



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado



PAULO ELIARDO MORAIS DE LIMA

**A QUESTÃO DA ÁGUA E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS:
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DIAGNÓSTICO
AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU NO NORDESTE GOIANO**

Anápolis

2019

PAULO ELIARDO MORAIS DE LIMA

**A QUESTÃO DA ÁGUA E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS:
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DIAGNÓSTICO
AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO
BARTOLOMEU NO NORDESTE GOIANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Mendonça Oliveira de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos de Melo e Silva Neto

Anápolis

2019

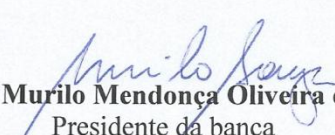
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

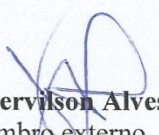
L732q	Lima, Paulo Eliardo Morais de A questão da água e impactos socioambientais: caracterização morfométrica e diagnóstico ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu no Nordeste Goiano / Paulo Eliardo Morais de Lima. -- Anápolis, 2019. 87 f. : il., 23 figs, 25 tabs. Orientador: Prof. Dr. Murilo Mendonça Oliveira de Souza Coorientador: Prof. Dr. Carlos de Melo e Silva Neto Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais do Cerrado) -- Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2019. 1. Bacias Hidrográficas. 2. Bioma Cerrado. 3. Sistemas de Informação Geográfica. 4. Unidades de Conservação. I. Souza, Murilo Mendonça Oliveira de, orient. II. Silva Neto, Carlos de Melo e, coorient. III. Título.
-------	--

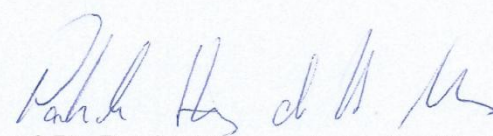
PAULO ELIARDO MORAIS DE LIMA

A QUESTÃO DA ÁGUA E IMPACTOS
SOCIOAMBIENTAIS: CARACTERIZAÇÃO
MORFOMÉTRICA E DIAGNÓSTICO
AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO SÃO BARTOLOMEU NO NORDESTE
GOIANO

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 28 de fevereiro de 2019, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:


Prof. Dr. Murilo Mendonça Oliveira de Souza
Presidente da banca
Universidade Estadual de Goiás


Prof. Dr. Vandervilson Alves Carneiro
Membro externo
Universidade Estadual de Goiás


Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins
Membro interno
Universidade Estadual de Goiás

*Aos meus queridos pais, Severino de Assis e Maria do Carmo,
e aos queridos irmãos, Francisco Leonardo e Ane Kalídia,
que sempre me demonstraram seu amor e carinho,
e depositam em mim sua confiança e respeito.*

*À Cristiane Rosa, querida companheira de jornada, que sempre me incentivou
e me faz acreditar na capacidade de buscar e alcançar os maiores objetivos.*

*À todo o povo Chapadeiro,
e à todos os Cerratenses.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora da graduação, professora Maria Luiza de Freitas Konrad, pelo empurrão inicial para o mestrado, e à Universidade Federal do Tocantins (campus de Arraias), e seu corpo docente, que me lançaram no meio acadêmico.

Ao meu orientador, professor Murilo Mendonça Oliveira de Souza, por me acolher tão bem desde o início do programa, pela confiança, parceria, apoio nos encontros, pela santa paciência e dedicação até a conclusão do trabalho, e por me mostrar o lado social da pesquisa.

Ao meu co-orientador, professor Carlos de Melo e Silva Neto, que teve papel fundamental na segunda fase do trabalho, pelas contribuições e questionamentos que tanto ajudaram na análise dos resultados e na discussão, e pelo seu delicioso café orgânico.

A ambos supracitados por ministrar as disciplinas do RENAC, Agroecologia no Cerrado e Recuperação de Áreas Degradadas no Cerrado, ampliando os conhecimentos práticos e valorizando a presença da universidade nas comunidades locais.

À professora Dra. Fabiana da Silva Andersson, pela participação como avaliadora externa no Exame de Qualificação, pelos ótimos apontamentos e contribuições na adequação da última fase da pesquisa.

