm).

Em seguida, foi feito o cálculo da erosividade (fator R) conforme a equação proposta por Silva (2004), para o norte de Minas Gerais – (Equação 5).

(5)

$$R = 42,307. (MFI) + 69,763$$

Após a obtenção dos valores de erosividade para cada estação, foram espacializados os dados para a área de estudo, por meio do interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW) do *software* ArcGis, versão 10.5. E por fim, extraíram-se os valores de erosividade de cada bacia.

❖ *Fator Erodibilidade dos Solos (K)*

A erodibilidade refere-se à suscetibilidade à erosão dos solos devido ao impacto das chuvas. Essa suscetibilidade depende de suas características, tais como a permeabilidade, estrutura, localização, material de origem, dentre outros (Oliveira et al., 2014). Os dados de solos foram obtidos via o mapeamento pré-existente do RADAMBRASIL na escala de 1:1.000.000, apresentado na escala 1:250.000 e disponibilizado pelo Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA). A atribuição dos valores do fator K para cada tipo de solo da área de estudo foram extraídos da literatura, tendo como referência os trabalhos de Silva et al., (2009); Demarchi e Zimback (2014); Hernani et al., (2015).

❖ *Fator Topográfico (LS)*

O Fator Topográfico (LS) é produto do comprimento de rampa (L) pela declividade do terreno (S). Por meio deste fator é possível identificar as áreas em que o escoamento superficial possui maior velocidade, o que, conseqüentemente, interfere nas taxas de perdas de solos.

O fator LS foi calculado no *software* SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) de modo automático, por meio do método de Desmet e Govers (1996). Para que o LS fosse estimado, tornou-se necessário a geração do fluxo de direção, acumulação e declividade da área de cada bacia. O fator L é calculado conforme a Equação 6.

(6)

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]}$$

Onde:

$L_{i,j}$ = fator de comprimento de rampa de uma célula com coordenadas (i, j);

$A_{i,j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j);

D= tamanho da grade de células (m);

$x_{i,j}$ = valor da direção do fluxo;

m= coeficiente dependente da declividade.

Quanto ao fator S, este é determinado a partir da equação de Nearing (1997) – (Equação 7).

(7)

$$S = -1,5 + \frac{17}{(1 + e^{2,3-6,1 \cdot \sin \theta})}$$

❖ *Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)*

O uso e manejo do solo (fator C) referem-se à influência da cobertura vegetal nas perdas de solo. A presença de vegetação faz com que a água da chuva seja interceptada e atinja o solo com menor impacto, reduzindo o efeito *splash* e retardando o escoamento superficial, logo contribui na minimização do processo de erosão.

O fator C compreende valores que variam entre 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, significa que o solo está menos vulnerável à erosão, e, quanto mais próximo a 1, maior a sua vulnerabilidade. Para determinar o fator C foi feito o uso e cobertura da terra da área de estudo, com base nas imagens *WorldView-2* de 1,20 metros de resolução espacial. Logo após a identificação e delimitação dos usos, atribuiu-se os valores de C para cada classe conforme Stein et al., (1987); Galdino et al., (2003); Silva (2004) e Galdino (2012).

Sobre as práticas conservacionistas (fator P), estas se referem à adoção de medidas que minimizem o efeito da erosão hídrica em áreas cultivadas pelo homem. Essas medidas podem ser do tipo curvas de nível, em faixas, terraceamento, dentre outras (Oliveira; Leite, 2018). Sendo assim, o valor do fator P varia conforme o tipo de prática conservacionista adotada, e, como na área de estudo, não foi identificada a adoção de nenhuma dessas medidas, o fator P foi considerado como de valor 1.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Aspectos Morfométricos

A BHCC e a BHRB são consideradas de 4ª ordem conforme a metodologia apresentada por Strahler (1952), sendo que a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordem da BHCC, apresentam 95 (153,77 km), 24 (64,69 km), 5 (33,04 km) e 1 (43,26 km) canais fluviais, respectivamente. Na BHRB, foram identificados 145 canais de 1ª ordem (166,81 km), 40 de 2ª ordem (65,64 km), 5 de 3ª ordem (31,56 km) e 1 de 4ª ordem (53,33 km). O expressivo número de canais de 1ª ordem na BHRB, mesmo sendo uma bacia com extensão territorial menor, sinaliza que o relevo se encontra mais evoluído e dissecado do que na BHCC.

Os dados de densidade de drenagem (Dd) apontam que ambas as bacias possuem drenagem pobre. A Dd da BHRB ($0,65 \text{ km/km}^2$) é mais significativa que na BHCC ($0,41 \text{ km/km}^2$), o que assinala que o relevo desta bacia é mais dissecado e o escoamento das águas é mais eficiente devido ao maior número de canais. A menor Dd da BHCC indica relevo menos dissecado e maior tempo de residência das águas na bacia.

Por meio da estimativa de densidade de Kernel (Figura 24), visualiza-se que a BHRB possui maior densidade da rede de drenagem na média bacia, o que corresponde a uma menor ocorrência de áreas úmidas neste setor, justamente devido à maior dissecação do relevo. Os locais do relevo com baixa Dd , portanto com menor eficiência de drenagem, possuem maior potencial de ocorrência de áreas úmidas, como ocorre na BHCC e na alta BHRB.

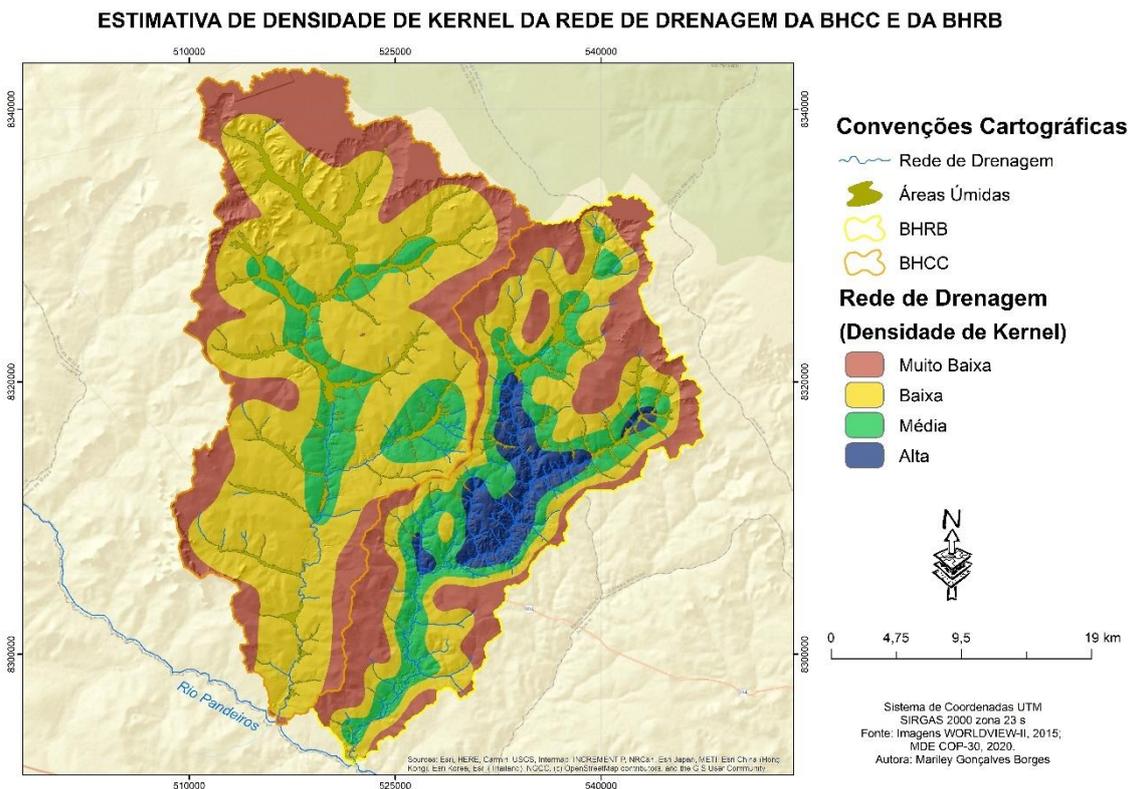


Figura 24: Estimativa de Densidade de Kernel da Rede de Drenagem da BHCC e da BHRB
Fonte MDE COP-30, 2020; Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2022.

O índice de sinuosidade (I_s) dos cursos principais aponta que o córrego Catolé (1,36) é considerado sinuoso, e, que, o riacho Borrachudo (1,56) encontra-se em transição de sinuoso para meandrante. Os rios que são considerados sinuosos tendem a apresentar valores de I_s entre 1,05 e 1,5, enquanto valores inferiores a 1,05 são retilíneos, e acima de 2 são do tipo meandrantés (Leopold; Wolman, 1957). Embora o I_s do Catolé indique maior velocidade do escoamento de suas águas, devido à menor distância entre a nascente e o exutório, outros parâmetros devem ser considerados, como a densidade de drenagem, a declividade e o número total de canais. Ou seja, somente por meio do I_s não é possível afirmar que o escoamento superficial da BHCC é maior.

Sobre o aspecto transitório do riacho Borrachudo, destaca-se a maior possibilidade de acúmulo de sedimentos ao longo do canal, formando barras laterais, ou então, retrabalhamento da planície de inundação, de forma que ocorre a migração de canais. Essa migração deixa registros na paisagem, tais

como os meandros abandonados, conforme pode ser visualizado em sua planície de inundação – (Figura 25).



Figura 25: Meandros abandonados na planície de inundação do riacho Borrachudo
Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2022.

Por meio do índice de circularidade (I_c) da área de estudo, constatou-se que ambas as bacias apresentam formato alongado, com baixa predisposição à ocorrência de picos de vazão, com I_c s de 0,30 (BHCC) e 0,37 (BHRB). Apesar dos baixos valores de I_c , a BHCC possui maior possibilidade, embora não significativa, à ocorrência de picos de vazão do que a BHRB, conforme os valores obtidos.

No entanto, os índices de rugosidade (I_r) demonstram justamente o contrário, pois as vertentes da BHRB (203,8) são mais íngremes do que na BHCC (120,5), o que favorece o rápido escoamento das águas e a maior suscetibilidade à ocorrência de maiores variações no regime fluvial e de atividades erosivas nas vertentes da BHRB. Portanto, o menor I_r apresentado pela BHCC, corrobora a indicação de maior tempo de residência das águas e o menor potencial de erosão.

A declividade média total dos canais da BHCC (5,18%) e da BHRB (5,77%) sinaliza que a drenagem dessas bacias está situada sobre relevos planos. No entanto, há trechos dos canais de 1ª ordem com 8% a 24% e de 4ª ordem entre 8% e 32,9% da BHRB, que quando se calcula o valor médio, acabam sendo mascarados. Se compararmos as duas bacias, a declividade dos canais indica que os relevos da BHRB possuem mais energia, logo a velocidade do escoamento de suas águas é maior do que na BHCC – (Tabela 3).

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	BHCC	BHRB
Área da bacia	712,17 km ²	483,17 km ²
Perímetro da bacia	166,04 km ²	141,56 km ²
Ordem hierárquica	4 ^a	4 ^a
Número total de canais	125	191
Número de canais 1 ^a ordem	95	145
Número de canais 2 ^a ordem	24	40
Número de canais 3 ^a ordem	5	5
Número de canais 4 ^a ordem	1	1
Comprimento total rede drenagem	294,76	317,34
Comprimento total canais 1 ^a ordem	153,77	166,81
Comprimento total canais 2 ^a ordem	64,69	65,64
Comprimento total canais 3 ^a ordem	33,04	31,56
Comprimento total canais 4 ^a ordem	43,26	53,33
Comprimento médio canais de 1 ^a ordem	1,62	1,15
Comprimento médio canais de 2 ^a ordem	2,70	1,64
Comprimento médio canais de 3 ^a ordem	6,61	6,31
Comprimento médio canais de 4 ^a ordem	43,26	53,33
Declividade média canais de 1 ^a ordem	5,23%	5,80%
Declividade média canais de 2 ^a ordem	5,22%	5,72%
Declividade média canais de 3 ^a ordem	5,26%	5,50%
Declividade média canais de 4 ^a ordem	5,44%	5,87%
Extensão do rio principal	59,69	67,57
Amplitude altimétrica das bacias	294,1	313,6
Índice de circularidade	0,32	0,30
Índice de sinuosidade	1,36	1,56
Índice de Rugosidade	120,5	203,8
Densidade de Drenagem	0,41 km/km ²	0,65 km/km ²

Tabela 3: Parâmetros morfométricos da BHCC e da BHRB

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Com base no Índice de Dissecação do Relevo (IDR) da área de estudo, constatou-se que ambas as bacias apresentam, em sua maioria, relevos com fraco grau de dissecação, característicos das paisagens associadas a superfícies de aplanamento, com predomínio de baixas declividades e à baixa densidade de drenagem em geral. O aspecto com maior dissecação ocorre principalmente na parte alta da BHCC, em áreas de encostas e escarpas que separam superfícies associadas a diferentes ciclos erosivos, apresentando desníveis altimétricos de até 160m.

Na parte alta bacia da BHRB, os relevos também apresentam áreas dissecadas, embora não sejam tão expressivas quanto na BHCC, devido à presença de vales pouco profundos (~47 metros). No médio curso dessa bacia, há a presença de relevos com forte e moderado grau de dissecção, associado à maior densidade de canais, com entalhamento dos vales entre 40 a 80 m (Figura 26). Em ambas as bacias, há o predomínio de fraco grau de entalhamento dos vales (entre 10 e 30 m), ou seja, os vales, em sua maioria, são rasos, e de pequena dimensão interfluvial (<500 m).

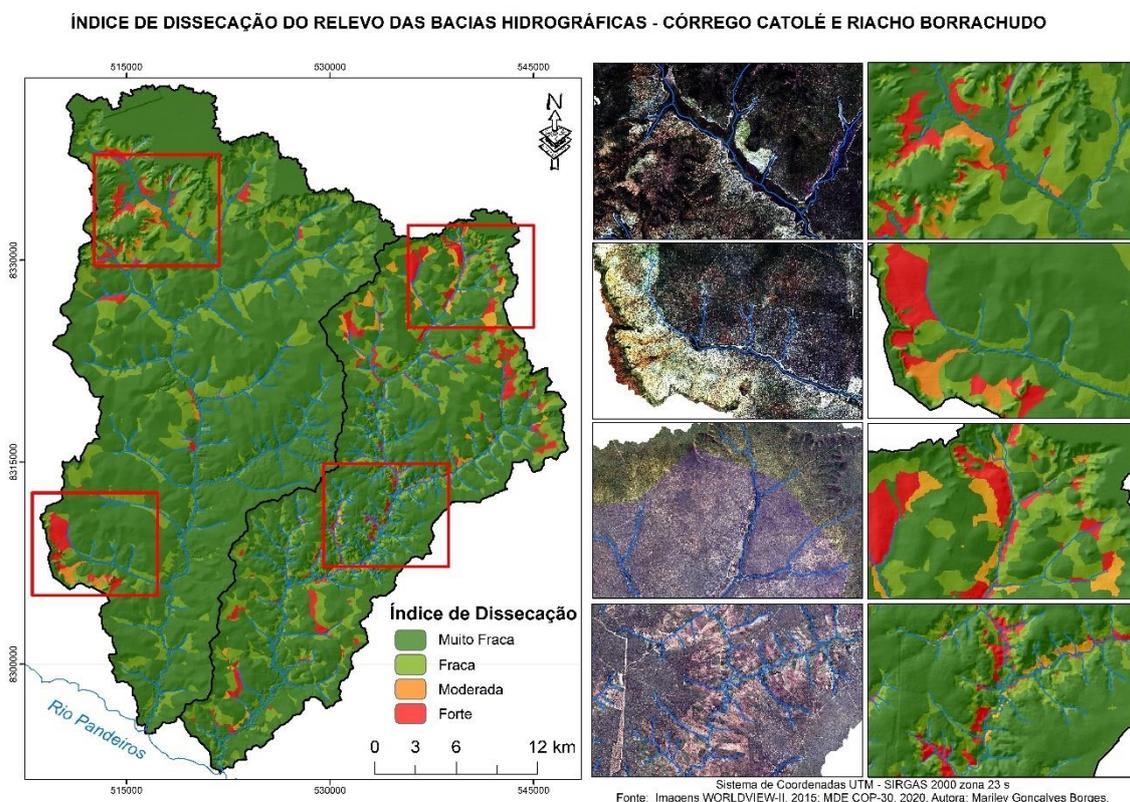


Figura 26: Índice de Dissecção do Relevo da BHCC e da BHRB
Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

A dissecção do relevo em função da maior densidade de drenagem na média BHRB ($Dd - 0,93$) faz com os canais ganhem maior energia, aumentando a velocidade de escoamento de suas águas e a maior capacidade erosiva. Consequentemente, a BHRB tende a apresentar maior produção de sólidos e maior turbidez, além de vazões menos regulares, devido ao escoamento superficial mais rápido. Há, inclusive, possibilidade de existência de canais

intermitentes, devido à menor capacidade de armazenamento de água nos solos e áreas úmidas.

A BHCC por sua vez, tende a apresentar baixa produção de sólidos por causa dos baixos gradientes do relevo, refletindo na redução do escoamento superficial devido à capacidade de infiltração e armazenamento das águas pluviais. Assim, durante o período seco consegue manter os regimes fluviais por meio do fornecimento gradual, contribuindo na regularização das vazões e na baixa atividade erosiva.

4.3.2 Suscetibilidade à Perda de Solos

Para a compreensão da suscetibilidade à perda de solos das bacias hidrográficas estudadas, analisou-se individualmente cada fator da USLE (erosividade, erodibilidade, topográfico, uso e manejo), para depois considerá-los de forma integrada.

❖ Erosividade da Chuva (Fator R)

A erosividade (fator R) total anual obtida na BHCC apresentou variação entre 6920 e 7152 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ e na BHRB entre 7005 e 7179 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores aproximam-se das estimativas realizadas por Mello et al., (2007) para o estado de Minas Gerais e se encaixam entre as variações brasileiras apresentadas por Silva (2004). Conforme a classificação de Foster et al., (1981) os valores encontrados são considerados como erosividade média a alta.

O zoneamento da erosividade para estas duas bacias indicam que as áreas de jusante (Figura 27) possuem maiores valores quando comparadas com as de montante, o que pode estar associado à maior proximidade do semiárido dessa última, refletindo nos valores de precipitação registrados pelas estações de Carinhanha (BA) e Correntina (BA).

Os valores de erosividade são mais elevados entre os meses de novembro e março, o que corresponde ao período chuvoso da região. O mês de dezembro possui destaque perante os demais, com valores médios de 196,9 mm

de precipitação acumulada e de aproximadamente $1540,8 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de erosividade.

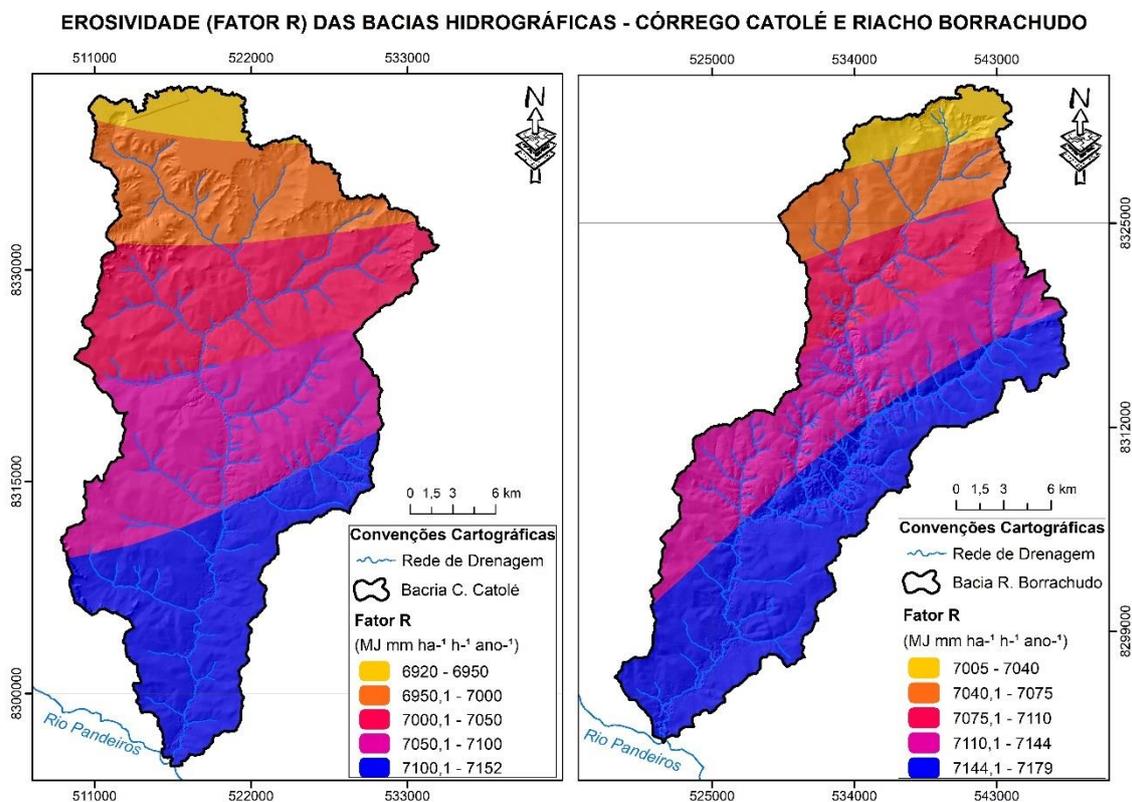


Figura 27: Fator Erosividade para as duas Bacias Estudadas
Fonte: INMET, 2021. Elaboração: A autora, 2021.