Aos professores Dr. Vandervilson Alves Carneiro e Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins, pela participação na Banca Examinadora da Defesa, e pelos ótimos apontamentos e sugestões de correção, que contribuíram de forma singular na redação final deste trabalho.

Ao Gwatá Núcleo de Agroecologia e Educação do Campo e a todos os seus membros e parceiros, na pessoa do seu coordenador Murilo Mendonça Oliveira de Souza, pelo acolhimento e demonstração de compromisso e responsabilidade social na causa camponesa e nos estudos aplicados ao Cerrado. Em especial, ao professor Robson de Sousa Moraes, pelas conversas e importantes referências na gestão das Águas do Cerrado.

À professora Lorrane Gomes da Silva, ao professor Diego Mendonça e às turmas do curso de Gestão em Turismo, pela parceria e apoio durante o Estágio Supervisionado. À toda a equipe da UEG, câmpus Cora Coralina, pelo apoio e receptividade.

Às professoras e professores do RENAC Samantha Salomão Caramori, Héliida Ferreira da Cunha, Geiziane Tessarolo, Sandro Dutra e Silva, Rodrigo de Assis Carvalho e João Carlos Nabout, pelas disciplinas ministradas com dedicação e maestria.

Aos colegas do mestrado: Edgar Lima, Élide Cunha, Erika Melo, Guilherme Rissate, Jamil Guimarães Neto, Jourdan Calil, Juliana Lima, Laís Vieira, Laiza Rezende, Leovigildo Santos, Lídia Melo, Pablo Silva, Pollyana Silva, Roberto Portela, Sara Almeida, Suelen Melo, Thatyane Almeida, Wander Souza e Werikson Trigueiro; e aos doutorandos: Ariane Guimarães, Debborah Bezerra, Eder Porfirio Junior, Kárita Boaventura, Patrícia Lima, Pedro Borges, Ruan Faquim e Wesley Vaz; pelos excelentes debates, troca de experiências, e companheirismo até nas horas mais difíceis. Foram fundamentais nesse intenso processo.

Ao grande amigo, Leovigildo Aparecido Costa Santos, pela parceria nos trabalhos e publicações, nas viagens, boas conversas, suporte técnico e apoio moral.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG-IESA/UFG, em nome de sua coordenadora, professora Elaine Barbosa da Silva, pelo excelente curso de Geotecnologias Aplicadas à Análise de Bacias Hidrográficas.

À Associação de Condutores em Ecoturismo de Cavalcante e Entorno - ACECE e seus associados, em especial aos companheiros(a) de mandato Mauro Messerani, Ricardo Infante, Luana Povóia e Rodolfo Carvalho, pelo dedicado trabalho e pelo incentivo constante.

À Brigada Voluntária Ambiental de Cavalcante - BRIVAC, em nome de seu chefe, Pedro Ivo Celestino, e diretor, Rafael Drumond; e ao Agente do MIF Charles Pereira Pinto, pelo trabalho de prevenção, manejo e combate ao fogo na área estudada e no entorno da região de Cavalcante.

Ao Prevfogo/ICMBio e à Rede Contra Fogo, por capacitar e equipar as brigadas voluntárias da Chapada dos Veadeiros para prevenção e combate a incêndios florestais.

Ao Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, em nome do seu chefe, o biólogo Fernando Tatagiba, e toda a sua equipe de Coordenação de Uso Público pelo convite para as oficinas de planejamento e gestão de novos atrativos nas áreas de expansão do parque.

Aos biólogos Bárbara Neumann e João Pantoja, pelo auxílio em saída de campo na RPPN Ponte de Pedra; e aos amigos(as) Célio Torres, Ricardo Infante, Rafaela Dyna, Valery Cavalcante, Tiago Minuzzi, Fabiano Cavalcante, Cristiane Rosa, Jorge Lima e Railson por ajudar nas medições de vazão do Rio São Bartolomeu.

Aos proprietários e moradores que concederam acesso às áreas visitadas na pesquisa, em especial o Sr. Elias Ferreira, pelo acesso mensal ao ponto de medição de vazão, bem como Ricardo Infante e Fabiana Assis, e aos Srs. Horley Luzardo, Richard Avolio e José de Almeida, pelo acesso a áreas importantes na avaliação de nascentes.