❖ Erodibilidade dos Solos (Fator K)

Na área de estudo foram identificados solos do tipo Neossolo Quartzarêncio Órtico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Cambissolo Háplico Alumínico, Cambissolo Háplico Ta Eutrófico, Gleissolo Melânico Alumínico (Tabela 4). Dentre esses solos, o que predomina nas duas bacias é Neossolo Quartzarêncio Órtico (65% - BHCC; 45% - BHRB), que inclusive possui o maior potencial de erodibilidade (0,04).

Os Gleissolos (0,02) e os Latossolos (0,03) são os solos com menor potencial de erodibilidade. Os Latossolos são solos profundos e intemperizados que se localizam em áreas de relevo plano ou levemente ondulado. Possuem maior estabilidade de seus agregados, o que faz esses solos serem mais

resistentes à erosão. Os Gleissolos também se localizam em áreas de baixo declive e são mal-drenados, o que resulta em baixo potencial de erosão.

TIPOS DE SOLOS	FATOR K	REFERÊNCIA
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,04	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Cambissolo Háplico Alumínico	0,03	SILVA et al. (2009)
Cambissolo Háplico Ta Eutrófico	0,03	SILVA et al. (2009)
Gleissolo Melânico Alumínico	0,02	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,03	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Amarelo Distrófico	0,03	DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
Latossolo Vermelho Distrófico	0,03	HERNANI et al. (2015)
Corpos d' água continental	0	-

Tabela 4: Fator K para as classes de solos presente na área de estudo
Org: A autora, 2021.

❖ Fator Topográfico – Comprimento e Grau do Declive (Fator LS)

O fator topográfico da BHCC apresentou valores com variabilidade espacial entre 0,03 e 21,56. Embora o LS tenha apresentado uma amplitude de 21,53, cerca de 94% da BHCC referem-se a valores inferiores a 1,38, uma vez que a bacia é constituída, em sua maioria, por declividades inferiores a 8%, ou seja, as suas superfícies são planas ou levemente onduladas. As áreas com valores acima de 1,38 correspondem a declividades superiores a 8%, que conforme a classificação da Embrapa, são relevos ondulados, montanhosos e escarpados. Estas áreas correspondem às encostas e escarpas do aplanamento situado na alta bacia, assim como em sua porção sudoeste.

A BHRB apresentou valores menores de LS quando comparada com a BHCC, com variação entre 0,03 e 8,53. A sua distribuição espacial (Figura 28) também possui compatibilidade com a declividade, em que as áreas mais planas (87%) possuem valores de LS entre 0,03 e 0,89 e as áreas mais dissecadas (13%) apresentam valores acima de 0,89. Esta bacia difere da anterior, por apresentar, além das encostas do aplanamento situado na parte de montante, valores de LS mais elevados em seu médio curso, associados ao aspecto mais dissecado do relevo nestas áreas.

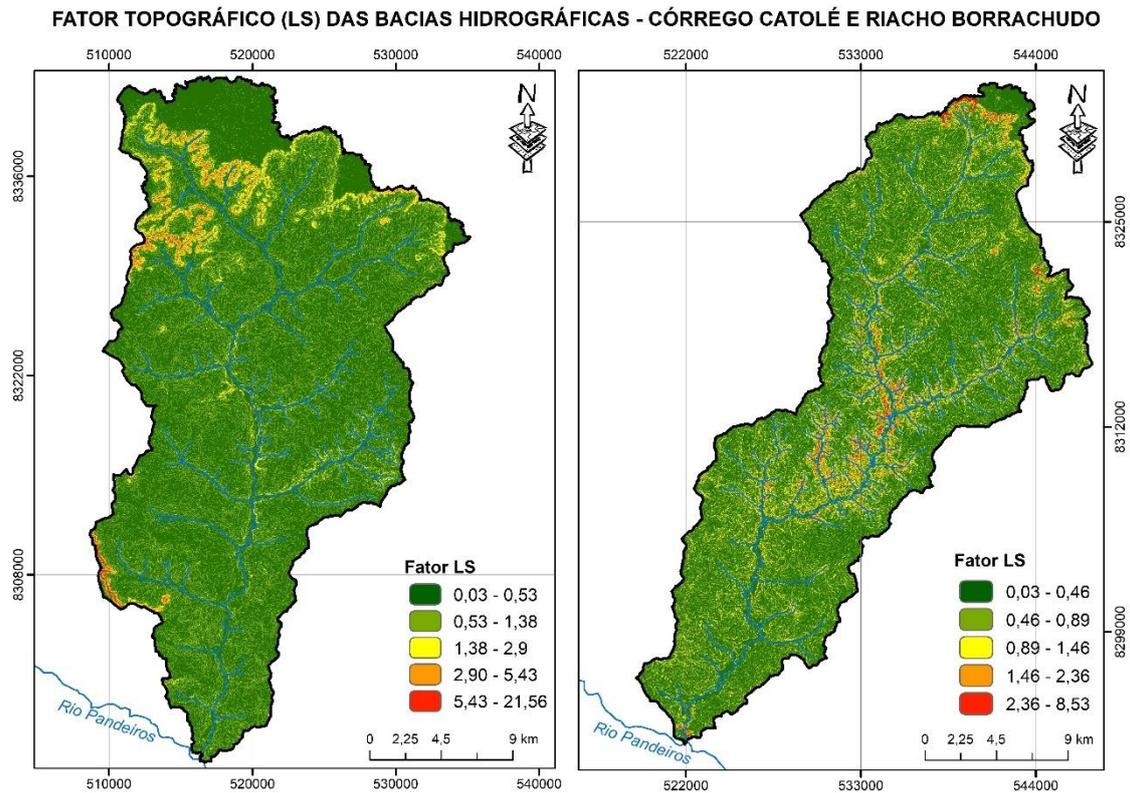


Figura 28: Fator Topográfico para as duas Bacias Estudadas
 Fonte: MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2021.

❖ Uso e Manejo do Solo (Fator C)

As áreas úmidas e a área urbanizada são as classes que possuem a menor suscetibilidade à erosão (0,001). Isto ocorre em função das suas características, como a alta capacidade de armazenamento nas áreas úmidas e a impermeabilização dos solos na área urbana. Os sistemas úmidos possuem maior representatividade espacial na BHCC (5,8%) do que na BHRB (3,1%), devido à maioria de suas nascentes serem compostas por veredas.

As áreas cobertas por vegetação natural, como o cerrado *stricto sensu*, mata ciliar e mata seca possuem baixos valores do fator C (0,129, 0,034 e 0,034, respectivamente), e compreendem aproximadamente 85,2% da BHCC e 83,6% da BHRB. Essas fitofisionomias protegem o solo contra o efeito *splash* através da interceptação da água da chuva, retardando o escoamento superficial das águas e promovendo maior infiltração, o que reduz a suscetibilidade dos solos à erosão hídrica.

Os valores mais altos do fator C estão associados às classes de usos antrópicos que oferecem mínima ou nenhuma proteção ao solo, como a

agricultura (0,180), a pastagem (0,0143) e o solo exposto (1). Estes usos permitem que as gotas de chuva atinjam o solo com maior força e velocidade, o que favorece o desprendimento e transporte de suas partículas. Na área de estudo, estes altos valores de C representam cerca de 9% da BHCC e 13,3% da BHRB – (Tabela 5).

CLASSES DE USO DO SOLO	CATOLÉ (Área em %)	BORRACHUDO (Área em %)	FATOR C	REFERÊNCIA
Cerrado <i>stricto sensu</i>	84,4%	80,4%	0,129	Galdino et al., 2003
Mata Ciliar	0,9%	1,2%	0,034	Galdino et al., 2003
Mata Seca	0%	1,9%	0,034	Galdino et al., 2003
Áreas Úmidas	5,8%	2,9%	0,001	Silva, 2004
Pastagem	3,1%	6,1%	0,0143	Galdino, 2012
Agricultura	0,2%	0,2%	0,180	Silva, 2004
Área Urbanizada	0%	0,2%	0,001	Silva, 2004
Solo Exposto	5,7%	6,9%	1,0	Stein et al., 1987

Tabela 5: Fator C para as classes de uso do solo da área de estudos
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2021.

❖ Estimativa de Perda de Solos por Erosão Hídrica

A BHCC e a BHRB apresentam, em sua maioria, baixo potencial de perda de solos (< 10 ton. ha⁻¹. ano⁻¹.), em função do predomínio de áreas com baixas declividades e da alta cobertura de vegetação nativa. Aproximadamente 81,8% da BHCC e 69,7% da BHRB possuem potencial de perda de solos inferior a 5 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. As áreas com maior potencial compreendem áreas de encostas que possuem maior declive, como nos seguintes trechos: a) média BHRB, devido à maior dissecação do relevo pela densidade de drenagem; b) setor de montante das duas bacias, em função da presença de uma superfície de aplanamento ainda conservada, com altitudes acima de 760 metros; c) porção sudoeste da BHCC, em que há a ocorrência de um pequeno platô com diferença altimétrica entre o topo e o fundo do vale, semelhante àquelas identificadas na montante das bacias.

Devido às generalizações cartográficas, as estimativas de perda de solos geradas com a USLE são apenas qualitativas, cujo intuito é visualizar as áreas com maior suscetibilidade à erosão hídrica. A BHCC apresenta áreas com maior

potencial à perda de solos do que a BHRB, com trechos que ultrapassam 50 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. (Figura 29).

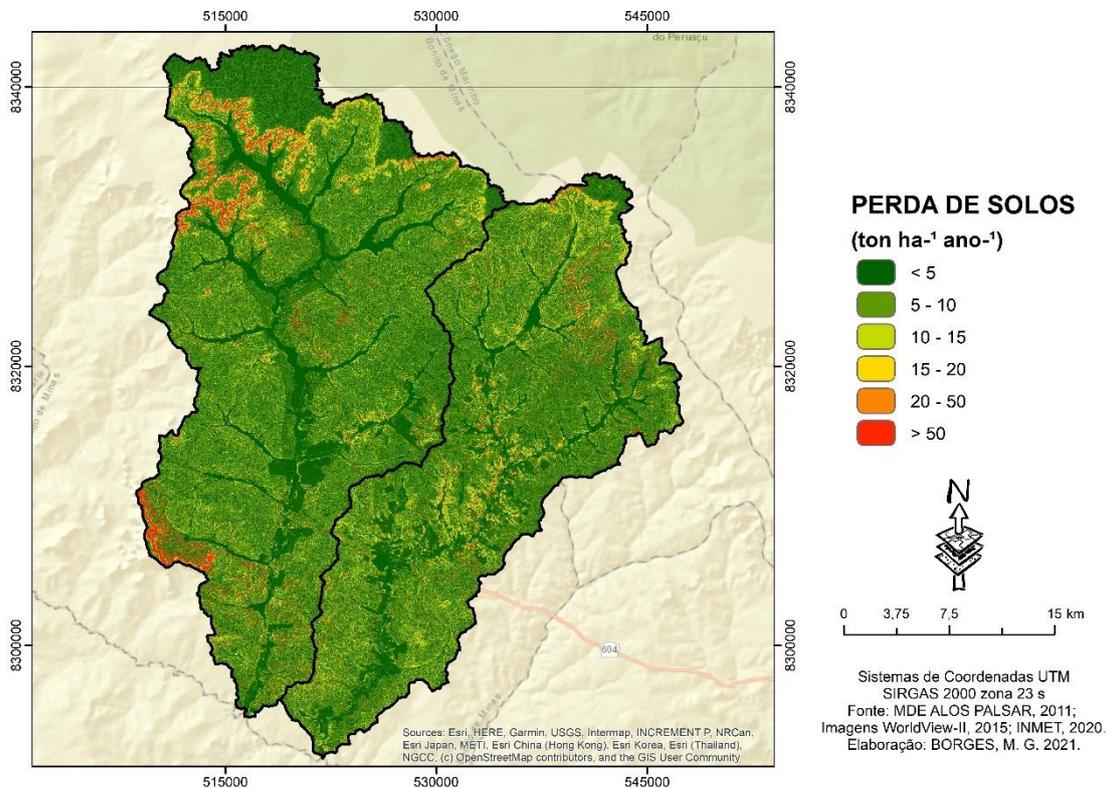


Figura 29: Suscetibilidade à Perda de Solos por Erosão Hídrica na BHCC e BHRB
Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; INMET, 2020; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2021.

Apesar do mapeamento realizado com a USLE apontar que a BHCC possui maior potencial à perda de solos, as áreas classificadas como de maior suscetibilidade à perda de solos na BHCC são de localização bastante específica e restrita, situando-se principalmente das áreas escarpadas da transição entre superfícies de aplanamento (Sul-Americana para a Sul-Americana I). O restante da bacia apresenta potenciais bastante baixos. Os valores elevados de potencial de perda de solo resultaram essencialmente da influência do fator LS (comprimento e declividade da vertente). A sensibilidade da USLE ao fator LS também pode ser visualizada em outros trabalhos, tais como o de Rosa; Cherem e Siame (2022). Essas áreas situam-se principalmente na zona de cabeceiras e altos cursos da rede hidrográfica, geralmente a montante das áreas úmidas e, portanto, seu potencial mais elevado de perda de solos não se traduz necessariamente em uma perda importante de solos no contexto da bacia. Na

BHRB, por sua vez, não há concentração significativa das áreas com altos potenciais de perda de solo. Observa-se que, excluindo-se as áreas de altos potenciais de perda de solo na BHCC, a BHRB apresenta potenciais mais elevados, em seu conjunto - valores médios de 15,79 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. na BHCC e 37,38 ton. ha⁻¹. ano⁻¹. na BHRB.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização morfométrica permitiu a realização de interpretações acerca dos regimes fluviais, a partir das características da drenagem e do relevo. A obtenção desses parâmetros por meio dos SIGs possibilitou a representação das bacias, embora tenha apresentado canais omissos, principalmente em áreas da média BHRB.

Com base na morfometria, a BHCC e a BHRB possuem característica alongada, com baixa suscetibilidade à ocorrência de grandes variações de vazão ou cheias em períodos chuvosos. Essas bacias apresentam ambientes mal-drenados, como por exemplo as áreas úmidas do tipo vereda e as planícies de inundação, o que contribui para regular o regime dos canais. Estas áreas úmidas estão menos presentes na BHRB, sobretudo em seu médio curso.

Conforme o índice de sinuosidade dos rios principais, o córrego Catolé apresentou maior possibilidade de o seu escoamento superficial ser mais rápido do que o riacho Borrachudo. No entanto, o índice de rugosidade, a densidade de drenagem e a declividade média demonstraram o oposto, isto é, a BHRB possui vertentes mais íngremes, que facilitam o escoamento. Esse fato pode também ser comprovado pelo índice de dissecação do relevo: pois embora haja o predomínio de relevos planos ou levemente ondulados, há trechos do alto curso das duas bacias e do médio curso da BHRB, com relevos moderadamente dissecados.

Grande parte das duas bacias compreende baixas declividades e alta cobertura de vegetação natural, resultando em baixo potencial erosivo. As áreas de maiores suscetibilidade são na média BHRB, na parte de montante das duas bacias e na porção sudoeste da BHCC. A BHCC e a BHRB apresentam seus

relevos em diferentes estágios evolutivos, o que reflete na suscetibilidade à perda de solos. A maior densidade de drenagem e maior índice de dissecação na BHRB indica que seu relevo se encontra mais rejuvenescido do que o relevo da BHCC.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação morfométrica da bacia do rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, v.15, n.4, 2016.

AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA FILHO, E. E. de. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.10, n.1, 2009.

BORGES, M. G.; RODRIGUES, H. L. A.; LEITE, M. R.; LEITE, M. E. Ocorrência de espécies com potencial de exploração econômica no Norte de Minas Gerais. **Ra'e Ga: O espaço Geográfico em Análise**, Paraná - PR, v. 48, 2020.

CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C. de.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. de. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, 2012.

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. **Scientia Plena**. v.5, 2009.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. de. C.; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 2, 2010.

CHEREM, L. F. S.; FARIA, S. D.; ZANCOPÉ, M. H. de. C.; SORDI, M. V. de.; NUNES, E. D.; ROSA, L. E. Análise Morfométrica em Bacias Hidrográficas. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de. P. (ORGs). **Hidrogeomorfologia: Formas, Processos e Registros Sedimentares Fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1ª ed. 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; PINTO, S. dos A. F. Estimativa da Erodibilidade e Tolerância de Perdas de Solo na Região do Centro Leste Paulista. **Geociências**, v. 34, n. 4, p. 848-860, 2015.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, v.29, n.2, 2014.

DESMET, P. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soilloss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v.36, p.355-359, 1981.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari-MS/MT**. Campinas: UNICAMP, 2012. (Tese, doutorado em Engenharia Agrícola).

GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; POTT, A.; MELO, E. C.; JÚNIOR, N. de A. **Perdas de Solo na Bacia do Alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do Índice de Dissecação do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 155-167, 2017.

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

LEITE, M. E.; ROCHA, A. M. Sistema de informações geográficas (SIG) aplicado ao cálculo de índices morfométricos em bacia hidrográfica. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro, n.28, 2016.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. **River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight**. Washington: US Government Printing Office, 1957. 50p. (Geological Survey Professional Paper, n.282-B).

MAGALHÃES FILHO, R. **Sensoriamento remoto na análise de evolução do uso e cobertura do solo e impacto ecológico em veredas em Unidades de Conservação – APAs rio Pandeiros, Cochá / Gibão e Parque Estadual Veredas do Peruaçu**. Montes Claros - MG: Universidade Estadual de Montes Claros, 2020, 84p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

MELLO, C. R. de.; SÁ, M. A. C. de.; CURI, N.; MELLO, J. M. de.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. da. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MELO, R. D. **Evolução das veredas sob aspectos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/MG**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 341p. (Tese, doutorado em Geografia).

NEARING, M. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 3, p. 917–919, 1997.

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. Montes Claros - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 58p. (Dissertação, mestrado em Ciências Agrárias).

NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. M.; SOUZA, R. A.; FERNANDES, G. W. Pandeiros: O Pantanal Mineiro. **MG Biota**, Belo Horizonte, v.2, n. 2, 2009.

OLIVEIRA, V. A. de.; MELLO, C. R. de.; DURÃES, M. F.; SILVA, A. M. da. Soil Erosion Vulnerability in the Verde River Basin, Southern Minas Gerais. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.38, n. 3, p.262-269, 2014.

OLIVEIRA, W. F.; LEITE, M. E. Perda de Solo por Erosão Hídrica em Bacia Hidrográfica: O Caso da Área de Drenagem da Barragem do Rio Juramento, no Norte do Estado de Minas Gerais. **Revista Caminhos de Geografia**, v.19, n.67, 2018.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia: Base para Distinção de Ambientes**. Lavras - MG: Editora UFLA, 6. ed, 2014.

REZENDE, E. A.; CASTRO, P. de. T. A. Variação espacial e condicionantes do entalhamento fluvial na bacia do Rio Grande, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.17, n.4, 2016.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **TERRAE**, v. 10, 2013.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P. de.; MENEZES NETO, E. L.; AGUIAR NETTO, A. de. O. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, 2014.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. P. dos. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, 2018.

ROSA, L. E.; CHEREM, L. F. S.; SIAME, L. The role of natural and anthropic factors in the variability of soil loss in the state of Goiás between 1985 and 2018. **Sociedade & Natureza**, v. 35, n. 1, 2022.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251–259, 2004.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 147-159, 2004.

SOUZA, A. dos. S.; FURRIER, M. Técnicas de mapeamento geomorfológico aplicadas em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v.20, n.1, 2019.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZA, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe - Paranapanema. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Marília, São Paulo: Anais, ABGE/DAEE, p. 105-135, 1987.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v.38, p.912-920, 1957.

TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (ORGs). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006.

VALLE JÚNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. São Paulo: UNESP, 2008, 233p. (Tese, doutorado em Ciências Agrárias e Veterinárias).

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.2, p.125-135, 2014.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predictin grainfall erosion losses: a guide to conservation planing**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

CAPÍTULO II – SUPERFÍCIES DE ÁREAS ÚMIDAS EM RELEVO DE CHAPADAS: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi estabelecer uma relação entre a ocorrência das superfícies de áreas úmidas com a evolução do relevo de chapadas, em duas bacias hidrográficas do norte de Minas Gerais. Justifica-se pela importância que as chapadas e as áreas úmidas possuem na região de estudo, pois são áreas de recarga que mantêm os regimes dos rios durante todo o ano, além de influenciar na quantidade e qualidade das águas disponíveis. A metodologia empregada consistiu na análise dos perfis longitudinais, identificação de rupturas de declive (*knickpoints*) ao longo de toda a rede de drenagem, geração do índice topográfico de umidade (TWI) e o mapeamento dos tipos de áreas úmidas na área de estudos. Ao comparar as duas bacias, constatou-se maior número de *knickpoints* na bacia do córrego Catolé, principalmente em tributários de 1ª e 2ª ordem da alta/média bacia, associados a transição entre a S. Sul Americana/S. Sul Americana-I e a soleiras estruturais. O perfil longitudinal do Borrachudo possui maior desnível altimétrico, embora aparente se aproximar mais do perfil considerado “em equilíbrio”. Em função dessas características e devido à presença de relevos de maior gradiente, essa bacia apresentou, maiores áreas com baixo potencial de umidade e menor quantidade de áreas úmidas. Por sua vez, na bacia do córrego Catolé, a maioria das nascentes são compostas por áreas úmidas, e estas se estendem por grande parte da bacia, ao longo da rede de drenagem, em função de apresentarem características propícias à sua ocorrência, como o relevo aproximadamente plano e baixas declividades. Conseqüentemente, há também, maior propensão ao acúmulo de água na bacia.

Palavras-chave: Evolução da Paisagem. Incisão fluvial. Erosão. Veredas.

4.5 INTRODUÇÃO

Em áreas do Cerrado são comuns geoformas do tipo Chapadas, em que os relevos são caracterizados por serem aproximadamente elevados e planos, compostos por baixas declividades e formações superficiais profundas, em sua maior parte. Em geral, podem possuir grandes extensões espaciais, ou então, compreender um conjunto de fragmentos (mesas) de menores dimensões (Martins; Salgado, 2021).

Na literatura, a morfogênese das chapadas pode ser considerada poligenética (Salgado, 2007). A ocorrência e a interação de processos verticais e horizontais, como a incisão dos vales fluviais e o recuo lateral das escarpas (Martins; Salgado, 2021), parecem explicar a formação dessas geoformas, principalmente aquelas situadas na bacia do rio São Francisco. A partir do estabelecimento da rede de drenagem, os vales tendem a ter seus leitos escavados até atingir o nível de base. A formação de vales estreitos e profundos indica forte entalhamento, enquanto, vales largos e rasos refere-se a vales com fraco grau de entalhe (Magalhães Júnior; Barros; Lavarini, 2020).

Ao atingir o nível de base, a erosão lateral passa a prevalecer, promovendo o alargamento dos vales e o recuo das escarpas, individualizando as chapadas (Duszyński; Migoń; Strzelecki, 2019). No entanto, as chapadas são ambientes dinâmicos e, com o tempo, tendem a evoluir para relevos dissecados, devido ao seu desmantelamento por processos erosivos, intempéricos e gravitacionais. Quando cobertas por vegetação natural conservada e compostas por bordas capeadas por lateritos, as chapadas conseguem resistir a esses processos geomorfológicos, ocorrendo na paisagem em forma de remanescentes.

Remanescentes ainda preservados de grandes superfícies aplanadas podem ser encontradas no norte de Minas Gerais, em áreas do médio São Francisco, na qual as áreas deste estudo – bacias hidrográficas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo -, se encontram inseridas. Embora adjacentes, os relevos dessas duas bacias não parecem estar no mesmo estágio de evolução, o que ratifica a ideia de que “[...] um mesmo processo atuando em geoformas

semelhantes, graças a pequenas diversidades nos materiais, pode dar gênese a paisagens díspares” (Martins; Salgado, 2021, p. 241).

A presença de feições geomórficas como as áreas úmidas sobre os relevos de chapadas são um bom indicador de evolução dessas paisagens, pois sua ocorrência está associada com baixos gradientes, que possibilitam a presença de hidromorfismo temporário ou permanente ao longo de vales rasos. Logo, a extensão territorial e a distribuição espacial dessas feições na paisagem permitem inferir sobre o estágio evolutivo em que as bacias se encontram, pois elas acompanham a evolução do relevo de chapadas, especialmente as áreas úmidas do tipo veredas.

O processo natural de evolução das veredas envolve a formação de vales hidromórficos por processos predominantemente geoquímicos seguida por incisão fluvial e erosão remontante (Lima; Queiroz Neto, 1996; Melo, 1992; 2008), que alteram seu funcionamento hidrológico, com reflexos nas características dos seus solos e de sua cobertura vegetal. Comumente são encontrados apenas relictos destes ambientes, como paleossolos hidromórficos que persistem, suspensos, ao longo das vertentes. Como consequência, os vales suaves e amplos tornam-se encaixados, o fluxo d’água passa a receber maior energia, o potencial erosivo aumenta consideravelmente e a vegetação se adapta a essas novas condições.

A presença de rupturas de declive ao longo do curso principal e de seus tributários, declividades elevadas em determinados trechos, alta densidade de drenagem e ocorrência de voçorocas por exemplo, podem ser considerados indicativos de que a paisagem se encontra em processo de transformação. Portanto, a identificação de certos mecanismos e sua associação com as áreas úmidas, podem contribuir na compreensão da evolução das paisagens em áreas de relevo de chapadas. Nesse sentido, o objetivo deste capítulo foi estabelecer uma relação entre a ocorrência das superfícies de áreas úmidas com a evolução do relevo de chapadas, em duas bacias hidrográficas do norte de Minas Gerais. Este trabalho é justificado pela importância que as chapadas e as áreas úmidas possuem na região de estudo e para o Cerrado em geral, pois são áreas de

recarga que mantêm os regimes dos rios durante todo o ano, além de influenciar na quantidade e qualidade das águas disponíveis.

4.6 MATERIAIS E MÉTODOS

4.6.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudos se refere às bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB), situadas sobre as Chapadas do Rio São Francisco, no norte de Minas Gerais – Figura 30. Essas bacias são afluentes da margem direita do rio Pandeiros e possuem relevos associados às Superfícies Sul-Americana e Sul-Americana I de Valadão (2009).

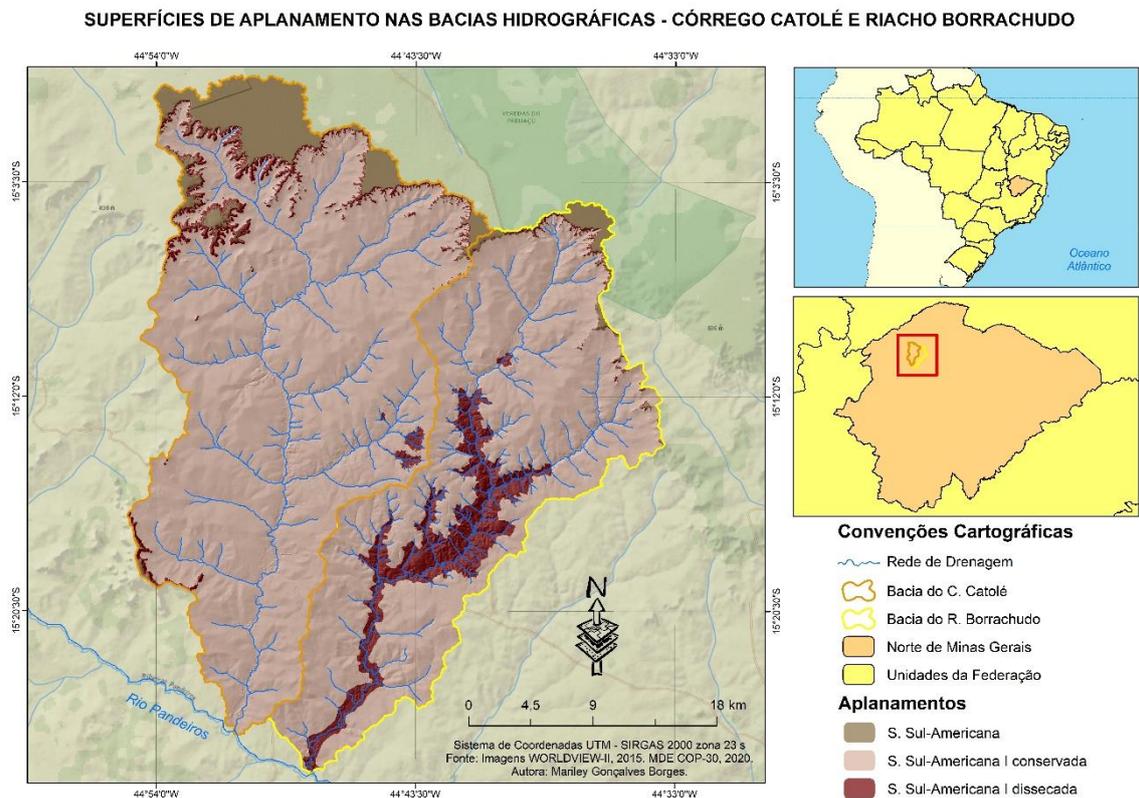


Figura 30: Localização da área de estudos e suas Superfícies de Aplanamento
Elaboração: A autora, 2022.

As bacias são compostas por relevos na forma de anfiteatros nos altos-cursos, em que há a transição de áreas tabulares elevadas (altitude acima de 770 m) e planas (declividade abaixo de 3%) para relevos de cotas altimétricas mais baixas e de maior gradiente.

Os arenitos do Grupo Urucuia são dominantes na BHCC e na BHRB. Contudo, há a ocorrência de gnaisses, granitoides associados e calcários em fundos de vale, principalmente da BHRB. Os vales são considerados, em sua maioria, amplos e suaves. A exceção consiste em alguns trechos da alta, média e baixa bacia que são compostas por altas declividades e maior dissecação. Em geral, a drenagem é do tipo dendrítica e os cursos principais possuem direção preferencial N-S.

4.6.2 Procedimentos Operacionais

4.6.2.1 Identificação de *Knickpoints*

A fim de atingir o objetivo proposto, realizou-se inicialmente a delimitação automática das rupturas de declive (*knickpoint*) presentes nas duas bacias estudadas, por meio da ferramenta *knickpoint Finder*, acoplada ao software ArcGIS 10.8. Essa ferramenta se baseia no cálculo da Relação Declividade-Extensão (RDE) proposto por Etchebehere (2006) que é derivado do índice *Stream Length-Gradient* (LS) de Hack (1973). O cálculo é feito com base na razão altimétrica entre as duas extremidades de um segmento ao longo de um rio (Δh) e a extensão horizontal do trecho (Δl), multiplicado pela distância entre a extremidade inferior desse trecho até a nascente do rio (L) – Figura 31.

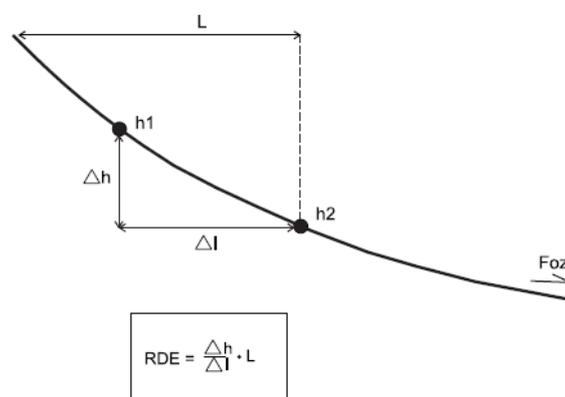


Figura 31: Cálculo da Relação Declividade-Extensão (RDE) proposto por Etchebehere (2000).
Fonte: Etchebehere, 2000.

Para a identificação dos *knickpoints* através da ferramenta *knickpoint Finder*, tornou-se necessária a utilização do MDE da área de estudo (COP-30) projetado no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). Posteriormente, os dados gerados foram conferidos em ambiente SIG a partir da confecção de perfis (*profile Graph*) dos segmentos destacados. Em seguida, gerou-se o mapa de densidade dos *knickpoints* por meio do estimador *Kernel Density*, através da caixa de ferramentas do ArcGis.

Posteriormente, foram gerados os perfis longitudinais dos rios principais - córrego Catolé e riacho Borrachudo, por meio do *software* ArcGis. Logo após, os perfis foram exportados para o formato do Excel para retirar o aspecto visual de rugosidade.

4.6.2.2 Índice Topográfico de Umidade

Gerou-se o TWI (*Topographic Wetness Index*) das duas bacias, que se refere ao índice topográfico de umidade. Esse índice foi produzido por Beven e Kirkby (1979) e baseia-se na possibilidade de cada célula da imagem (pixel) em acumular água, com base na área de contribuição e declividade, principalmente. Assim, a tendência é que os maiores valores de TWI estejam associados com maiores áreas de contribuição e com as baixas declividades, enquanto os baixos valores estão relacionados com as áreas de menor drenagem e maior gradiente (Mattivi et al., 2019). O TWI foi derivado do MDE COP-30 e calculado por meio de ferramentas do SAGA GIS e do ArcGis. Para tanto, foi necessário o preenchimento de depressões espúrias, geração da área de contribuição, declividade e álgebra de mapas.

4.6.2.3 Mapeamento das áreas Úmidas

As áreas úmidas foram identificadas por meio da interpretação visual de imagens e delimitadas a partir do processo manual de vetorização. Para tanto, usaram-se as imagens do espectro visível do satélite *WorldView-II* (2015) de 1,20 m de resolução espacial, concedidas gratuitamente pelo Laboratório de

Geoprocessamento da Unimontes. O *WorldView-II* é um satélite comercial de alta resolução lançado em 2009 na Califórnia (EUA), pela empresa DigitalGlobe. Esse satélite é considerado o primeiro de alto nível tecnológico, em função de abranger 8 bandas multiespectrais (vermelho, verde, azul, Infravermelho Próximo, Infravermelho-2, *Coastal*, Amarelo e *Red Edge*).

Com base na fotointerpretação das imagens de satélite, as áreas úmidas apresentaram as seguintes características: a presença de estratos herbáceos e arbóreo-arbustivos, estrutura linear, localização próxima aos cursos d'água, solos úmidos, presença de solo arenoso esbranquiçado em seu envoltório e relevo aproximadamente plano. A exceção são os relictos de hidromorfia, que possuem como principal característica a presença de solos arenosos secos, em sua maior parte.

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.7.1 Rupturas de Declive (*Knickpoints*)

Por meio do cálculo da Relação Declividade/Extensão (RDE) proposto por Etchebehere (2006) identificaram-se 6 *knickpoints* na BHCC e 4 na BHRB. A localização dessas rupturas de declive é mais representativa na bacia do médio Catolé (afluentes da margem direita) e na bacia do baixo Borrachudo (densidade alta) - Figura 32. Considerando a hierarquia fluvial, há 2 (BHCC) e 1 (BHRB) *knickpoints* nos canais de 1ª ordem, 2 (BHCC e BHRB) *knickpoints* nos canais de 2ª ordem, 1 (BHCC) *knickpoints* nos canais de 3ª ordem e 1 (BHCC e BHRB) *knickpoints* nos canais de 4ª ordem (cursos principais).

RUPTURAS DE DECLIVE (KNICKPOINTS) NA REDE DE DRENAGEM DA BHCC E DA BHRB

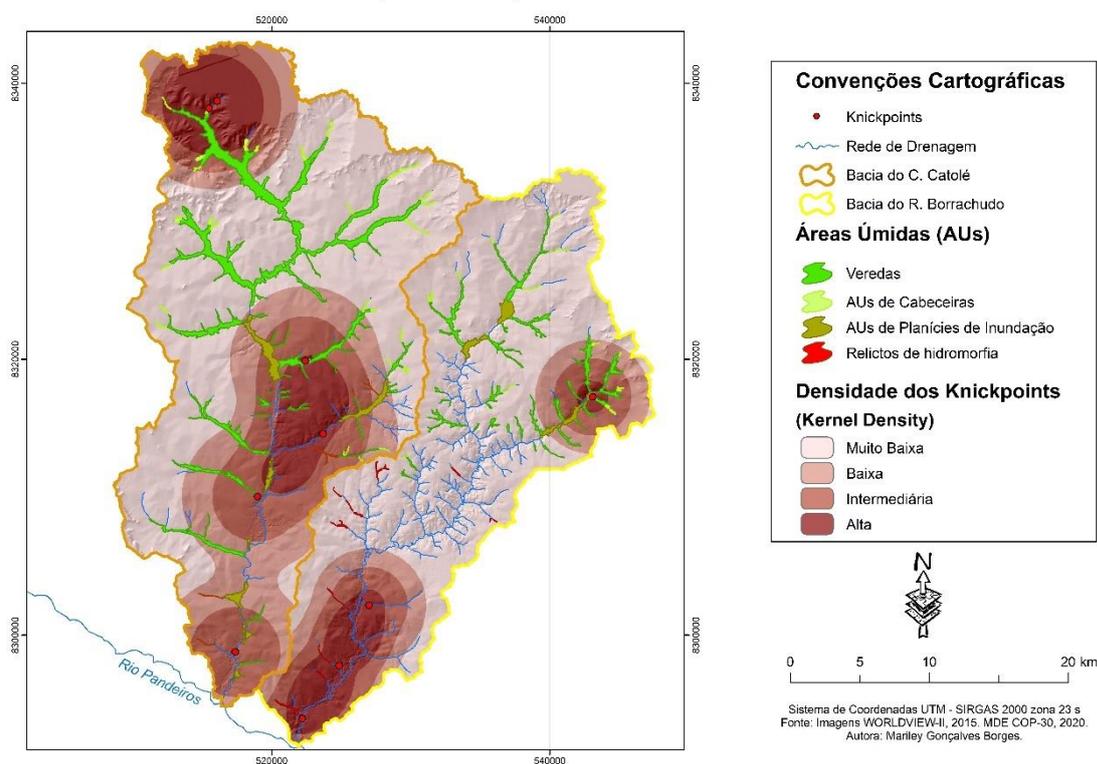


Figura 32: Rupturas de Declive na Rede de Drenagem da BHCC e da BHRB
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

Na BHCC e na BHRB, pode-se dizer que há dois tipos de *knickpoints*, aqueles que ocorrem próximos das nascentes e estão associados com a transição entre os remanescentes da S. Sul-Americana (altitudes mais elevadas) e o fundo do vale, e demais *knickpoints* associados à presença de soleiras litológicas e/ou a eventos de rebaixamento do nível de base/epirogênese positiva. A presença de rupturas de declive no curso principal e em seus tributários, principalmente na baixa e média bacia, podem ser indicativos da progressão de ondas erosivas no sentido remontante.

A presença de contatos litológicos (Complexo Januária/Formação Sete Lagoas) na bacia do médio Borrachudo também é um fator a ser considerado na geração dos *knickpoints*, pois contribui para a erosão diferencial do relevo. Nesse caso, trata-se de *knickpoints* associados a soleiras litológicas e que não devem apresentar mobilidade significativa no sentido remontante.

4.7.2 Perfis Longitudinais

O perfil longitudinal do canal principal das bacias em análise demonstra que as nascentes do córrego Catolé e do riacho Borrachudo apresentam desnível altimétrico de 25 metros, aproximadamente. Ambos nascem em áreas aplanadas conservadas (790-819 m), com desembocaduras próximas aos 510 metros (superfície Sul-Americana I).

O riacho Borrachudo possui maior gradiente altimétrico, pois nasce em área de cota altimétrica mais elevada que o córrego Catolé, no entanto, sua foz compreende altitude mais baixa (~510 m), apresentando desnível topográfico em torno de 309 m. Quanto ao córrego Catolé, sua foz é em torno de 540 m e o seu perfil longitudinal apresenta um desnível de ~250 m. Nesse caso, pode-se dizer que o riacho Borrachudo possui maior energia em função da maior declividade, favorecendo o escoamento mais rápido das águas no período chuvoso, e, conseqüentemente, apresenta maior potencial à remoção e transporte de matéria, ou seja, à erosão. A maior diferença no gradiente altimétrico ocorre na alta bacia, em até 23 km de extensão do canal principal (Figura 33).

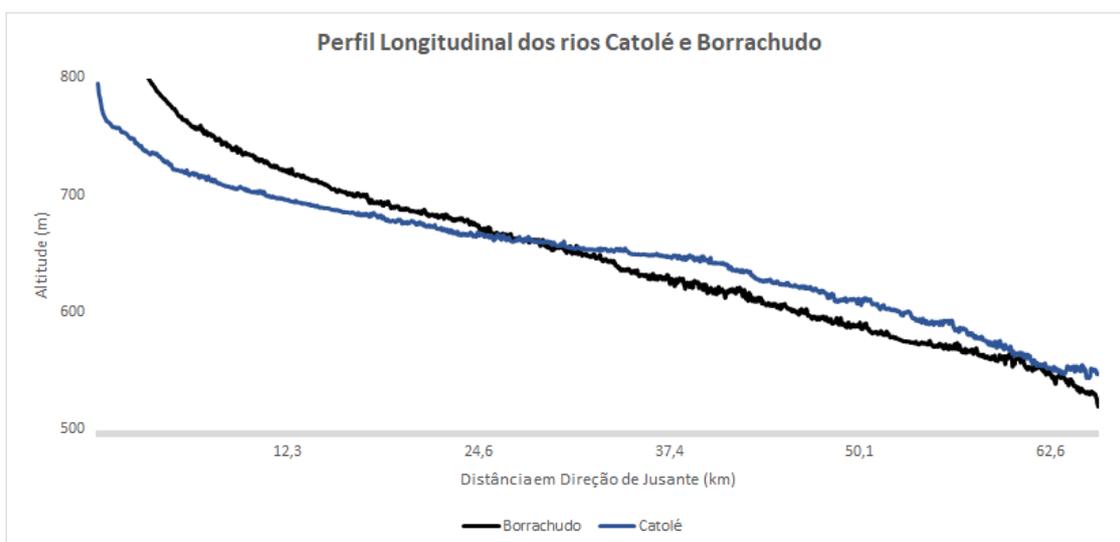


Figura 33: Perfil longitudinal do Córrego Catolé e do Riacho Borrachudo
Fonte: MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

A alta bacia abrange cerca de 22 a 23 km de extensão do curso principal, considerando desde as nascentes dos rios, e compreende cerca de 265,6 km² da BHCC e 180,4km² da BHRB. Nessa parte da bacia, o córrego Catolé apresenta padrão de canal predominantemente meandrante. A bacia do médio

Catolé e do médio riacho Borrachudo compreende, respectivamente, áreas de 273,4 km² e 203,6 km², com canais de 16 a 23 km de extensão. Na média bacia, o córrego Catolé apresenta padrão mais retilíneo do que na alta bacia, porém mais sinuoso do que o canal do riacho Borrachudo em seu médio curso.