Aos amigos e amigas de Cavalcante que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, durante a realização desse trabalho, seja num campo, numa conversa, uma carona, apoio moral, ou apenas por compreender a minha falta de tempo nesse período.

À minha família e amigos que estão em Brasília, por todo apoio e incentivo, e pela compreensão da minha ausência durante essa fase tão importante.

À super companheira de jornada, Cristiane Rosa, por me incentivar e apoiar sempre, ajudar na cobrança dos prazos e pela paciência nas horas de estresse.

À toda equipe do PPG-RENAC, em nome de seu coordenador, o professor Fabrício Barreto Terezo, pela qualidade do programa e a busca constante por novos conhecimentos sobre o Cerrado. À vice-coordenadora, professora Elisa Flávia Luiz Cardoso Bailão, pela organização do ótimo ciclo de palestras em 2017. Em especial, à nossa querida secretária Arminda Campos (Nina), pela excelência no apoio técnico do programa e pela presteza.

À Universidade Estadual de Goiás e à Coordenadoria Central de Bolsas, pela concessão da Bolsa de Estudos, Nível Mestrado, para dedicação exclusiva a este trabalho.

MUITÍSSIMO GRATO

*"Por ser de lá
Do Sertão,
lá do Cerrado
Lá do interior do mato
da Caatinga, do roçado
[...]
Eu quase não falo
Eu quase não sei de nada
Sou como rês desgarrada
Nessa multidão boiada
caminhando a esmo."*

*Lamento Sertanejo
Dominginhos e Gilberto Gil*

*" Tá vendo aquele pequizeiro frondoso
margeando o restinho
que sobrou daquela vereda?
Dizem que ali,
bem ao lado daquela árvore,
existia um rancho de buriti.*

*Nele vivia um moreno
com a pele igual à cor de rapadura,
conhecido como Zeca Brejeiro.
Feroz trabalhador,
inteligente e muito
cheio das sapiências.*

*Nos brejos, sem arrancar
uma plantinha que ali nascia,
ele cultivava feijão,
mandioca, abóbora,
cabaça e até arroz.*

*Aqui e acolá,
entre um ponto e outro da vereda,
era comum ver alguns mamoeiros,
cujos frutos serviam tanto para seu consumo,
como também para os animais. [...]"*

*A Saga do Zeca Brejeiro
Altair Sales Barbosa*

SUMÁRIO

Resumo	x
Abstract	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Quadros.....	xiv
Lista de Abreviaturas e Siglas	xv
Lista de Símbolos	xvii
 Introdução.....	 18
 1 – Fundamentação Teórica	
1.1 Desafios na gestão de Recursos Hídricos.....	21
1.2 A conservação dos Ecossistemas e sua relação com o Ciclo Hidrológico.....	23
1.3 As Unidades de Conservação e seu papel na proteção da biodiversidade	24
1.4 A importância do diagnóstico ambiental e o manejo de Bacias Hidrográficas.....	27
1.5 Caracterização morfométrica de Bacias Hidrográficas	30
1.6 Características da Geometria.....	30
1.7 Características da Hidrografia	34
1.8 Características do Relevo	37
 2 - Metodologia	
2.1 Caracterização da área de estudo	39
2.2 Delimitação da BHR SB	40
2.3 Diagnóstico Ambiental da BHR SB.....	42
2.4 Análise de Impactos Ambientais em Nascentes da BHR SB.....	48
 3 – Resultados e Discussão	
3.1 Análise Geomorfológica da BHR SB.....	56
3.2 Caracterização Morfométrica da BHR SB	68
3.3 Avaliação de Impactos Ambientais em Nascentes da BHR SB.....	76
 Considerações Finais.....	 79
 Referências Bibliográficas	 82