A baixa bacia engloba a parte de jusante dos canais principais, possui em torno de 20 a 22 km de extensão e abrange uma área de 171,3 km² da BHCC e 100,9 km² da BHRB. Observando a forma dos perfis dos dois cursos principais, percebe-se que o perfil do córrego Catolé apresenta, na média bacia, um trecho de menor declividade, que sucede o trecho mais declivoso da alta bacia e antecede o trecho novamente de maior declividade, na baixa bacia. O perfil do riacho Borrachudo, por sua vez, aparenta se aproximar mais do perfil considerado “em equilíbrio”, enquanto o córrego Catolé tem a maior parte de sua média bacia e sua alta bacia à montante do principal *knickpoint* do perfil (situado acerca de 25 km a montante do exutório), isto é, ainda não ajustadas ao perfil “de equilíbrio”, comandado pelo atual nível de base da bacia (Figura 34).

4.7.3 Índice Topográfico de Umidade (TWI)

A partir do Índice Topográfico de Umidade (TWI) tornou-se possível a identificação das áreas com maior potencial de acúmulo d'água nas bacias. Os índices variaram entre 3,0 e 24,5 (BHCC) e 3,0 e 21,6 (BHRB). Os maiores índices são visualizados principalmente nas áreas planas ou de baixa declividade do relevo, nas proximidades dos canais fluviais dos altos-cursos das duas bacias, na margem esquerda do médio Catolé e nas bordas do baixo Borrachudo - (Figura 34).

ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE (TWI) DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS - CÓRREGO CATOLÉ E RIACHO BORRACHUDO

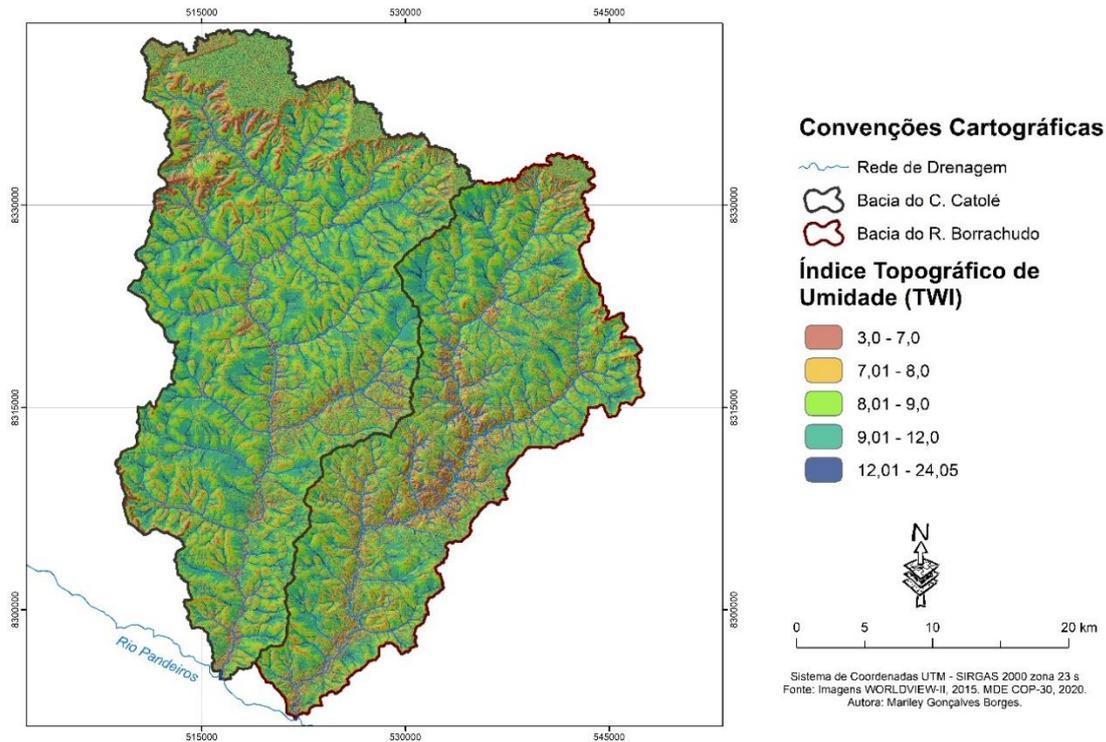


Figura 34: Índice Topográfico de Umidade (TWI) da BHCC e da BHRB
Elaboração: A autora, 2022.

Os menores valores do índice são em áreas de escarpas que mantêm os remanescentes da S. Sul-Americana na alta bacia (BHCC e BHRB) e baixa bacia (BHCC), pois as formas convexas e côncavas apresentadas pelo relevo favorecem o escoamento das águas ao invés de sua infiltração no solo. Há também, baixos valores na média BHCC, em sua margem direita e na média BHRB, ao longo do curso principal, associado à maior dissecação do relevo pela rede fluvial.

Ao sobrepor o TWI com os atributos do meio físico das duas bacias de estudo, percebe-se a sua compatibilidade com a declividade, a dissecação do relevo, a suscetibilidade à erosão, o uso e cobertura da terra, a densidade de drenagem e as rupturas de declive nos segmentos fluviais. As áreas do relevo de menor gradiente, compostos por cobertura de cerrado ainda conservado, com baixas estimativas de ocorrências erosivas são indicativos de maiores potenciais de umidade. Enquanto os relevos de maior declive, dissecação, densidade de drenagem e presença de *knickpoints*, suscetíveis à erosão e utilizados por

cultivos agrícolas, pastagens e Mata Seca são representativos de baixa presença de umidade.

Em geral, a BHCC possui maior potencial de umidade que a BHRB, em função da presença de relevos menos movimentados, que propiciam um maior tempo de residência das águas e menor escoamento superficial. Assim, a tendência é que a BHCC apresente também, maior ocorrência de áreas úmidas perante a BHRB, a ser verificado no item a seguir.

4.7.4 Superfícies de Áreas Úmidas

Por meio da análise e interpretação de imagens de satélite, foram identificados e mapeados neste trabalho, 42,20 km² na BHCC e 14,32 km² na BHRB de superfícies de áreas úmidas (AUs). Essas áreas correspondem a AUs em cabeceiras (5% - BHCC, 4% - BHRB); AUs ao longo dos canais dos tipos: de veredas (80% - BHCC, 68% - BHRB) e de planície de inundação (14% - BHCC, 23% - BHRB); além de relictos de hidromorfia (1% - BHCC, 5% - BHRB) que apresentam geometria indicativa da ocorrência pretérita de veredas.

A localização das AUs na área de estudos varia conforme a sua tipologia (Figura 35). As AUs de cabeceiras ocorrem na montante das duas bacias, em áreas de nascentes. As AUs de veredas e de planície de inundação ocorrem ao longo dos canais. A diferença é que na BHRB essas AUs estão concentradas na alta bacia, enquanto, na BHCC, elas se encontram presentes em todos os compartimentos. Os relictos de hidromorfia situam-se na baixa bacia, com maior ocorrência na BHRB.

SUPERFÍCIES DE ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA DO CÓRREGO CATOLÉ E NA BACIA DO RIACHO BORRACHUDO - MG

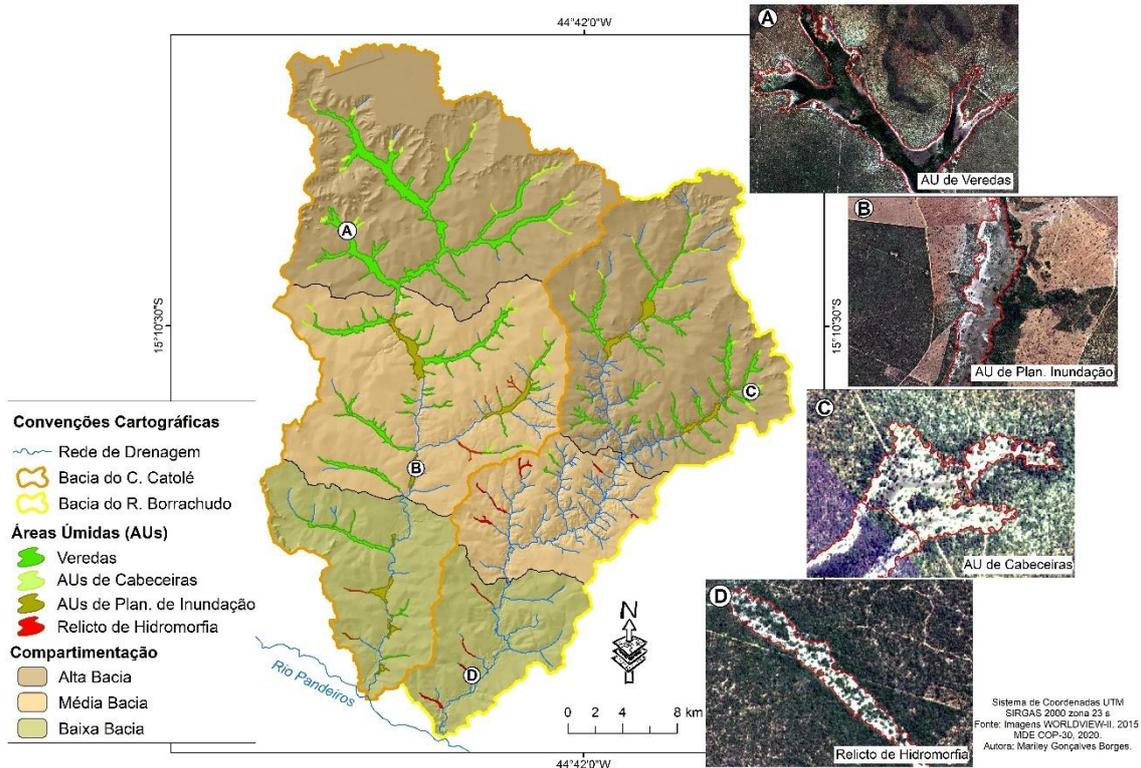


Figura 35: Superfícies de Áreas Úmidas na BHCC e na BHRB
 Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2022.

A BHCC apresentou 27,9 km² de AUs a mais que a BHRB. A quantidade de áreas e a sua distribuição espacial nas bacias de estudo possuem associação com os mapeamentos já realizados, como os de rupturas de declives e dissecação do relevo (IDR), os perfis longitudinais e os índices de umidade topográfica (TWI). A presença de relevos com aspectos dissecados e perfis longitudinais com trechos convexos formando *knickpoints* ao longo da rede de drenagem, sugerem que determinados trechos das bacias possuem maior energia e tendem a favorecer o escoamento superficial das águas durante o período chuvoso. Com isso, a capacidade de infiltração e retenção d'água nessas áreas é reduzida, conforme ratificado pelo TWI.

Os *knickpoints* em determinada seção do rio resultam em águas com maior velocidade à jusante de sua ruptura, sugerindo maior capacidade erosiva. Logo, na porção de jusante as paisagens tendem a ser modificadas pela incisão dos vales, e na parte de montante, pela propagação da erosão remontante. A combinação desses dois processos contribui para a evolução do relevo, rejuvenescendo as paisagens.

Nesse sentido, a diferenciação de áreas das AUs entre a BHCC e a BHRB possuem associações com os diferentes estágios de evolução do relevo em que as bacias se encontram. A bacia do médio Borrachudo encontra-se em estágios evolutivos mais avançados, uma vez que apresenta maior rugosidade do relevo, maior densidade de drenagem, feições residuais da ocorrência pretérita de veredas, veredas nos altos-cursos de canais encaixados e ausência de AUs no curso principal. Isso ocorre em função do relevo apresentar aspecto ondulado, maior amplitude altimétrica e melhor ajuste em relação ao perfil de equilíbrio, o que favorece a formação de talwegues encaixados com fluxos mais eficientes, o menor tempo de residência das águas na bacia e a ocorrência de matas-galeria e *cerrado stricto sensu* ao invés de veredas.

Em geral, as AUs ocorrem em áreas fracamente convexas do relevo, de baixa energia e de fluxo lento (Melo, 2008). Contudo os mecanismos de evolução do relevo tendem a modificar esse cenário ao longo do tempo, tornando-os relevos mais movimentados, com maior energia hidráulica e maior densidade de drenagem, o que indica que está ocorrendo com maior eficiência na BHRB. Melo (1992; 2008); Lima e Queiroz Neto (1997) são os percursores em argumentar que as veredas representam um estágio de evolução do relevo de chapadas (superfícies aplanadas) do Planalto Central Brasileiro. Conforme esses autores, a incisão dos vales fluviais e a erosão remontante são os motivos pelos quais ocorre essa transição entre as paisagens, promovendo a substituição de um cenário de vales de fundo plano, de escoamento lento, com veredas, por um cenário de vales encaixados, de escoamento eficiente, com matas-galeria. As franjas de paleossolos hidromórficos em posição de média a alta vertente ao longo desses vales encaixados seriam testemunhos do estágio pré-incisão fluvial.

Assim, a tendência é uma redução gradativa de áreas úmidas em sentido remontante, restando pequenas extensões de hidromorfia ou, então, solos paleo-hidromórficos nas vertentes remodeladas. De fato, isso parece ocorrer nas duas bacias de estudo, com destaque para a BHRB que praticamente não apresenta áreas úmidas em sua baixa e média bacia. Ao que tudo indica, em ambas as bacias as superfícies ocupadas pelas áreas úmidas eram maiores,

mas têm-se reduzido devido ao encaixamento da drenagem e o consequente rebaixamento do nível freático, ou seja, como resultado da evolução natural dos relevos.

Nos altos-cursos dos canais não há a presença de feições de erosão acelerada (voçorocas) que possam acelerar os fluxos concentrados e assorear as veredas a jusante. Em geral, as vertentes estão compostas por áreas vegetadas ainda conservadas, à exceção de um tributário da margem direita da média BHCC que possui algumas voçorocas aparentemente associadas com maiores declividades (entre 8% e 20%) e o uso da terra (pastagem). Essas voçorocas (Figura 36) possivelmente têm provocado impactos ambientais nas áreas úmidas na porção de jusante deste afluente, por assoreamento.

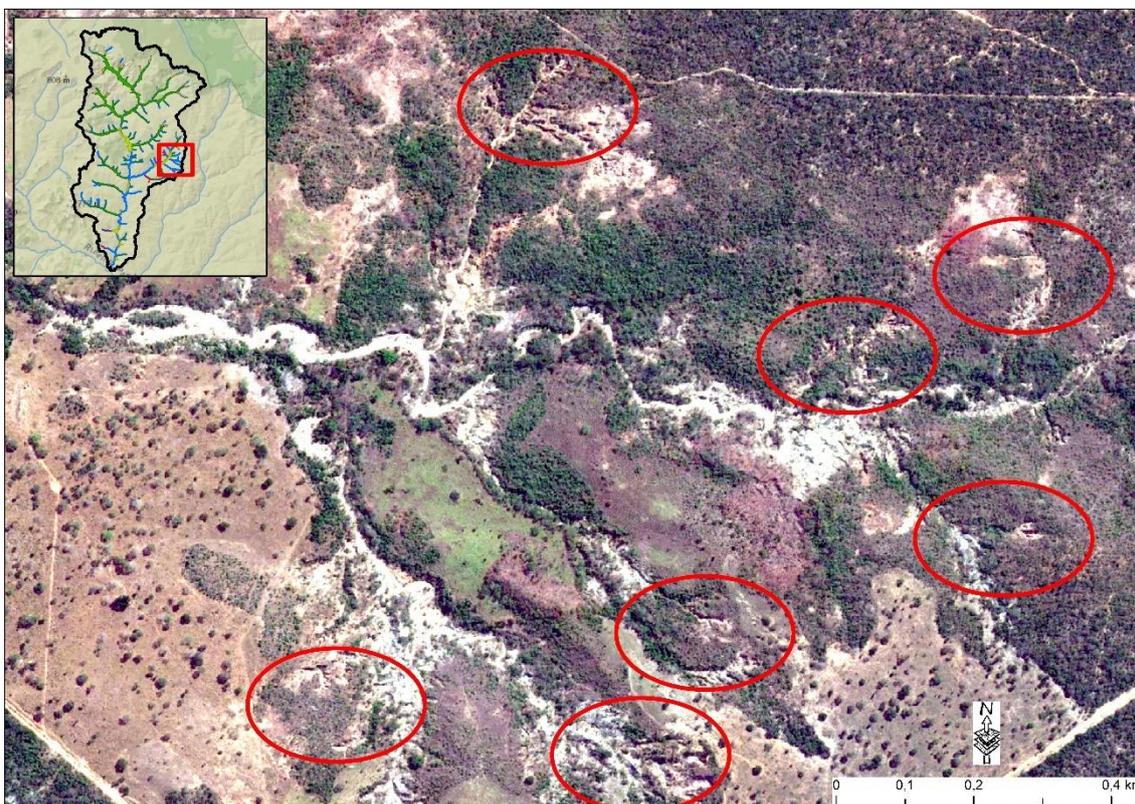


Figura 36: Feições de erosão acelerada (voçorocas) na bacia do médio Catolé
Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015. Elaboração: A autora, 2022.

Além da destruição das áreas úmidas pela incisão fluvial e erosão remontante há, também, a ocorrência de impactos ambientais causados por outras fontes que afetam as AUs, como a ocorrência de queimadas que destroem os estratos vegetais; o desmatamento, a compactação dos solos e o

comprometimento da qualidade das águas superficiais pela residência de moradores dentro dos limites das veredas ou muito próximos a elas, assim como os cultivos agrícolas; compactação dos solos pela pecuária; assoreamento das AUs devido à abertura de estradas vicinais ou que atravessam o seu interior; comprometimento da quantidade e qualidade da água por motores de irrigação; alteração das seções transversais devido a bloqueios do curso d'água, entre outros.

Além do mais, embora as duas bacias sejam compostas em sua maioria por cobertura vegetal ainda em estado natural - 91% na BHCC e 86,5% na BHRB, o uso da terra para a pastagem e agricultura nestas bacias ocorre muito próximo das margens dos rios e das AUs, contribuindo para a erosão dos solos das encostas e sua deposição nas AUs. Essa proximidade entre AUs e os usos antrópicos pode ser visualizada nas duas bacias, em áreas dos médio e baixo cursos.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Remanescentes de antigas superfícies de aplanamento podem ser encontradas em áreas do norte de Minas Gerais, especificamente nas duas bacias hidrográficas deste estudo, a BHCC e a BHRB. Mediante o processo natural de evolução desses relevos e ambientes a eles associados, as paisagens tendem a se transformar com o tempo, tornando as áreas até então aplanadas e conservadas, em áreas dissecadas. Essa transformação repercute nas paisagens das bacias hidrográficas e pode ser observada a partir de alguns mecanismos, como as maiores declividades das encostas, presença de rupturas de declive (*knickpoints*) nas seções dos rios e redução de áreas úmidas (veredas).

Nesse estudo, ao comparar duas bacias vizinhas e de características aproximadamente semelhantes (BHCC e BHRB), nota-se que o quadro de evolução do relevo encontra-se em estágios distintos: a BHRB encontra-se em um estágio mais avançado na evolução geomorfológica regional do que a BHCC. Isso pode ser atestado por meio da presença de *knickpoints* nos canais fluviais de 2ª ordem, perfil longitudinal do canal fluvial mais próximo da curva “de

equilíbrio”, ocorrências de áreas com baixa capacidade de residência das águas devido a relevos mais movimentados, número reduzido de áreas úmidas e ocorrências de relictos de solos hidromórficos nas altas vertentes ao longo dos vales, indicativos de que as áreas úmidas ocupavam maiores extensões no passado, na BHRB.

A BHCC, por sua vez, apresenta atributos opostos, maior parte da média bacia e a alta bacia situadas a montante do knickpoint principal, isto é, ainda não ajustadas ao “perfil de equilíbrio”, relevos relativamente planos favorecendo a maior capacidade de residência das águas, baixo número de relictos de solos hidromórficos, maior número e extensão de áreas úmidas. Essas características estão presentes ao longo de toda a bacia, independente do compartimento (alta, média e baixa bacia).

REFERÊNCIAS

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Science Bulletin**, v. 24, p. 43-69, 1979.

DUSZYŃSKI, F.; MIGOŃ, P.; STRZELECKI, M. C. Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes – Landforms, mechanisms and patterns. **Earth-Science Reviews**, V.196, 2019.

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

LIMA, S. do, C.; QUEIROZ NETO, J. P. de. As veredas e a evolução do relevo. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 15, 1996.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (ORGs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1. ed. 2020.

MARTINS, F.; SALGADO, A. A. R. Morfogênese de uma paisagem de Chapadas: o caso do extremo sul da unidade do relevo Chapadas do Rio São Francisco, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 22, n. 79, p. 232-244, 2021.

MATTIVI, P.; FRANCI, F.; LAMBERTINI, A.; BITELLI, G. TWI computation: a comparison of different open source GISs. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 4, n. 6, 2019.

MELO, D. R. **As veredas nos planaltos do noroeste mineiro, caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos**. Rio Claro - SP: Universidade Estadual de São Paulo, 1992, 218p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

_____. **Evolução das veredas sob aspectos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/MG**. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 341p. (Tese, doutorado em Geografia).

SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Revista Geografias**, v. 3(1), 64-78, 2007.

VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplainamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfolgia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.2, p.77-90, 2009.

CAPÍTULO III – PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS EM ÁREAS DE RELEVO DE CHAPADAS: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CÓRREGO CATOLÉ E DO RIACHO BORRACHUDO

RESUMO

O objetivo desse capítulo foi realizar uma análise comparativa do regime fluvial e dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas em duas bacias hidrográficas situadas em áreas de relevo de chapada do Cerrado, sob diferentes estágios de evolução geomorfológica. Esse trabalho se justifica por fornecer um diagnóstico ambiental e hidrológico das porções dessas bacias situadas à montante das seções amostradas. Para tanto, foram realizadas campanhas de campo durante um ano hidrológico, medições em campo e análises em laboratório, por meio de equipamentos portáteis (condutivímetro, turbidímetro e pHmetro), a condutividade elétrica, a turbidez, a temperatura da água, o

potencial hidrogeniônico (pH), os sólidos dissolvidos e a vazão. Esta última, medida foi feita via método do flutuador. Após obter os dados, os mesmos foram submetidos à estatística descritiva e à análise de correlação de Pearson para auxiliar nas possíveis interpretações. Como resultados, a BHCC apresentou ausência de turbidez nas medições realizadas durante o período seco e valores baixos em dias chuvosos, além de vazões regularizadas ao longo do ano. Na BHRB a turbidez foi elevada no período chuvoso e reduzida no período seco, embora em nenhuma medição houvesse ausência de turbidez. As duas bacias possuem pH básico, devido à atividade biológica do rio ou ao substrato rochoso que as águas percorrem. As temperaturas de suas águas variaram de acordo com a sazonalidade climática. Os valores de sólidos dissolvidos e de condutividade elétrica foram mais elevados na BHRB, o que está possivelmente associado com a presença de rochas carbonáticas. Em geral, os parâmetros físicos e físico-químicos das águas que apresentaram as maiores correlações lineares foram a turbidez, os sólidos dissolvidos e a vazão, nas duas bacias de estudos. Os dados demonstraram que o riacho Borrachudo apresenta maior transporte de material particulado e vazão menos regular, o que está em coerência com seu relevo mais dissecado, maior declividade das vertentes e menor representatividade das áreas úmidas.

Palavras-chave: Evolução da Paisagem. Áreas Úmidas. Regime fluvial, Parâmetros das águas.

4.9 INTRODUÇÃO

As áreas úmidas de veredas são ecossistemas que desempenham funções hidrológicas significativas na regulação do ciclo da água. Esses ambientes são responsáveis por armazenar grande parte das águas das chuvas, reduzindo o escoamento superficial das águas. Além de minimizar os efeitos da erosão, as veredas mantêm os regimes fluviais em período de vazante, o que reflete em maior tempo de residência das águas nas bacias e na sua qualidade (Balek, 2006; Bridon et al., 2006; Neves, 2011). No Brasil as veredas são

ambientes comuns nas paisagens do Cerrado, onde aparecem comumente sobre os relevos aplanados, como as chapadas.

O papel que as veredas exercem é muito significativo e ímpar, entretanto, são ambientes frágeis e sensíveis às transformações decorrentes da evolução natural do relevo das superfícies de aplanamento (Lima; Queiroz Neto, 1996).

O desaparecimento natural das áreas úmidas do tipo vereda ocorre pelo processo de aprofundamento dos vales, inicialmente em decorrência da incisão fluvial e, posteriormente, pela erosão remontante em função da elevação do gradiente por inclinação. Este processo faz com que, gradualmente, os vales rasos e hidromórficos se aprofundem, os fluxos hídricos se acelerem, o nível freático sofra rebaixamento e a paisagem se torne mais dissecada (Lima; Queiroz Neto, 1996; Melo, 1992; 2008).

A evolução do relevo de chapadas, e conseqüentemente, das áreas de veredas, pode ser visualizada a partir de indicadores ambientais que fornecem um diagnóstico da paisagem, como os parâmetros físicos e físico-químicos das águas dos rios principais. As medições desses parâmetros fornecem um balanço da quantidade de sedimentos removidos da vertente e transportados pelos rios, fornecem indicação sobre o grau de energia do relevo, a capacidade de armazenamento dos solos e a influência das veredas na quantidade e qualidade da água disponível.

Portanto, o objetivo desse capítulo foi realizar uma análise comparativa da vazão e de parâmetros físicos e físico-químicos das águas em duas áreas de relevo de chapada do Cerrado, sob diferentes estágios de evolução geomorfológica: uma referente a uma bacia de relevo menos dissecado, com presença abundante de áreas úmidas do tipo vereda ao longo dos canais, e outra referente a uma bacia de relevo mais dissecado, com menor ocorrência de áreas úmidas do tipo vereda. Essas medições foram utilizadas como indicadores ambientais da contribuição hidrológica desempenhada pelas veredas e dos efeitos de sua evolução.

4.10 MATERIAIS E MÉTODOS

4.10.1 Caracterização dos Pontos de Amostragem e Medição

O ponto de obtenção das amostragens e da realização das medições dos parâmetros físicos e físico-químicos situa-se no curso principal das bacias hidrográficas do córrego Catolé (BHCC) e do riacho Borrachudo (BHRB) – (Figura 37). Na BHCC, o ponto de coleta está localizado a 629 m de altitude, nas coordenadas 16°43,930' de latitude sul e 43°52,073' de longitude oeste, abrangendo uma área de contribuição de aproximadamente 546,63 km², isto é, 77% da bacia. Na BHRB, o ponto de coleta está situado a 621 m de altitude, sob as coordenadas 16°43,931' de latitude sul e 43°52,072' de longitude oeste, com área de contribuição de 372,59 km², o que também se refere a 77% da bacia.

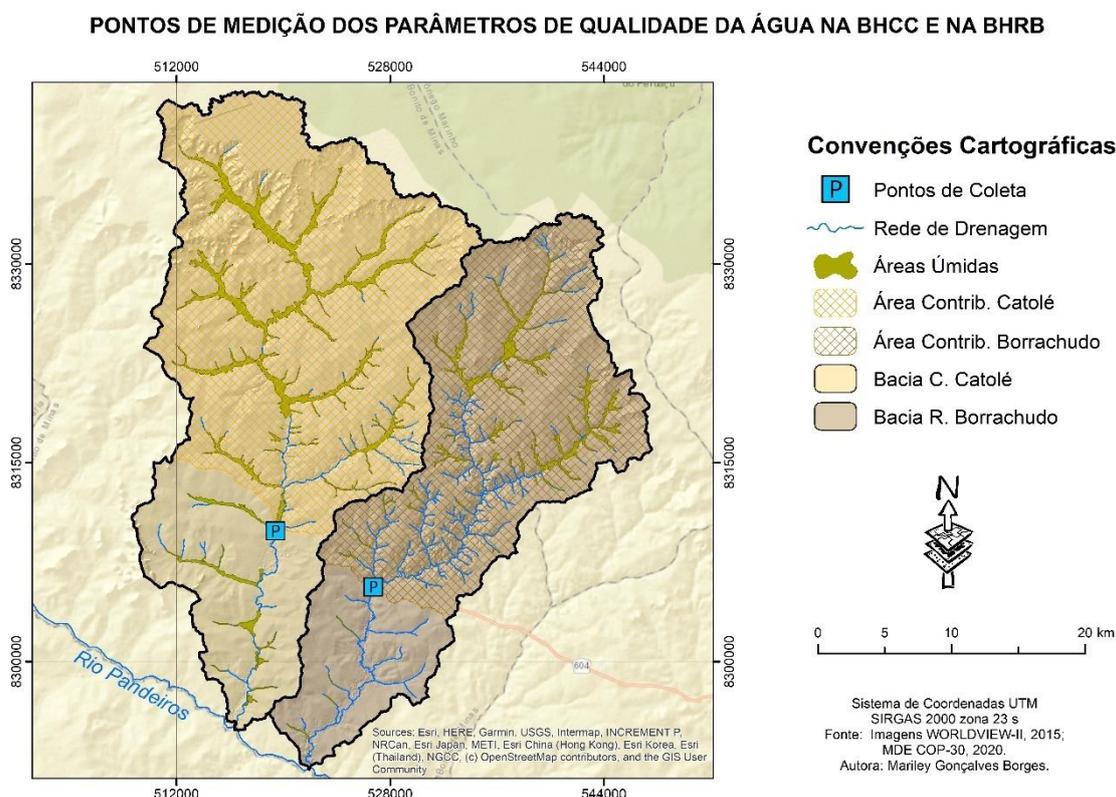


Figura 37: Pontos de medição dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas na BHCC e na BHRB.

Fonte: Imagens WORLDVIEW-II, 2015; MDE COP-30, 2020. Elaboração: A autora, 2021.

Esses pontos foram escolhidos por apresentarem aproximadamente a mesma distância do exutório e pela acessibilidade na realização das coletas e medições, pois foram constantemente obtidos os dados dos parâmetros físicos

e físico-químicos das águas (entre janeiro/2021 e dezembro/2021). Portanto, o ponto de coleta das amostras não abrange toda a BHCC e a BHRB, mas sim, a partir da estrada que oferece acesso às bacias. Na seção dos rios em que foram realizadas as coletas, a largura do canal é aproximadamente a mesma.

4.10.2 Procedimentos Operacionais

4.10.2.1 Coleta de dados em campo

Ao longo de um ano hidrológico (1/2021 a 12/2021) foi realizada, na área de estudos, a medição de parâmetros físicos e físico-químicos das águas dos seus cursos principais: o pH, a temperatura, a turbidez, a condutividade elétrica, os sólidos dissolvidos e a vazão. Esses parâmetros foram selecionados por contribuir na caracterização das águas e auxiliar nas interpretações acerca da atividade erosiva que ocorre nas bacias estudadas.

O pH e a temperatura das águas foram obtidos *in loco* por meio do medidor de pH portátil AK103, eletrodo PY-41, da AKSO, com calibração de pH a 4.01, 7.00 e 10.01. Esse equipamento realiza a medição do pH na faixa de 0 a 14 e de temperatura das águas entre 0 °C e 80 °C. A turbidez também foi medida *in loco*, por meio do turbidímetro portátil modelo TU430 da AKSO, que possui faixas de medição entre 0 e 1000 NTU. A condutividade elétrica foi também medida *in loco*, pelo condutivímetro modelo Ec-Akrom Kr30 (Figura 38).

Esses equipamentos pertencem ao Laboratório de Análises de Água e Efluentes (LabLAAE) reconhecido pela norma ISO-IEC-17025 e certificado pela Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE) do INMETRO. O LabLAAE encontra-se localizado na cidade de Montes Claros/Minas Gerais, e foi responsável, nesse trabalho, por calibrar os equipamentos, acompanhar as medições em campo e coletar as amostras de água para análise em laboratório.



Figura 38: Equipamentos utilizados na medição da condutividade elétrica, turbidez, pH e temperatura da água.

Autora da Imagem: Mariley Gonçalves Borges (2021).

Os sólidos dissolvidos foram obtidos por meio da coleta de amostras de água em campo e análise via laboratório (LabLAAE). As análises em laboratório seguem a norma do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMWW), 23ª edição, método 2540 C (sólidos dissolvidos).

A determinação da vazão foi feita através do método flutuador, conforme o procedimento operacional padrão (POP) realizado pelo LabLAAE, código: POP-COLETA-007, emitido em 12/06/2019 e revisado em 26/03/2020 (Anexo I). Para obter a vazão foi necessário medir a largura do canal de uma margem até a outra, medir a profundidade na margem direita, esquerda e no meio do canal, determinar a distância da seção que o objeto flutuante irá percorrer, cronometrar o tempo gasto em segundos pelo flutuador, e por último, efetuar o cálculo da fórmula da vazão - (Equação 8).

(8)

$$Q = v * h * w$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

V = velocidade do fluxo de água (m/s);

h = profundidade média na seção transversal do canal (m);

w = largura do canal.

Após a obtenção das vazões ao longo do ano, foi feito o cálculo das vazões específicas, para efeito de verificar a disponibilidade hídrica de cada bacia. O cálculo das vazões específicas (Q_m) foi efetuado a partir da divisão das vazões (\bar{Q}) em m³/s, pela área de drenagem à montante da seção (A_i) em km² - (Equação 9).

(9)

$$Q_m = \frac{\bar{Q}}{A_i}$$

As medições dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas foram realizadas no meio de cada mês, aproximadamente. Algumas medições ocorreram com alguns dias de diferença da data prevista, devido à dificuldade do LabLAAE em atender à demanda, considerando o cenário de pandemia do COVID-19.

Foram realizadas 12 campanhas de campo nas duas bacias (Tabela 6), em condições de tempo chuvoso e ensolarado. As coletas foram realizadas no período da tarde, entre 12h00 e 15h30, pois como a temperatura da água varia conforme a incidência da radiação solar, considerou-se que nesse horário os dados expressarão uma média entre o valor mínimo (início da manhã) e máximo (início da noite).

Data das Campanhas	Horário (GMT -3:00)		Condições do Tempo		Condições da Amostra	
	BHCC	BHRB	BHCC	BHRB	BHCC	BHRB
15/01/2021	13:15	15:00	Ensolarado	Ensolarado	Límpida	Turva
22/02/2021	13:35	14:44	Chuva	Chuva	Límpida	Turva
12/03/2021	13:15	14:37	Chuva	Chuva	Turva	Turva
16/04/2021	13:30	14:29	Sol	Sol	Límpida	Límpida
14/05/2021	12:46	14:00	Sol	Sol	Límpida	Límpida
21/06/2021	12:50	13:48	Sol	Sol	Límpida	Límpida
19/07/2021	12:51	13:52	Sol	Sol/vento	Límpida	Límpida
20/08/2021	13:25	14:40	Sol com nuvens/vento	Sol com nuvens/vento	Límpida	Límpida
17/09/2021	12:52	14:08	Sol/vento	Sol/vento	Límpida	Límpida
19/10/2021	13:06	14:25	Sol com nuvens/chuva	Sol com nuvens/chuva	Límpida	Límpida
19/11/2021	12:51	15:25	Nublado	Chuva	Límpida	Turva
10/12/2021	13:14	15:00	Chuva	Nublado	Turva	Turva

Tabela 6: Condições das amostragens na área de estudo.
Elaboração: A autora, 2021.

As coletas foram realizadas em uma das margens do rio, devido às condições de acesso e de não contaminação das amostras, em seus primeiros 5 cm de sua superfície. Conforme a análise de variância (ANOVA) realizada por Gonçalves e Fernandes (2017) dos parâmetros de qualidade da água em diferentes pontos amostrais da seção transversal de um rio, constatou-se que a localização do ponto de amostragem nas margens ou na parte central do canal não possui variação significativa que interfira nos resultados. Mesmo considerando que as características da seção como a velocidade do fluxo, vazão, profundidade e outras, não são as mesmas.

4.10.2.2 Análise Estatística dos dados

Após a realização das campanhas de campo durante um ano hidrológico, o conjunto de dados foi submetido à análise estatística descritiva, por meio de funções do *software* RStudio. A análise estatística descritiva teve como objetivo descrever o conjunto de dados obtidos, a fim de auxiliar nas análises de cada

parâmetro. Para tanto, calculou-se a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Além dessas medidas, realizou-se a análise do coeficiente de correlação de Pearson, a fim de identificar possíveis correlações entre os indicadores. Esse coeficiente é admissível e mede a linearidade entre duas variáveis (X e Y), com variação entre -1 e 1. Os valores próximos a -1 indicam correlação negativa, aqueles próximos a 1 a correlação é do tipo positiva, e, quando próximo de 0, significa que há ausência de correlação (Bi; Monette; Gasperi, 2015).

4.11 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As águas do curso principal da BHCC e da BHRB apresentam variações de cor ao longo do ano. No período chuvoso, o córrego Catolé possui águas de cores escuras, atributo relacionado à grande parte de suas nascentes serem compostas por veredas, o que resulta na presença de elementos ferromagnesianos (ferro e manganês) na forma solúvel, ácidos húmicos e fúlvicos decorrentes da decomposição e mobilização da matéria orgânica que ocorre nesses ambientes. Eventualmente, podem ocorrer casos em que suas águas apresentem cores amarelas em função da erosividade da chuva.

Na BHRB, por sua vez, mesmo apresentando veredas em algumas de suas nascentes, as águas do curso principal são amarelas durante todo o período chuvoso, o que está associado às ocorrências erosivas na média bacia, principalmente (Figura 39). No período seco, ambos os rios possuem cores esverdeadas associadas às atividades biológicas.

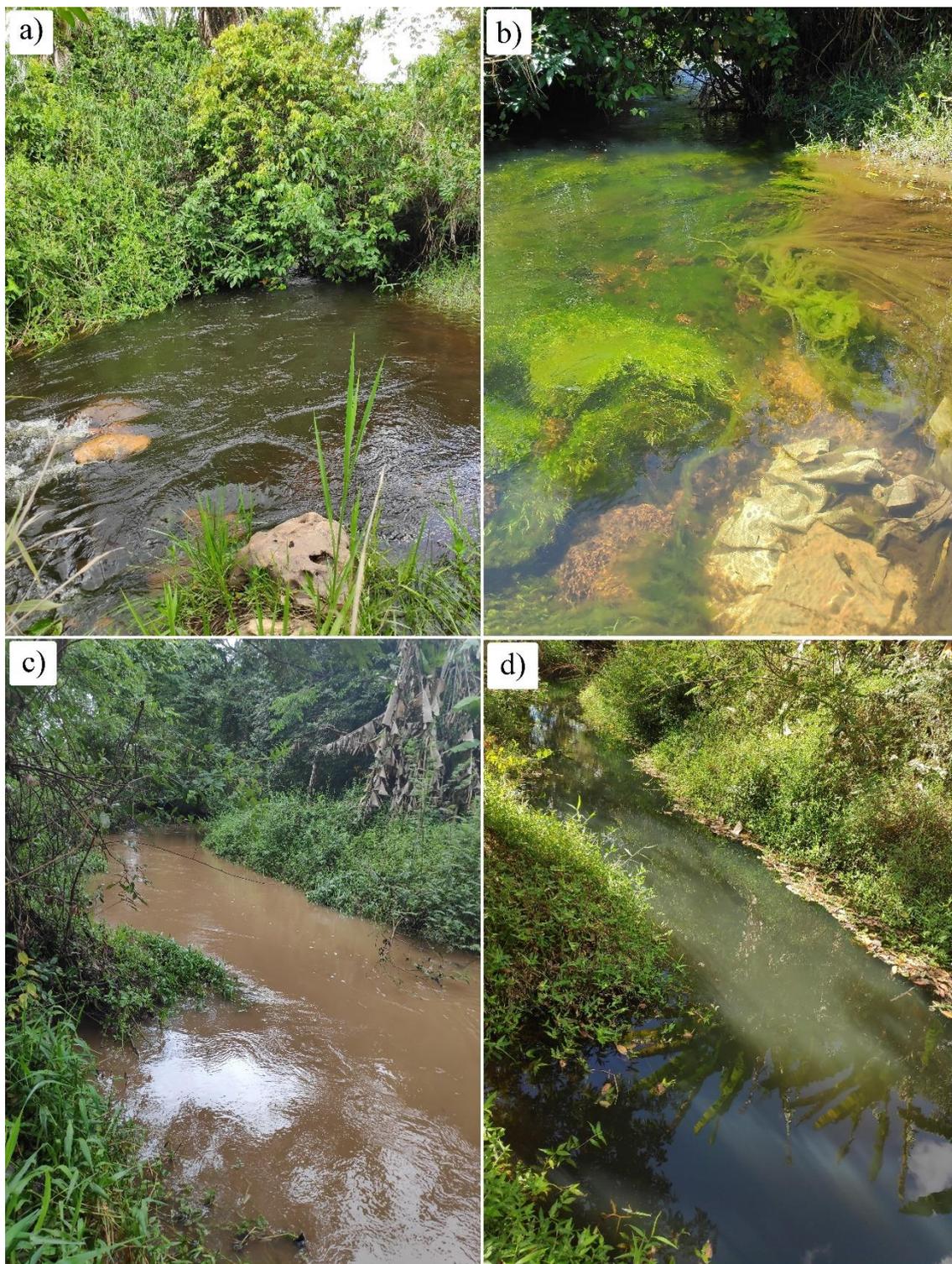


Figura 39: Cor das Águas no Curso Principal da BHCC e da BHRB – a) Córrego Catolé no período chuvoso (19/11/2021); b) Córrego Catolé no período seco (17/09/2021); c) Riacho Borrachudo no período chuvoso (10/12/2021); d) Riacho Borrachudo no período seco (20/08/2021).
Autora das Imagens: Mariley Gonçalves Borges (2021).