RESUMO

Diante dos problemas ambientais contemporâneos, a água é um dos recursos naturais mais impactados. A gestão de recursos hídricos é fundamental para a melhoria da sua disponibilidade e qualidade. Para tanto, é necessário utilizar-se de ferramentas facilitadoras na elaboração de diagnósticos, norteadores aos projetos de manejo de Bacias Hidrográficas. O presente trabalho tem como objetivos a caracterização morfométrica e análise de dados básicos para diagnóstico de impactos ambientais na área antrópica da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, no Nordeste Goiano. Para o desenvolvimento do estudo, utiliza-se dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na análise morfométrica da microbacia, juntamente com a revisão bibliográfica, observações em campo e análise macroscópica de impactos ambientais nas nascentes. Ocorrem ainda medições de vazão mensal do rio e a elaboração de mapas temáticos, para análise preliminar de problemas ambientais mais recorrentes. São utilizados bancos de dados geoespaciais públicos, como o INPE, SIEG, USGS, e de instituições de ensino como a UFG, para auxiliar na confecção dos mapas. Como resultados foram identificadas áreas com fator de erodibilidade considerado alto, em 80% dos solos da BH, e muito alto em outros 18,6%. Em relação ao relevo, a declividade é bem distribuída, apresentando 51,43% da área com classes de fragilidade Muito Fraca (até 6% de inclinação), e Fraca (com 6 a 12%). Os trechos que possuem declividade média (12 a 30% de inclinação), ocupam 29,9% da área. Os 18,67% restantes possuem fragilidade Muito Forte (acima de 30% de inclinação). Cruzando-se os dados de declividade com as classes de solos, obteve-se o mapa do Grau de Suscetibilidade à Erosão Laminar, que apontou o equivalente a 36% da área nas classes I e II, como Extremamente Suscetível e Muito Suscetível respectivamente, demonstrando que devem ser observadas a utilização de práticas de conservação do solo em pelo menos 1/3 da BH. Outros 17,81% apresentam Suscetibilidade Moderada e a maior classe, 46% está Pouco Suscetível, à erosão laminar, desde que respeitadas boas práticas de manejo e mantida a cobertura do solo. Constatou-se ainda, pelo mapa de uso do solo, que 53,27% da área possui baixo grau de proteção pela cobertura vegetal, representada na maior parte por Cerrado Rupestre nas cotas mais elevadas, e pastagens degradadas nas cotas inferiores e menos inclinadas. Já 4,6% da BH encontra-se totalmente com solo exposto, onde deve-se atentar para processos erosivos severos, como Ravinas e Voçorocas, já presentes em áreas pontuais. Cerca de 10% da bacia é coberta por formações campestres e pastos plantados em bom estado de conservação, que devem ser manejados para não perder esse grau de proteção. Já os 37,39% restantes são ocupados por formações de Cerrado Típico, Capoeiras, Matas Ripárias, Matas Secas e Veredas, as quais apresentam bom grau de proteção e devem ser preferencialmente mantidos nesse estado. Evidente expor que mais de 50% da BH encontra-se sob proteção integral pelo Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, e sob uso sustentável por mais seis RPPNs. Enfatiza-se que essas Unidades de Conservação são fundamentais à manutenção dos recursos naturais do Cerrado na região, e conseqüentemente, à conservação dos recursos hídricos do Rio São Bartolomeu e seus afluentes. Também é constatado que o uso dos SIG é eficiente para diversas análises espaciais, bem como para monitoramento de BH's em escala temporal. O trabalho aqui exposto poderá servir de base para se aprofundar em questões importantes para a conservação de nascentes e manejo de recursos naturais na BHRSB, auxiliando na gestão territorial na área estudada e servir de referência para análise de outras bacias hidrográficas.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, sensoriamento remoto, análises geoespaciais.