Com base na geometria das seções (Figura 40) em que foram realizadas as coletas, notou-se que o córrego Catolé possui maior largura (5,86 m) do que

o riacho Borrachudo (5,08 m), com diferença média de 0,78 m entre as medições. Por sua vez, o riacho Borrachudo é mais profundo, independente do período do ano, com 1,33 m em média, enquanto, no córrego Catolé, a profundidade média é de 0,78 m.

As águas do córrego Catolé possuem maior velocidade, gastando em média cerca de 6,9 segundos para percorrer uma seção de 6 metros, enquanto as águas do riacho Borrachudo levam aproximadamente 112,8 segundos para percorrer a mesma distância. O valor médio anual do riacho Borrachudo possui influência da sazonalidade climática, pois o tempo médio considerando apenas o período chuvoso é de 38,9 segundos, enquanto no período seco é 186,9 segundos.

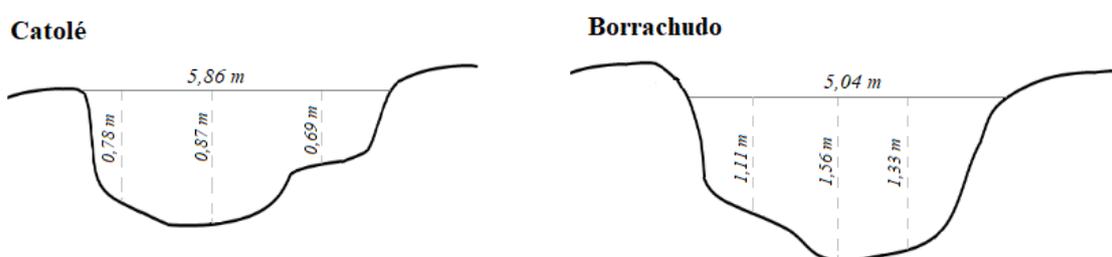


Figura 40: Modelo representativo aproximado da geometria da seção Transversal
Elaboração: A autora, 2022.

A paisagem do entorno da seção no córrego Catolé constitui-se de vegetação natural de cerrado, cujo tipo fitofisionômico é o cerrado *stricto sensu*. No riacho Borrachudo, o entorno da seção é constituído por pastagem, com presença de algumas árvores nas margens, mas sem se caracterizar como vegetação do tipo mata ciliar ou matas-galeria. As margens de ambos os canais são compostas por gramíneas, o que minimiza a atividade erosiva. Na margem direita do riacho Borrachudo, há o acúmulo de folhas secas durante o período da estiagem, que permanecem até o início das chuvas, em função de sua baixa capacidade de transporte.

4.11.1 Estatística Descritiva do Conjunto de Dados

Com base no conjunto de dados do córrego Catolé, o pH, a temperatura, e a vazão são os parâmetros que possuem uma menor variação de seus valores com relação à média. A vazão em particular, apresentou um baixo desvio padrão (1,70), contudo dispõe de um coeficiente de variação significativo (44%). Isso ocorreu devido os dados de vazão não serem homogêneos, mesmo apresentando uma baixa dispersão de cada valor com relação à média. A turbidez, os sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica são os que apresentam a maior heterogeneidade em seu conjunto de dados, tanto entre si quanto com relação à média, com desvio padrão de 9,29; 25,27 e 53,85 e coeficiente de variação de 190%, 84% e 109%, respectivamente.

No riacho Borrachudo, os valores com menor dispersão referem-se ao pH, temperatura e vazão, embora esse último possua um alto coeficiente de variação (86%). A turbidez (CV-167%), a condutividade elétrica (CV-152%) e os sólidos dissolvidos (CV-57%) correspondem aos parâmetros com valores mais heterogêneos ao longo do ano (Tabela 7).

ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS NA BHCC							
Descrição dos Dados	pH	Temperatura da Água (°C)	Turbidez (NTU)	Sólidos Suspensos (mg/L)	Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Vazão média (m³/s)
Média	7,33	24,13	4,97	<4	29,46	49,94	3,88
Desvio Padrão	0,76	1,82	9,68	0,00	26,12	55,11	1,74
C. de Variação	10%	8%	195%	0%	89%	110%	45%
ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS NA BHRB							
Descrição dos Dados	pH	Temperatura da Água (°C)	Turbidez (NTU)	Sólidos Suspensos (mg/L)	Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Vazão média (m³/s)
Média	7,07	23,06	77,04	14,33	48,83	191,09	1,61
Desvio Padrão	0,72	1,84	132,31	25,74	28,60	297,39	1,42
C. de Variação	10%	8%	172%	180%	59%	156%	88%

Tabela 7: Estatística Descritiva dos Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas na BHCC e na BHRB

Elaboração: A autora, 2023.

A estatística descritiva dos dados coletados em campo permite inferir que os dados de pH, temperatura da água e sólidos suspensos são relativamente homogêneos ao longo do ano, com exceção apenas desse último, na BHRB. A vazão e os sólidos dissolvidos possuem variação ao longo ano, embora não sejam as mais significativas. A turbidez e a condutividade elétrica possuem a maior divergência de seus valores nas bacias de estudo. É possível visualizar a influência da sazonalidade climática nos parâmetros físicos e físico-químicos das

águas, cujos valores mais elevados e/ou mais baixos em determinadas épocas, refletem em maior dispersão no conjunto de dados.

4.11.2 Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas na BHCC e na BHRB

Ao considerar as particularidades de cada parâmetro físico e físico-químico indicadores de qualidade das águas, os mesmos foram abordados inicialmente de forma isolada, para que, posteriormente, fossem analisados de maneira conjunta.

❖ Potencial Hidrogeniônico (pH)

As águas do córrego Catolé e do riacho Borrachudo apresentam, em sua maioria, valores de pH dentro da faixa de normalidade (entre 6 a 9), conforme a resolução 357/05 do CONAMA. Valores de pH abaixo desta faixa (5,41 e 5,47 para o córrego Catolé e 4,99 e 5,03 para o riacho Borrachudo) foram observados apenas no mês de janeiro de 2021 (Gráfico 3).

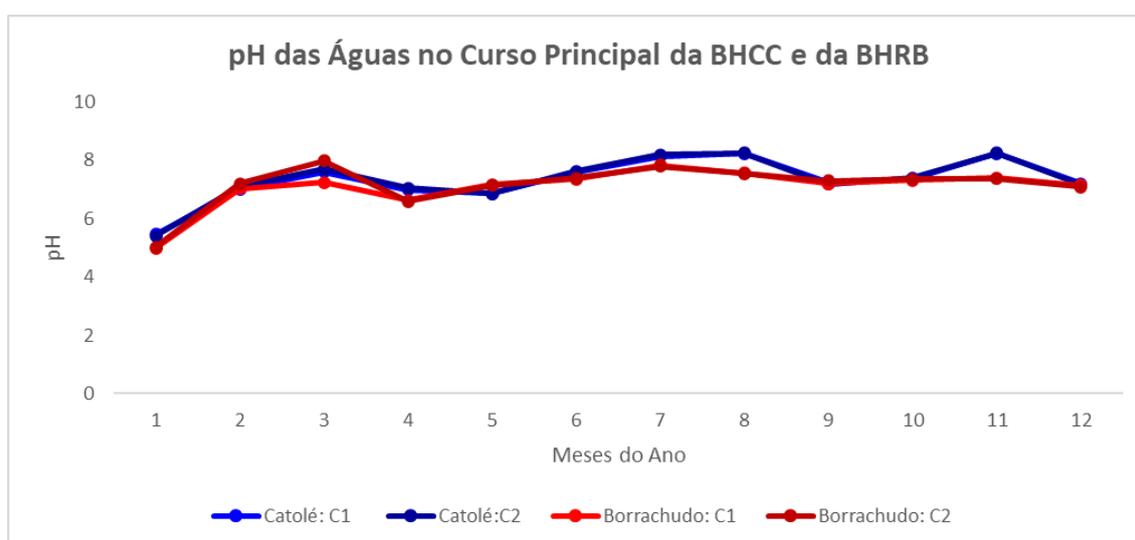


Gráfico 3: pH da Água no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021

Elaboração: A autora, 2021.

Na literatura, autores como Almeida; Schwarzbald (2003) e Von Sperling (2005) mencionam que vários fatores podem alterar o pH das águas, por isso a dificuldade em estabelecer o principal fator responsável. No período chuvoso, as águas tendem a apresentar menor concentração de cátions básicos (maior diluição), em função da maior quantidade de chuvas, favorecendo a ocorrência de valores de pH mais baixos. No período seco, fatores como a liberação de ácidos húmicos e fúlvicos decorrente da decomposição da matéria orgânica nas veredas e a seção de medição sobre arenitos do Grupo Urucuia, possivelmente poderiam justificar o pH, caso fossem ácidos. Contudo, nesse período é justamente quando há a proliferação de organismos fotossintetizantes, que retiram o gás carbônico das águas por meio do seu processo de fotossíntese, neutralizando o pH das águas, principalmente na BHCC. Essa correlação entre pH e fotossíntese de organismos aquáticos pode ser vista nos trabalhos de Sousa et al., (2009), Cavalcanti e Sá (2010), Buzelli e Cunha-Santino (2013), dentre outros.

Os organismos fotossintetizantes presentes na área de estudos são algas verdes (cor refletida), formando verdadeiros tapetes próximos a superfície em períodos de vazante. Esses organismos podem ser encontrados em águas doces e salgadas e, se parecem, estruturalmente, com plantas aquáticas (Ferreira et al., 2013; Silva et al., 2020). A sua importância para o ambiente é notória, sobretudo para a manutenção e desenvolvimento da vida aquática, devido a sua utilização para consumo da fauna, oxigenação das águas, dentre outros. A ocorrência de algas pode afetar a qualidade das águas dos rios em função de sua proliferação, atividade fotossintética e morte de organismos (Buzelli; Cunha-Santino, 2013).

Além das algas, há a ocorrência de macrófitas, que são plantas aquáticas flutuantes ou submersas, consideradas, na literatura, como bioindicadores de qualidade da água (Martins et al., 2003; Rocha et al., 2012). Além de retirar o gás carbônico da água através do processo de fotossíntese, as macrófitas são fontes de alimento para outros organismos aquáticos, contribuem na ciclagem de nutrientes e de matéria orgânica. No entanto, a sua ocorrência abundante no meio aquático pode ocasionar poluição, devido ao processo natural de

eutrofização. No córrego Catolé, foi possível identificar próximo de suas margens, macrófitas aquáticas do tipo *Egeria sp.*

O substrato rochoso em que as águas da BHRB percorrem, isto é, rochas pelito-carbonáticas pertencentes à Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí), contribuem para o aspecto básico do pH na seção de análise.

❖ Temperatura das Águas

A temperatura das águas no córrego Catolé apresentou variação entre 21,1 °C (julho) e 27,7 °C (março), com média anual de 24,1 °C. No riacho Borrachudo, os valores de temperatura oscilaram entre 19,5 °C (julho) e 25,5 °C (setembro), com média anual de 23,1 °C. Autores como Braga et al., (2002) mencionam a influência do meio externo nos valores de temperatura, o que foi notado na área de estudos. Em geral, a temperatura das águas acompanhou as variações de temperatura do ar e velocidade dos ventos, isto é, temperaturas mais baixas e maior velocidade dos ventos no período seco, temperaturas mais altas e menor velocidade dos ventos no período chuvoso – Gráfico 4.

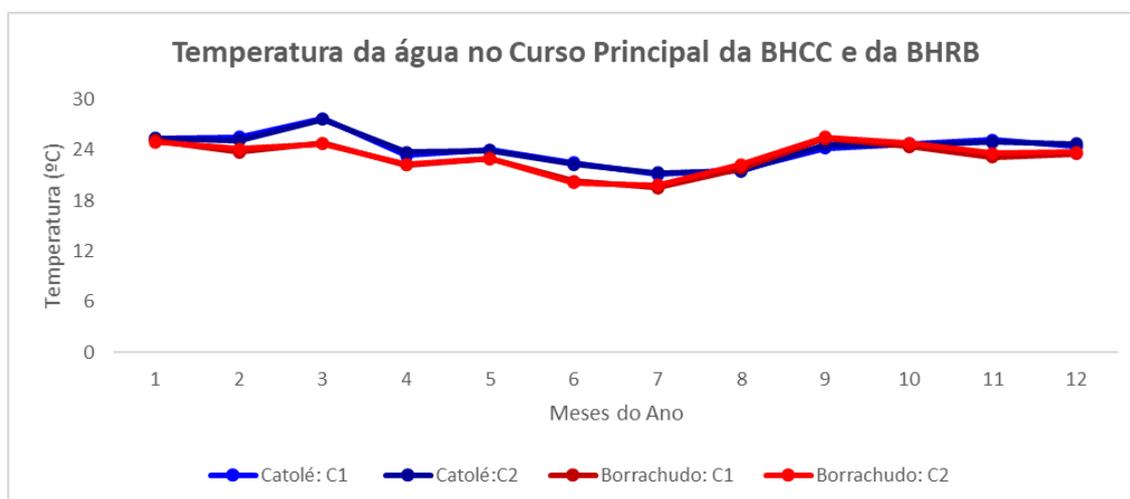


Gráfico 4: Temperatura da Água no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021

Elaboração: A autora, 2021.

Em geral, as águas do riacho Borrachudo são mais frias do que o córrego Catolé, o que possivelmente pode estar associado aos seguintes fatores: maior rapidez de descarga, devido às maiores declividades, principalmente em áreas

da média bacia; menor largura e maior profundidade do canal, expondo uma menor superfície de suas águas à radiação solar; e menor superfície de áreas úmidas (veredas). O fluxo aparentemente mais turbulento do córrego Catolé, também pode contribuir para o aumento de temperatura das suas águas, devido a força de fricção, ou, ao menos, por manter a temperatura da coluna d'água mais uniforme.

❖ Turbidez

As águas do curso principal da BHCC podem ser consideradas de baixa turbidez, uma vez que, em 12 das 24 medições realizadas (50%), houve ausência de turbidez (0 NTU). As medições em que as águas se encontravam turvas foram realizadas durante o período chuvoso, especificamente em coletas realizadas sob chuvas ou com ocorrências nas últimas horas, como nos casos de janeiro (14,9 mm), novembro (9 mm) e dezembro (0,6 mm).

No mês de março, o córrego Catolé apresentou a maior turbidez registrada (32,20 NTU). Sua associação é com a erosividade da chuva que atingiu a bacia nas vinte e quatro horas anteriores às medições. Embora não tenha sido computado pela estação meteorológica da PCH Pandeiros nenhum mm de precipitação, havia registros *in loco* de precipitações intensas na noite anterior à coleta, como o maior volume das águas do curso principal e a várzea inundada. Esse episódio de chuvas foi também relatado por um residente da margem direita do córrego Catolé, situado a poucos metros do ponto de amostragem. Conforme os registros da PCH Pandeiros, as maiores precipitações ocorreram dois dias antes, totalizando 39,6 mm.

É importante destacar que foi identificado maior volume de chuvas no mês de fevereiro (284,4 mm) do que em março (60 mm), assim também como valores diários mais elevados (41,2 mm e 42 mm). No entanto, essas precipitações foram bem distribuídas ao longo do dia, o que resulta em menor erosividade. Quanto às precipitações de março, em apenas 30 minutos choveu aproximadamente 25,2 mm – Gráfico 5.

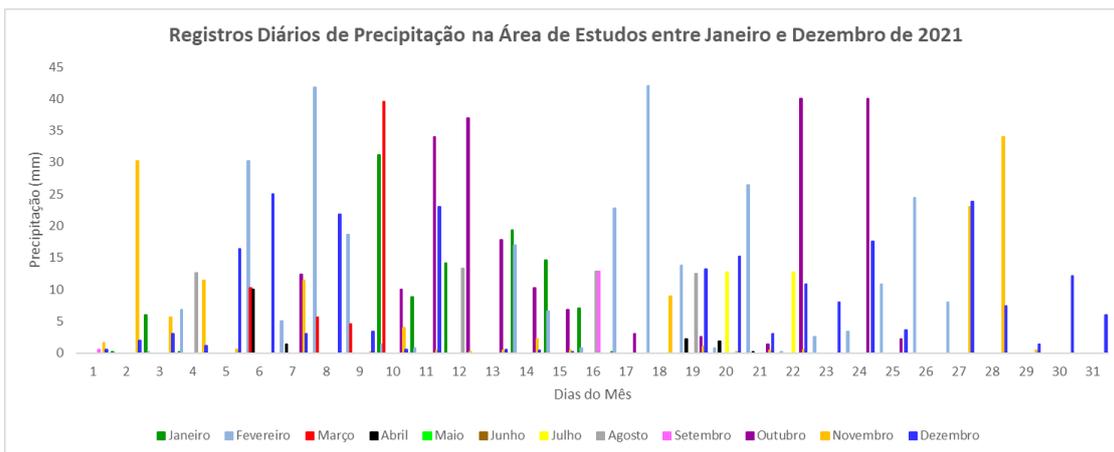


Gráfico 5: Registros de precipitação na área de estudos entre janeiro e dezembro de 2021
 Fonte: ANA, 2022. Elaboração: A autora, 2021.

A turbidez apresentada pelo córrego Catolé na medição de junho (6,29 NTU e 5,37 NTU) e julho (1,64 NTU e 1,72 NTU) pode estar associada com o despejo de esgotos domésticos por moradores que residem dentro dos limites das veredas ou muito próximos a elas, conforme mapeamento realizado por Borges e Costa (2021) na bacia do rio Pandeiros. Ou então, associada à atividade biológica, como a biogênese.

O riacho Borrachudo, apresentou valores entre 0,46 NTU (setembro) e 468 NTU (fevereiro), não havendo medições com ausência de turbidez. O período chuvoso compreende os maiores valores, podendo ultrapassar o valor considerado aceitável (100 NTU) pelo CONAMA, como ocorreu em fevereiro (468 NTU e 456 NTU), novembro (130,5 NTU e 131,1) e dezembro (109,6 NTU e 79 NTU) – Gráfico 6. À medida que as chuvas cessam, a turbidez também reduz consideravelmente, cujos valores no período de vazante atingem no máximo 20 NTU.

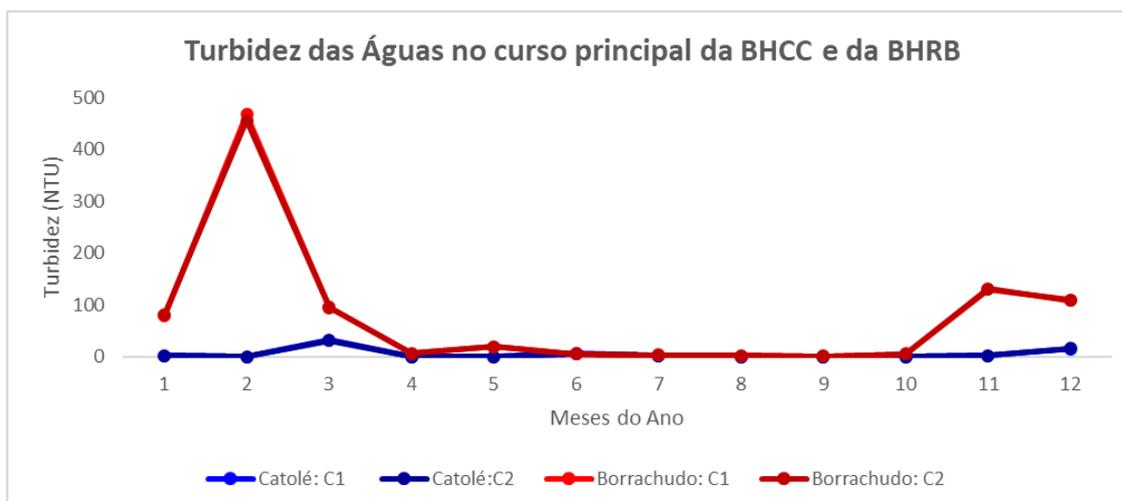


Gráfico 6: Turbidez das Águas no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021

Elaboração: A autora, 2021.

Os fatores que possivelmente estão condicionando à elevada turbidez do riacho Borrachudo são as maiores declividades na média bacia, decorrentes do grau mais avançado de evolução do relevo, provocando maior escoamento superficial das águas da chuva, e conseqüentemente, maior erosão. Esse maior escoamento, que repercute nas vazões e na turbulência do fluxo, aumenta a quantidade de sólidos transportados e contribui para uma maior turbidez.