ABSTRACT

In the face of contemporary environmental problems, water is one of the most impacted resources. The management of water resources is fundamental for improving the availability and the quality of this resource. To do so, it is necessary to use facilitating tools in the elaboration of diagnoses, guides to the projects of management of Drainage Basins (DB). This study aims to the morphometric characterization and analysis data for the diagnosis of environmental impacts in the anthropic area of the São Bartolomeu River Basin in the Northwest of Goiás State. For the development of the study, is used the Geographic Information Systems (GIS) for morphometric analysis of the micro-basin, together with the bibliographical review, fields observations and macroscopic analysis of environmental impacts in the springs. There are also monthly measurements of river flow and the development of thematic maps, for preliminary analysis of more recurring environmental problems. Public geospatial databases, such as INPE, SIEG, USGS, and educational institutions such as UFG, are used to assist in the preparation of the maps. As results were identified areas with erosionability factor considered High, in 80% of the soils of the DB, and Very High in another 18.6%. In relation to the relief, the slope is well distributed, presenting 51.43% of the area with Very Weak Fragility classes (up to 6% inclination), and Weak (with 6 to 12%). The sections that have a mean slope (12 to 30% slope) occupy 29.9% of the area. The remaining 18.67% have Very Strong Fragility (above 30% slope). Crossing the slope data with the soil classes, the Map of the Degree of Susceptibility to Laminar Erosion was obtained, which indicated the equivalent of 36% of the area in classes I and II, as Extremely Susceptible and Very Susceptible respectively, demonstrating that practices for soil conservation should be used in at least 1/3 of the BH. Another 17.81% is with Moderate Susceptibility, and the highest class, 46%, is the less Susceptible to laminar erosion, provided that good management practices are observed and soil cover maintained. It was also verified by the land use map that 53.27% of the area has a low degree of protection by the vegetation cover, represented mostly by Cerrado Rupestre (rupestrian savannah) in the highest levels, and degraded pastures in the lower and less sloping plots. About 4.6% of the DB soil is totally exposed, with severe erosive processes, such as ravines and gullies, already present in specific areas. About 10% of the basin is covered by natural grasslands and planted pastures in good condition of conservation, which must be well managed in order to not lose this degree of protection. The remaining 37.39% are occupied by Cerrado Stricto Sensu (Savannah), Capoeiras (secondary forests), Riparian Forests, Seasonal Forests, and Veredas (marshes), which have a good degree of protection and should preferably be kept in this state. It is evident that more than 50% of DB is under full protection by the National Park of Chapada dos Veadeiros, and under sustainable use by six more Private Natural Heritage Reserves (RPPN). It is emphasized that these Conservation Units are fundamental to the maintenance of the natural resources of the Cerrado in the region, and, consequently, to the conservation of the water resources of the São Bartolomeu River and its tributaries. It is also verified that the use of GIS is efficient for several spatial analyzes, as well as for monitoring DBs on a temporal scale. The work presented here may serve as a basis for exploring important issues for the conservation of springs and the management of natural resources in the BHR SB, assisting in territorial management in the area studied and serve as a reference for analysis of other river basins.