A correlação entre turbidez e sólidos suspensos é demonstrada na literatura (Ribeiro et al., 2005; Chanson; Takeuchi; Trevethan, 2008; Andrade Neto et al., 2012; Medeiros; Segundo; Magalhães, 2015). De acordo com esses autores, a turbidez pode ser considerada como um indicador da presença de sólidos (suspensos) na coluna d'água.

As menores declividades na BHCC, seus relevos relativamente planos em grande parte da bacia e a ocorrência de áreas úmidas fazem com que a infiltração da água no solo e o seu armazenamento prevaleçam sobre o escoamento superficial. Conseqüentemente, há tendência de menor turbidez das águas em função de menor erosão.

❖ Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

O curso principal da BHCC apresenta em geral, baixa quantidade de sólidos totais dissolvidos, podendo apresentar valores inferiores a 5 mg/L como nos meses de maio e julho. Em apenas dois meses do ano (março e dezembro) que o córrego Catolé apresentou valores de STD mais elevados, em média cerca de 88,42 mg/L e 66,01 mg/L, respectivamente. Em geral, a quantidade de STD presente nas águas do riacho Borrachudo é maior do que aquelas apresentadas pelo córrego Catolé, com a maioria dos valores (58%) oscilando entre 65 mg/L e 80 mg/L – Gráfico 7. O valor mínimo apresentado pelo riacho Borrachudo foi no mês de maio, com aproximadamente 10 mg/L.

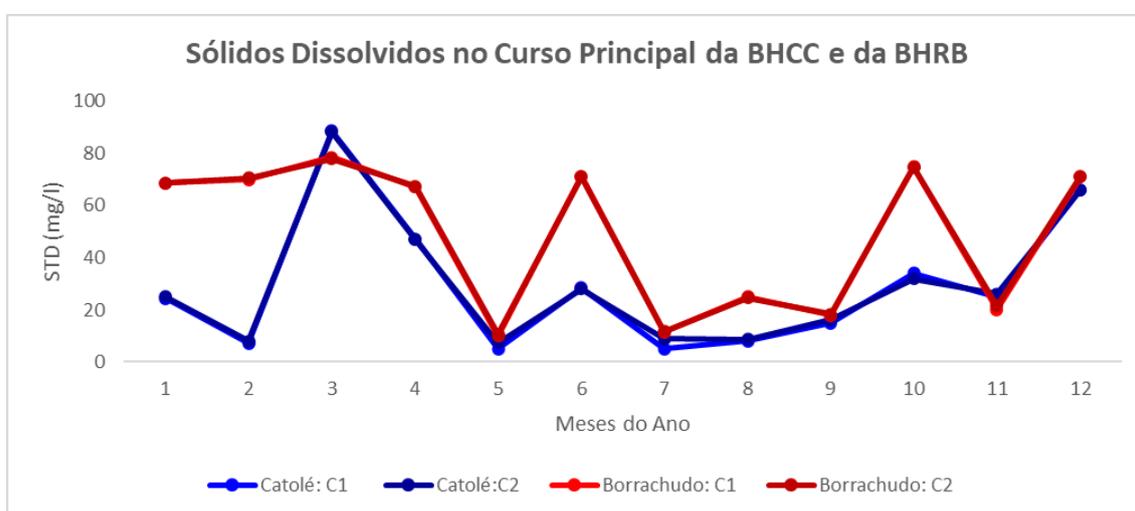


Gráfico 7: Sólidos Totais Dissolvidos nos Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021
Elaboração: A autora, 2021.

Os baixos valores de STD no córrego Catolé e valores mais elevados no riacho Borrachudo, encontrados por meio deste trabalho, possuem concordância com as medições realizadas por Ferreira, Moreira e Carvalho (2017) para a mesma área de estudo. Esses autores encontram valores de 6,18 mg/L e 4,67 mg/L no córrego Catolé, 146,2 mg/L e 143,6 mg/L no riacho Borrachudo, em campanhas de campo realizadas nos meses de março e de outubro de 2016, em seções dos canais principais muito próximos daquelas em que foram realizadas as medições deste trabalho.

Em geral, as bacias de estudo têm baixo potencial de apresentar alta carga dissolvida, devido a 84% da BHCC e 80% da BHRB serem compostos por

arenitos do grupo Urucua, isto é, são compostas por rochas com baixos teores de sais. No entanto, a ocorrência de formações pelito-carbonáticas pertencentes ao grupo Bambuí (Formação Sete Lagoas), situadas ao longo do baixo e médio curso do riacho Borrachudo, contribui para que esse canal apresente uma maior carga dissolvida. Isso ocorre em função das rochas carbonáticas serem mais suscetíveis ao intemperismo químico (dissolução), ou seja, seus elementos químicos são facilmente lixiviados.

❖ Condutividade Elétrica (CE)

Os valores de condutividade elétrica (CE) apresentados pelo córrego Catolé em geral são baixos (75%), com média de 49,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 2021. Os valores mais elevados foram identificados em março (96,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$), julho (182,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e dezembro (117,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$), acompanhado as maiores quantidades de sólidos dissolvidos. O riacho Borrachudo, apresentou média anual de 190,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica, com picos mais significativos em julho (939 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e outubro (636 $\mu\text{S}/\text{cm}$) – Gráfico 8.

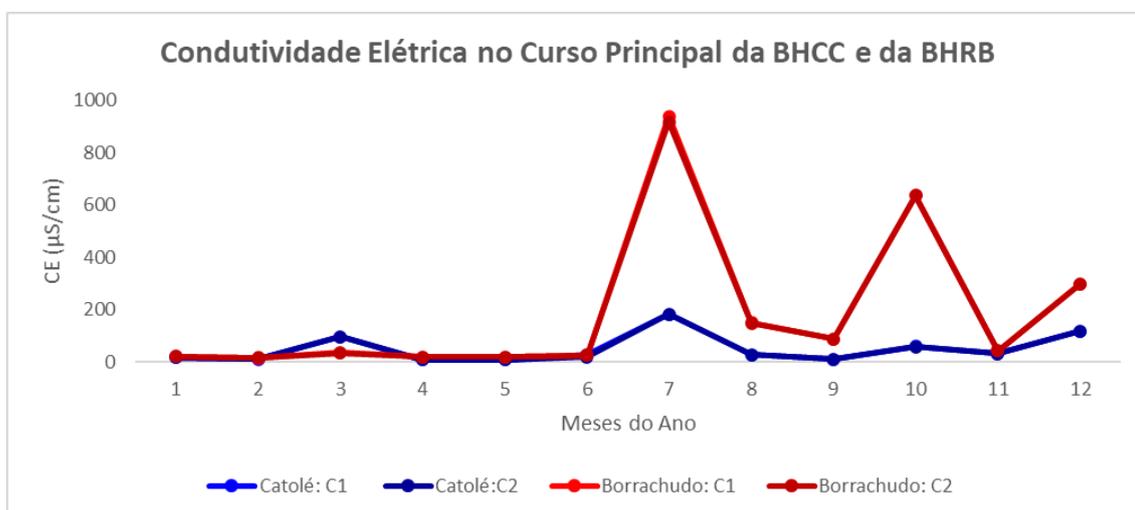


Gráfico 8: Condutividade Elétrica no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021

Elaboração: A autora, 2021.

Os valores de CE mais elevados no riacho Borrachudo estão associados com a solubilização de elementos das rochas carbonáticas, assim como ocorre

com os sólidos totais dissolvidos. A associação entre esses dois parâmetros (CE e STDs) é também abordada nos estudos de Baggio; Freitas; Araújo (2016), Stevaux; Latrubesse (2017), Estevam; Silva; Silva (2019), dentre outros.

A Resolução do CONAMA (357/2005) não aponta um limiar para esse parâmetro, mas para a CETESB (2009), valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são indicativos de influência antrópica e/ou pela presença de materiais suscetíveis à corrosão. Nas duas bacias de estudo, os valores de condutividade elétrica ultrapassaram 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 2 medições realizadas no córrego Catolé e em 4 do riacho Borrachudo. Dentre esses dois possíveis fatores condicionadores da condutividade elétrica elevada, a presença de materiais suscetíveis à corrosão é a que parece possuir maior correlação, haja vista que a quantidade de cátions e ânions depende do substrato rochoso em que as águas percorrem.

No córrego Catolé, as águas situadas à montante da seção de coleta são consideradas por Ferreira, Moreira e Carvalho (2017) como bicarbonatadas sódicas, e as águas do riacho Borrachudo são bicarbonatadas sódicas próximas à nascente, em áreas do Grupo Urucuaia, e bicarbonatadas cálcicas com teores de magnésio e sulfato, sob o grupo Bambuí, na média bacia.

❖ Vazão Média

O curso principal da BHCC apresentou maiores valores médios de vazão no período chuvoso e menores valores no período de vazante. No mês de dezembro, considerado o mais chuvoso da região, foi constatada a maior vazão (8,27 m^3/s). O mês de agosto foi considerado como o de menor vazão (2,45 m^3/s), pois considera-se que o dado obtido no mês de janeiro (1,50 m^3/s e 1,20 m^3/s) são *outliers*, ou seja, um valor muito diferente dos demais e da média anual (3,86 m^3/s), por isso não foi considerado.

Assim que as chuvas se iniciam, as vazões do córrego Catolé se recuperam e mantêm-na durante todo o período chuvoso (outubro a março). A redução de sua vazão é mínima ao longo do ano, sendo apenas de 1,25 m^3/s em relação à média anual, considerando os meses mais secos (julho e agosto).

E apenas uma pancada de chuva isolada, como a que ocorreu em setembro (12,8 mm), já resultou na recuperação da vazão (3,20 m³/s).

A BHRB, por sua vez, apresentou valor máximo de vazão em dezembro (3,71 m³/s) e valor mínimo no mês de setembro (0,08 m³/s). Este canal também possui associação de suas vazões com o regime de chuvas. O riacho Borrachudo reduz gradativamente as suas vazões ao longo do ano, de modo que antes de iniciar o período chuvoso, o canal fica quase sem vazão. Quando o período chuvoso se inicia, as vazões vão lentamente aumentando, ou seja, embora as chuvas geralmente iniciem-se em outubro, somente no mês de dezembro há a recuperação da vazão. Assim, as maiores vazões do riacho Borrachudo corresponderam aos meses de dezembro (3,71 m³/s; 3,67 m³/s), janeiro (3,70 m³/s; 3,72 m³/s), fevereiro (3,44 m³/s; 3,41 m³/s) e março (2,76 m³/s; 2,79 m³/s) e as menores nos meses de julho (0,20 m³/s; 0,18 m³/s), agosto (0,15 m³/s; 0,16 m³/s) e setembro (0,08 m³/s; 0,10 m³/s) – Gráfico 9. Quando as chuvas cessam, o riacho não consegue manter sua vazão, reduzindo em torno de 1,05 m³/s em apenas um mês de estiagem.

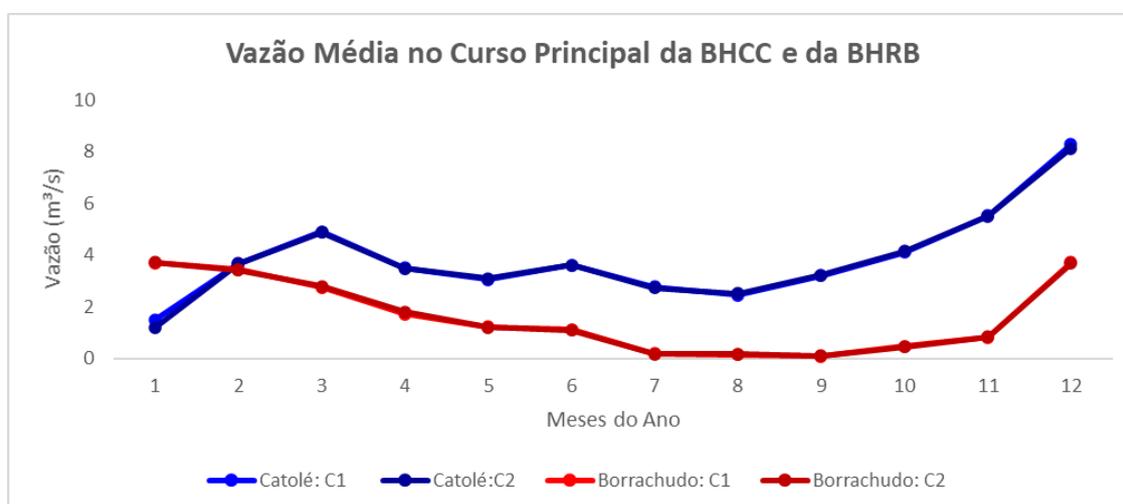


Gráfico 9: Vazões Médias no Curso Principal da BHCC e da BHRB entre janeiro e dezembro de 2021

Elaboração: A autora, 2021.

Com relação à disponibilidade hídrica nas bacias representado por meio das vazões específicas, percebe-se que na BHCC há maior disponibilidade anual (0,0074 m³/s/km²), e mesmo que se reduza no período seco (0,0057 m³/s

km²), sua modificação é gradual e mínima com relação ao período chuvoso (0,0090 m³/s/km²).

Na BHRB, a maior disponibilidade hídrica ocorre no período chuvoso (0,0011 m³/s km²), isto é, 12% inferior a capacidade da BHCC no mesmo período. No período seco, sua disponibilidade reduz consideravelmente, atingindo 0,0002 m³/s km² no mês de setembro. Com o início das precipitações, a disponibilidade vai aos poucos de reestabelecendo, e somente em dezembro (0,0100 m³/s km²) que ultrapassa a média anual (0,0043 m³/s km²), ou seja, não é instantâneo às chuvas como na BHCC. Nesse sentido, os meses entre dezembro e abril correspondem às maiores vazões específicas da BHRB, e logo após o início das estiagens sua disponibilidade hídrica torna-se baixa a baixíssima (Tabela 8).

Data das Campanhas	CÓRREGO CATOLÉ			RIACHO BORRACHUDO		
	Vazão Média (m ³ /s) - C1	Vazão Média (m ³ /s) - C2	Vazão Específica (m ³ /s km ²)	Vazão Média (m ³ /s) - C1	Vazão Média (m ³ /s) - C2	Vazão Específica (m ³ /s km ²)
15/01/2021	1,50	1,20	0,0025	3,70	3,72	0,0100
22/02/2021	3,66	3,68	0,0067	3,44	3,41	0,0092
12/03/2021	4,90	4,87	0,0089	2,76	2,79	0,0074
16/04/2021	3,50	3,49	0,0064	1,71	1,80	0,0047
14/05/2021	3,05	3,10	0,0056	1,22	1,20	0,0032
21/06/2021	3,62	3,60	0,0066	1,12	1,10	0,0030
19/07/2021	2,76	2,73	0,0050	0,20	0,18	0,0005
20/08/2021	2,45	2,52	0,0045	0,15	0,16	0,0004
17/09/2021	3,20	3,23	0,0059	0,08	0,10	0,0002
19/10/2021	4,11	4,15	0,0111	0,47	0,45	0,0012
19/11/2021	5,53	5,50	0,0101	0,81	0,84	0,0022
10/12/2021	8,27	8,13	0,0150	3,71	3,67	0,0099

Tabela 8: Vazões Específicas na BHCC e na BHRB
Elaboração: A autora, 2022.

Notou-se que, mesmo que as duas bacias sejam vizinhas, as precipitações podem atingir uma com maior intensidade do que a outra, como ocorreu nos meses de fevereiro e março. Como não há estação pluviométrica nas duas bacias não é possível comprovar a diferença de pluviosidade. No entanto, os registros de campo sinalizam que no mês de fevereiro a pluviosidade que atingiu a BHRB foi maior que na BHCC, devido ao registro em suas margens do transbordamento das águas. Em março, já ocorreu o oposto, as águas do córrego Catolé apresentavam maior turbidez, maior volume e maior largura do canal.

Visualizou-se, em campo, que quando o riacho Borrachudo aumenta suas vazões no período chuvoso, há o transbordamento de suas águas no canal, mas rapidamente o riacho retorna ao nível anterior das águas. Quanto ao córrego Catolé, o volume de suas águas aumenta, assim como aumenta levemente a largura do córrego, no entanto, demora mais para retomar o nível normal das águas.

Com base nos dados obtidos, é possível perceber que as águas do riacho Borrachudo apresentam em média maiores valores de turbidez, maior teor de sólidos dissolvidos, maior condutividade elétrica e vazões menos regulares. Isso foi interpretado como decorrente da presença de relevos mais dissecados, que faz com que as águas das chuvas sejam mais rapidamente escoadas, provocando picos de cheias, maior produção e transporte de sedimentos. Na BHCC, a maior superfície ocupada pelas veredas ao longo dos canais e o relevo menos dissecado, associados a um estágio menos avançado da evolução geomorfológica regional, fazem com que, em geral, a BHCC possua baixa turbidez de suas águas mesmo no período chuvoso, como também, reduzido número de sólidos e vazões mais equilibradas (Tabela 9).

PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS NA BHCC												
Data das Campanhas	pH		Temperatura da Água (°C)		Turbidez (NTU)		Sólidos Dissolvidos (mg/L)		Condutividade Elétrica (µS/cm)		Vazão média (m³/s)	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
15/01/2021	5,47	5,41	25,3	25,4	2,28	2,31	24,29	25,10	16,75	16,70	1,50	1,20
22/02/2021	7,01	7,09	25,5	25,1	0,00	0,00	7,14	8,04	11,55	12,01	3,66	3,68
12/03/2021	7,61	7,70	27,7	27,6	32,20	30,60	88,57	88,26	96,00	96,35	4,90	4,87
16/04/2021	7,00	7,05	23,3	23,7	0,00	0,00	47,14	46,95	8,52	8,75	3,50	3,49
14/05/2021	6,87	6,86	24,0	23,9	0,00	0,00	4,95	7,30	9,09	9,07	3,05	3,10
21/06/2021	7,60	7,63	22,5	22,3	6,29	5,37	28,43	28,10	28,10	19,99	3,62	3,60
19/07/2021	8,14	8,19	21,1	21,3	1,64	1,72	4,98	9,00	183,30	181,80	2,76	2,73
20/08/2021	8,23	8,25	21,6	21,5	0,00	0,00	8,00	8,70	28,00	28,60	2,45	2,52
17/09/2021	7,24	7,19	24,2	24,6	0,00	0,00	15,00	16,20	10,02	10,07	3,20	3,23
19/10/2021	7,38	7,40	24,7	24,5	0,00	0,00	34,00	31,90	59,40	58,90	4,11	4,15
19/11/2021	8,24	8,25	25,2	24,9	1,77	1,73	25,00	26,10	31,20	32,10	5,53	5,50
10/12/2021	7,20	7,17	24,4	24,7	15,48	15,97	66,00	66,02	117,40	117,03	8,27	8,13

PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS NA BHRB												
Data das Campanhas	pH		Temperatura da Água (°C)		Turbidez (NTU)		Sólidos Dissolvidos (mg/L)		Condutividade Elétrica (µS/cm)		Vazão média (m³/s)	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
15/01/2021	4,99	5,03	25,1	24,9	79,30	82,10	68,57	68,65	20,86	20,90	3,70	3,72
22/02/2021	7,04	7,21	23,7	24,1	468,00	456,00	70,00	70,70	15,66	16,01	3,44	3,41
12/03/2021	7,25	7,99	24,8	24,7	94,40	95,30	78,57	77,90	35,50	34,94	2,76	2,79
16/04/2021	6,63	6,60	22,2	22,3	6,87	5,90	67,14	67,45	19,91	19,87	1,71	1,80
14/05/2021	7,17	7,15	23,0	22,9	19,50	18,97	10,00	10,60	19,45	19,50	1,22	1,20
21/06/2021	7,36	7,39	20,3	20,1	4,93	5,50	71,29	71,01	26,60	26,10	1,12	1,10
19/07/2021	7,83	7,79	19,5	19,8	3,60	3,59	11,43	11,60	939,00	917,00	0,20	0,18
20/08/2021	7,56	7,54	21,8	22,3	1,61	1,58	25,00	24,70	149,40	148,90	0,15	0,16
17/09/2021	7,20	7,30	25,3	25,5	0,46	0,59	18,00	18,40	88,10	88,65	0,08	0,10
19/10/2021	7,32	7,35	24,4	24,8	5,66	5,40	75,00	74,80	636,00	635,80	0,47	0,45
19/11/2021	7,40	7,37	23,1	23,6	130,50	131,10	20,00	21,50	43,60	42,30	0,81	0,84
10/12/2021	7,14	7,09	23,5	23,7	109,60	109,00	71,00	71,20	299,00	299,60	3,71	3,67

Tabela 9: Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas na BHCC e BHRB entre janeiro e dezembro de 2021. Elaboração: A autora, 2021.

Com base no teste de correlação de Pearson dos parâmetros físicos e físico-químicos das águas na BHCC, notou-se que houve uma correlação positiva (0,87) entre os sólidos dissolvidos e a turbidez. Ambos apresentaram valores consideravelmente baixos ao longo do ano, com ocorrências isoladas de valores mais elevados em medições realizadas em dias chuvosos. Essa associação também pode ser percebida por meio da associação entre esses indicadores com a vazão (0,62 e 0,52), respectivamente (Tabela 10).

A temperatura da água apresentou uma correlação moderada com a turbidez (0,57) e os sólidos dissolvidos (0,59) na BHCC. Acredita-se que isso ocorreu em função que os dias e/ou períodos chuvosos, também possuem temperaturas mais elevadas, em função da influência da temperatura do ar.

Na BHRB, as maiores correlações ocorreram entre a vazão e parâmetros como os sólidos dissolvidos (0,66), a turbidez (0,59) e o pH (-0,55). A correlação negativa para o pH se justifica pelo fato de que o aumento das vazões tende a

se refletir na redução do pH, pois nessas condições há maior diluição das soluções do solo e das águas dos rios (Lopes; Magalhães Júnior, 2010).

Teste de Correlação de Pearson dos Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas da BHCC						
	pH	Temperatura	Turbidez	Sólidos Dissolvidos	Condutividade Elétrica	Vazão média
pH	1	-0,37	0,09	-0,03	0,39	0,29
Temperatura		1	0,57	0,59	-0,16	0,33
Turbidez			1	0,87	0,43	0,52
Sólidos Dissolvidos				1	0,29	0,62
Condutividade Elétrica					1	0,34
Vazão média						1

Teste de Correlação de Pearson dos Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas da BHRB						
	pH	Temperatura	Turbidez	Sólidos Dissolvidos	Condutividade Elétrica	Vazão média
pH	1	-0,38	-0,07	-0,32	0,36	-0,55
Temperatura		1	0,26	0,27	-0,36	0,38
Turbidez			1	0,30	-0,27	0,59
Sólidos Dissolvidos				1	-0,19	0,66
Condutividade Elétrica					1	-0,36
Vazão média						1

Tabela 10: Correlação de Pearson dos Parâmetros Físicos e Físico-químicos das Águas da BHCC e da BHRB

Elaboração: A autora, 2023.

Os parâmetros que apresentaram uma correlação positiva/negativa fraca (-0,30 a 0,30) são indicativos de oscilações dos valores de alguns parâmetros em certas medições, devido a atributos específicos. No período seco por exemplo, a turbidez das águas tende a ser reduzida em função da ausência de chuvas ou da diminuição de sua erosividade. Contudo, nessa época há a presença de organismos aquáticos (algas, macrófitas) que provocam a turbidez das águas, em função do processo eutrofização ou da sua decomposição.

Os sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica são parâmetros físicos das águas que geralmente se associam (Baggio; Freitas; Araújo, 2016; Stevaux; Latrubesse, 2017; Santos et al., 2018). Contudo, deve-se levar em consideração a temperatura da água e o tipo de sólidos, isto é, a sua composição, pois sólidos dissolvidos provenientes da decomposição da matéria orgânica resultam em baixa condutividade (Cavalcante et al., 2007). Nas duas bacias de estudo, a presença de áreas úmidas (veredas) à montante dos pontos de coleta contribui para a fraca correlação entre os sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica.

Portanto, deve-se considerar que os parâmetros físicos e físico-químicos sofrem influência do meio físico percorridos pelas águas, das ocorrências de atividades antrópicas, das características do próprio canal e da coluna d'água, além dos atributos apresentados pelos próprios parâmetros.

5.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora existam áreas com maior potencial erosivo na BHCC devido à maior declividade em determinados trechos, os parâmetros físicos e físico-químicos das águas sinalizam que na BHRB há maior transporte de sedimentos, resultando em valores mais elevados de turbidez, sólidos dissolvidos e condutividade elétrica, além de menor regularidade na vazão. Os resultados sugerem que a maior presença de áreas úmidas do tipo vereda ao longo do canal do córrego Catolé pode ser apontada como uma das causas para a menor quantidade de sedimentos transportados por este canal no ponto de amostragem de água, em comparação com a BHRB, e pela vazão mais regular deste canal, ao longo do ano. Isso reforça a importância de estudos mais detalhados sobre o papel das áreas úmidas nos parâmetros (físicos e químicos) das águas dos rios da região do Cerrado.

5. CONCLUSÕES

Em áreas do Cerrado brasileiro e do norte de Minas Gerais há a ocorrência de antigas superfícies de aplanamento, associadas conforme King (1956) ao processo de pediplanação. Remanescentes ainda preservados dessas superfícies são encontrados na área de estudos, e estes correspondem às chapadas, com altitudes acima de 800 metros (Superfície Sul-Americana). A erosão dessa e um novo ciclo de aplanamento (Velhas) fez com que uma nova superfície (Superfície Sul-Americana I), de cotas altimétricas mais baixas (650 metros) fosse elaborada. A maior parte do relevo do Norte de Minas Gerais, a oeste da Serra do Espinhaço, e do domínio do Cerrado, em geral, foi elaborado a partir destes dois níveis de aplanamento.

Sobre essas superfícies de aplanamento ainda persistem vales amplos e rasos, caracterizados por baixas declividades e baixa densidade de drenagem, nos quais se encontram as áreas úmidas (AUs), ambientes de grande importância ambiental. Particularmente importantes para o Cerrado são as AUs do tipo vereda. As suas contribuições são notórias, sobretudo na regulação do clima, ciclagem de nutrientes, na qualidade das águas dos rios e no tempo de residência das águas nas bacias.

Nesta pesquisa, partiu-se dos pressupostos de que a morfogênese das superfícies planas e elevadas (superfícies de aplanamento) das regiões de clima tropical úmido e sub-úmido é comandada pelo processo de incisão fluvial e de que a representatividade espacial das áreas úmidas no contexto das bacias hidrográficas (superfície ocupada pelas áreas úmidas) é um indicador do estágio de evolução dos relevos e das paisagens. Foram selecionadas para estudo duas bacias hidrográficas de características físicas aproximadamente semelhantes (nível hierárquico, área, cobertura vegetal e litologia), mas com significativa diferença quanto à superfície ocupada pelas áreas úmidas.

Portanto, como hipótese de pesquisa, levantou-se que as bacias a serem investigadas encontrariam-se em diferentes estágios de evolução geomorfológica, fato que se refletiria na dinâmica das vertentes (potencial de perda de solo) e no funcionamento dos canais fluviais (regime, parâmetros

físicos e físico-químicos das águas). A hipótese conduziu ao objetivo geral da pesquisa, que foi o de avaliar a relação entre a representatividade espacial das áreas úmidas do tipo vereda no contexto de bacias hidrográficas do Norte de Minas Gerais, o estágio de evolução dos relevos de superfícies de aplanamento e seus reflexos na dinâmica das vertentes e no funcionamento dos canais fluviais.

Para que fossem atingidos os objetivos, foram utilizados métodos e técnicas de diferentes campos de conhecimento, como sensoriamento remoto, modelagem em ambiente de SIGs, trabalhos de campo e análises de amostras d'água em laboratório.

Os resultados da pesquisa foram organizados em três capítulos. No primeiro deles, a investigação permitiu constatar que a bacia do riacho Borrachudo possui maior índice de rugosidade, maior densidade de drenagem e maior declividade média, o que reflete a presença de vertentes mais íngremes e maior potencial de escoamento. Verificou-se que os parâmetros morfométricos e o índice de dissecação do relevo sinalizam que os relevos da bacia do riacho Borrachudo se encontram em estágios evolutivos mais avançados do que os relevos da bacia do córrego Catolé. Os maiores valores de potencial de perda de solo foram encontrados na bacia do Córrego Catolé, mas isso ocorre em áreas restritas, associadas às escarpas entre as superfícies Sul-Americana e Sul-Americana I. Por se situarem nos altos cursos dos canais, à montante das áreas úmidas, esse potencial não se reflete em maior perda de solo no contexto da bacia, em comparação com a bacia do riacho Borrachudo, onde o valor médio de perda de solos foi maior.

No segundo capítulo dos Resultados, demonstrou-se que a bacia do riacho Borrachudo apresentou maior superfície com baixo potencial de umidade e menor quantidade de áreas úmidas, o que foi atribuído à presença de relevos de maior gradiente. Verificou-se que o perfil longitudinal possui maior desnível altimétrico, e uma curva com maior proximidade da curva de perfis considerados "em equilíbrio". No caso do córrego Catolé, constatou-se que a maioria das nascentes são compostas por áreas úmidas e que estas se estendem por grande parte da bacia, ao longo da rede de drenagem. Verificou-se, conseqüentemente,

um maior potencial de umidade e um perfil longitudinal menos próximo daquele dos perfis considerados “em equilíbrio”, isto é, parte significativa da média bacia e a alta bacia do córrego Catolé encontra-se a montante do principal *knickpoint* do canal e, portanto, ainda não estão “ajustadas” ao atual nível de base da bacia.

No terceiro capítulo dos Resultados, foi demonstrado que as águas do córrego Catolé apresentaram ausência de turbidez nas medições realizadas durante o período seco e valores baixos em dias chuvosos, com vazões regularizadas ao longo do ano. O riacho Borrachudo, por sua vez, apresentou turbidez e elevada no período chuvoso e baixa no período seco, embora em nenhuma medição houve ausência de turbidez. Verificou-se, também, que a vazão do riacho Borrachudo foi menos regular do que a do córrego Catolé, ao longo do ano estudado.

Estes resultados são coerentes com as diferenças de representatividade das áreas úmidas, de morfologia das vertentes e de morfometria da rede hidrográfica entre as duas bacias, associadas ao estágio de evolução de seus relevos. O rejuvenescimento das paisagens, mais avançado na bacia do riacho Borrachudo, implica em melhoria das condições de drenagem e aumento da eficiência do escoamento, transformando os vales amplos e rasos e seus ambientes hidromórficos (AUs do tipo vereda) em vales encaixados, com canais de fluxo mais acelerado e fitofisionomia de matas-galeria. Logo, a tendência é o desaparecimento remontante das AUs, restando apenas áreas residuais (solos paleo-hidromórficos) no topo das vertentes remodeladas dos vales incisados e nas zonas de cabeceira, a montante dos *knickpoints*, não alcançadas pela onda de erosão remontante. Áreas com essas características são encontradas em outras regiões do Cerrado, portanto, o processo de evolução constatado para as bacias do córrego Catolé e do riacho Borrachudo e as consequentes transformações na paisagem não se restringe à área de estudos desta pesquisa.

Em resumo, os parâmetros morfométricos, o índice de dissecação do relevo, o índice de umidade, o estudo dos *knickpoints* e os parâmetros físicos e físico-químicos das águas ratificaram as interpretações realizadas anteriormente, quanto à relação entre a ocorrência (representatividade) das superfícies de áreas úmidas com relação ao processo de evolução do relevo. As

paisagens compostas por superfícies ainda conservadas e com maior número de AUs favorecem a baixa atividade erosiva, resultando em baixa turbidez e vazões regulares. As paisagens compostas por superfícies dissecadas pela incisão fluvial e erosão remontante apresentam menor número de AUs e os processos erosivos são favorecidos, resultando em turbidez elevada e vazões menos regulares.

Nesse trabalho, o uso das geotecnologias integradas aos trabalhos de campo e análises de laboratório para área de estudos possibilitou compreender e comparar duas bacias hidrográficas. Essas bacias são afluentes importantes do rio Pandeiros, situado na região do médio São Francisco. O conhecimento de suas características e dinâmicas podem auxiliar futuros trabalhos relacionados à transformação das AUs e seus reflexos na qualidade das águas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1 p.81–97, 2003.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Portal HidroWeb**. 2021. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 29 abril 2021.

ANDRADE NETO, J. S.; RIGON, L. T.; TOLDO JÚNIOR, E. E.; SCHETTINI, C. A. F. Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. **Pesquisas em Geociências**, v.39, n.2, p.161-171, 2012.

BAGGIO, H.; FREITAS, M. de. O.; ARAÚJO, A. D. Análise dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e temperatura, no baixo curso do Rio das Velhas-MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.17, n.60, p.105–117, 2016.

BALEK, J. Hydrology of wetlands in the headwaters of Great African Rivers. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGs). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**. Marienbad, Czech Republic, p.203-210, 2006.

BI, E. G.; MONETTE, F.; GASPERI, J. Analysis of the influence of rainfall variables on urban effluents concentrations and fluxes in wet weather. **Journal Of Hydrology**, v.523, 2015, p.320-332.

BORGES, M. G.; COSTA, L. R. F. Tipologia de áreas úmidas na bacia hidrográfica do rio Pandeiros em Minas Gerais – Brasil. **Cadernos de Geografia**. v.32, n.69, 2022.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo-SP: Prentice Hall, 2002.

BRIDON, J.; ROA, M. C.; BROWN, S. J.; SCHREIER, H. Integrating wetlands into watershed management: effectiveness of constructed wetlands to reduce impacts from urban stormwater. In: KRECEK, J.; HAIGH, M. (ORGs). **Environmental Role of Wetlands in Headwaters**. Marienbad, Czech Republic, p.143-154, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente –

CAVALCANTE, L. F.; RODOLFO JÚNIOR, F.; SÁ, J. R. de.; CURVELO, C. R. da S.; MESQUITA, E. F. de. Influência da água salina e matéria orgânica no desempenho do maracujazeiro-amarelo e na salinidade do substrato. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 505–518, 2007.

CHANSON, H.; TAKEUCHI, M.; TREVETHAN, M. Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures of suspended sediment concentration in a small subtropical estuary. **Journal of Environmental Management**, v.88, n.4, p.1406-1416, 2008.

CONAMA. **Resolução do N.º 357, de 17 de março de 2005/03/05. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 09 agosto 2020.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CAVALCANTE, D. H.; SÁ, M. V. C. Efeito da fotossíntese na alcalinidade da água de cultivo da tilápia do Nilo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 67-72, 2010.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade de águas superficiais: **Apêndice A: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**, 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

ESTEVAM, M.; SILVA, A. W. da.; SILVA, F. F. da. Análise Física da Água de entrada no Sistema Agroindustrial de Curtume em Maringá- Paraná. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.41, n.16, p.01-09, 2019.

FERREIRA, L. C.; CUNHA, M. G. G. S.; FIRMO, A. L. B.; BORGES, G. C. P.; LIMA, J. C.; LIMA, E. P.; SILVA, N. B. A. Fitoplâncton como ferramenta de gestão ambiental na praia de Brasília Teimosa, Pernambuco, nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 41, n. 1-2, p. 120-131, 2013.

FERREIRA, V. G.; MOREIRA, R. M.; CARVALHO, C. A. Geohidroquímica entre duas bacias hidrográficas em regiões semiáridas do Brasil. In: 3º Congresso Internacional Rede de Saneamento e Abastecimento de Água – RESAG, **Anais...** Belo Horizonte: RESAG, 2017.

GONÇALVES, V. D.; FERNANDES, C. V. S. Variabilidade Espaço-temporal de Parâmetros de Qualidade da Água ao longo de Seção de Monitoramento do Rio Iguaçú. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.10, n.2, p.533-553, 2017.

LIMA, S. do, C.; QUEIROZ NETO, J. P. de. As veredas e a evolução do relevo. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 15, 1996.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Geografias**. Belo Horizonte n.06, p. 134-147, 2010.

MARTINS, D.; CARDOSO, L. R.; MORI, E. S.; TANAKA, R. H.; Caracterização genética de acessos de Egéria (*Egeria spp.*) coletados no estado de São Paulo utilizando RAPD. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, p.1-6, 2003.

MEDEIROS, P. P.; SEGUNDO, G. H. C.; MAGALHÃES, E. M. M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.29, n.1, p.35-44, 2015.

MELO, D. R. **As veredas nos planaltos do noroeste mineiro, caracterizações pedológicas e os aspectos morfológicos e evolutivos**. Rio Claro - SP: Universidade Estadual de São Paulo, 1992, 218p. (Dissertação, mestrado em Geografia).

_____. **Evolução das veredas sob aspectos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/MG**. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 341p. (Tese, doutorado em Geografia).

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. Montes Claros - MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 58p. (Dissertação, mestrado em Ciências Agrárias).

RIBEIRO, T. R. R.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.295-301, 2005.

ROCHA, C. M. C.; ALVES, A. E.; CARDOSO, A. S.; CUNHA, M. C. C. Macrófitas aquáticas como parâmetro no monitoramento ambiental da qualidade da água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, 2012.

SANTOS, S. A.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G.; SCHIMIDT FILHO, O. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tramandaí, Santa Maria/RS. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia-MG, v.30, n.2, p.23-44

SILVA, T. J. M.; CALLADO, N. H.; SOUZA, V. C. B.; VASCONCELOS, M. R. S. Respostas da qualidade da água e fitoplânctons à redução de vazão e recepção de cargas de sedimentos no reservatório de Xingó/AL. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, 2020.

SOUSA, E. B.; COSTA, V. B.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. Variação temporal do fitoplâncton e dos parâmetros hidrológicos da zona de arrebenção da Ilha Canela (Bragança, Pará, Brasil). **Acta Botânica Brasileira**, v. 23, p.1084-1095, 2009.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 3, 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

ANEXO I

 LabLAAE	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - POP	Página 1 de 3
		Data da Emissão 12/06/2019
Código: POP-COLETA- 007	DETERMINAÇÃO DE VAZÃO	Revisão nº 01
		Data da Revisão 26/03/2020

1. OBJETIVO

Determinar a vazão em águas de rios, lagos, córregos, torneira ou estações de tratamento de efluentes.

2. MÉTODO

Método interno.

3. APLICAÇÃO

Laboratório de Análises de Águas e Efluentes Ltda.

4. DISTRIBUIÇÃO COLETA

5. REFERÊNCIAS

MUELLER, D.S. Field assessment of acoustic-Doppler based discharge measurements. Proceedings of Hydraulic Measurements and Experimental Methods. American Society of Civil Engineers. 1:95-102, 2002.

6. DEFINIÇÕES

Vazão - entende-se por vazão o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em m³/s.

Vazão volumétrica- É definida como sendo a quantidade em volume que escoou através de certa seção em um intervalo de tempo considerado. As unidades volumétricas mais comuns são: m³/s, m³/h, l/h, l/min, GPM (galões por minuto), Nm³/h (normal metro cúbico por hora), SCFH (normal pé cúbico por hora), entre outras.

7. MATERIAIS E REAGENTES

- Cronômetro
- Fita métrica
- Balde graduado

8. PROCEDIMENTO

Método A - Medições em ambientes:

1. Medir a largura do canal com o uso de uma fita métrica (trena), ex: 3,5 metros de uma margem a outra.
2. O próximo passo foi medir a profundidade média do córrego. Para medir a profundidade foi usado uma vara (ripa) de madeira de dois metros de comprimento, devidamente marcada em escala métrica (da mesma forma que uma régua escolar). Foi feito primeiro uma avaliação do leito do córrego, o qual apresentou-se de forma homogênea (sem variações no eixo transversal), pois caso ocorra grandes variações é necessário uma melhor cobertura do número de pontos amostrados, neste caso foram necessárias quatro medições, duas nas margens e duas no meio do canal.
3. Após foi somado as profundidades, ex: margem esquerda 0,40 metros, meio 0,85 e 0,70 metros e margem direita 0,30 metros, totalizando 2,95 metros, este valor dividido pelo número de pontos é de 0,73 metros ($h=2,95/4$).

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - POP	Página 2 de 3
		Data da Emissão 12/06/2019
Código: POP-COLETA- 007	DETERMINAÇÃO DE VAZÃO	Revisão nº 01
		Data da Revisão 26/03/2020

- Feito o cálculo da profundidade média, o próximo passo foi estimar a velocidade média do córrego. Para isso foi usado um pequeno cano plástico de 40 cm de comprimento (neste caso pode ser substituído por uma garrafa de dois litros de refrigerante com peso suficiente para que fique com a parte do bico de fora da água) com peso (areia) para que possa flutuar com a maior parte imersa. Foi determinada uma distância de 2 metros (pista) para que o cano percorra e seja cronometrado o tempo. O cano foi solto cerca de meio metro antes do início da distância fixada (pista), para que ele possa adquirir aceleração suficiente e seguir na mesma velocidade da água, o tempo decorrido para o cano percorrer os dois metros foi de 13 segundos, este valor foi a média de três medições.
- Logo a velocidade média da correnteza para o dia e hora estimada foi de 0,15 m/s ($V = 2/13$). Já calculado as três variáveis necessárias para estimar a vazão, podemos então obter Q. Usando a equação da vazão fica $Q = 0,15 \times 0,73 \times 3,50$, temos 0,383 m³/s, ou seja, 383 litros por segundo que passam neste trecho amostrado.

$$Q = v \cdot h \cdot w$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

V = velocidade do fluxo de água (m/s)

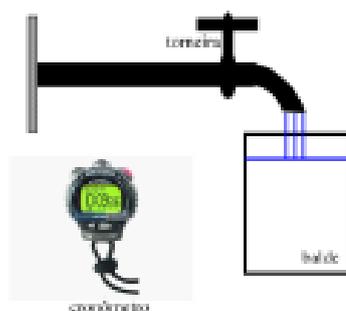
h = profundidade média na seção transversal do canal (m)

w = largura do canal

Método B – Medições em recipientes

- Com auxílio de um recipiente (balde) com o volume conhecido, enchê-lo e medir com o auxílio de um cronômetro o tempo necessário para que o recipiente encha até a marca escolhida, conforme mostra figura e realizar o cálculo.

Para transformar litros em m³ basta dividir por 1000.



$$Q_v = \frac{V}{t}$$

Onde: V = volume (m³), t = tempo (segundos), Q = vazão volumétrica (m³/s).