Keywords: management of water resources, remote sensing, geospatial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da Bacia Hidrográfica em modelo digital de elevação (MDE).....	p. 29
Figura 2. Classificação dos rios segundo Strahler (VILLELA E MATTOS, 1975)	p. 31
Figura 3. Extensão Média do Escoamento Superficial (VILLELA E MATTOS, 1975).....	p. 35
Figura 4. Mapa de Localização da BH do Rio São Bartolomeu	p. 39
Figura 5. Etapas para obtenção do Mapa de Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar, adaptado de Silva e Oliveira (2015).....	p. 44
Figura 6. Etapas para obtenção do Mapa de Classes de Potencialidade à Erosão Laminar, adaptado de Silva e Oliveira (2015).....	p. 45
Figura 7. Fluxograma de geração dos Mapas Temáticos	p. 47
Figura 8. Seções transversais para medição de vazão.	p. 49
Figura 9. Medida da profundidade do rio em diversos pontos da seção transversal	p. 49
Figura 10. Objeto flutuador para medição do tempo de deslocamento.	p. 51
Figura 11. Mapa de Hipsometria da BH do Rio São Bartolomeu. Fonte: o autor.....	p. 56
Figura 12. Mapa de Classes de Solos na BH São Bartolomeu, segundo o SiBCS (Embrapa, 2018).....	p. 59
Figura 13. Mapa de Classes de Declividade na BH São Bartolomeu, segundo o INCRA (2006).	p. 63
Figura 14. Mapa de Fragilidade do Relevo na BH São Bartolomeu, segundo Ross (2011).....	p. 63
Figura 15. Mapa de Suscetibilidade Erosiva da BH São Bartolomeu, segundo Ross (2011).	p. 64
Figura 16. Mapa de Cobertura e Uso do Solo na BHR SB, para o ano 2018.....	p. 65
Figura 17. Mapa de Potencialidade à Erosão Laminar na BHR SB, para o ano 2018. Fonte: o autor	p. 67
Figura 18. Perfil longitudinal do canal principal da BHR SB.....	p. 70
Figura 19. Perfil topográfico do canal principal da BHR SB (fora de proporção).....	p. 70
Figura 20. Hierarquia de canais do Rio São Bartolomeu segundo Strahler (1964).....	p. 71
Figura 21. Dados de vazão mensal remanescente do Rio São Bartolomeu em 2018.	p. 74
Figura 22. Precipitação média no município de Cavalcante, entre 1980-2016.	p. 75
Figura 23. Mapa de Classificação do Índice de Impactos Ambientais em Nascentes na BHR SB. Fonte: autor	p. 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais parâmetros indicadores do risco de enchentes em Bacias Hidrográficas.....	p. 34
Tabela 2. Classificação de Declividade do Relevo, segundo INCRA (2006)	p. 43
Tabela 3. Declividade de Áreas com Restrição Ambiental, adaptado do INCRA (2006).....	p. 43
Tabela 4. Classes de Fragilidade quanto à declividade, segundo Ross (2011).....	p. 43
Tabela 5. Critério adotado na definição de Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar, segundo o IPT (1990, apud SILVA; OLIVEIRA, 2015), adaptadas à classificação de Ross (2011)	p. 44
Tabela 6. Hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal, segundo Ross (2011)	p. 46
Tabela 7. Valores para o coeficiente Kappa, adaptado de Landis e Koch (1977)	p. 46
Tabela 8. Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar (IPT, 1990 apud SALOMÃO, 2010)	p. 47
Tabela 9. Intervalos de medida da profundidade da seção 1 do Ponto de Medição 02 (PM02)	p. 52
Tabela 10. Intervalos de medida da profundidade da seção 2 do Ponto de Medição 02 (PM02).	p. 52
Tabela 11. Velocidade média de vazão. Ponto de Medição 1 - Medição de Vazão 01 - 30 jan. 2018.	p. 53
Tabela 12. Nascentes visitadas para avaliação de parâmetros macroscópicos.	p. 55
Tabela 13. Unidades de solo predominantes na BH do Rio São Bartolomeu, segundo Embrapa (2018).	p. 58
Tabela 14. Graus de Erodibilidade dos Solos na BH do Rio São Bartolomeu, considerando o escoamento superficial de águas pluviais. Adaptado de Salomão (2010); Zaparoli e Cremon (2010); Ross (2011).....	p. 59
Tabela 15. Classificação do relevo na BH do Rio São Bartolomeu, de acordo com o INCRA (2006).	p. 61
Tabela 16. Classes de Fragilidade do Relevo na BH do Rio São Bartolomeu, adaptado de Ross (2011).	p. 62
Tabela 17. Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar na BHRSB, segundo o IPT (1990, apud SILVA; OLIVEIRA, 2015), adaptadas à classificação de Ross (2011).....	p. 64
Tabela 18. Graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal na BHRSB, adaptado de Ross (2011).	p. 65
Tabela 19. Matriz de Confusão da Classificação de Cobertura do Solo da BHRSB.....	p. 66
Tabela 20. Graus de Potencialidade à Erosão Laminar na BHRSB, para o ano 2018. Fonte: o autor.....	p. 67
Tabela 21. Índices morfométricos relacionados à geometria da BH do Rio São Bartolomeu.....	p. 72
Tabela 22. Índices morfométricos relacionados à hidrologia da BH do Rio São Bartolomeu	p. 74
Tabela 23. Medições de vazão no Rio São Bartolomeu, em Cavalcante-GO, 2018.....	p. 75
Tabela 24. Pontuação dos parâmetros macroscópicos segundo o Índice de Impactos Ambientais de Nascente - IIAN (GOMES et al., 2005).	p. 76
Tabela 25. Percentual de nascentes visitadas em cada categoria mapeada pelo IIAN.	p. 78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Responsabilidades sobre as categorias de UC de Proteção Integral, adaptado de Brasil (2001).p.	25
Quadro 2. Responsabilidades sobre as categorias de UC de Uso Sustentável, adaptado de Brasil (2001)..... p.	26
Quadro 3. Classificação de Sinuosidade do Canal Principal, de acordo com Mansikkaniemi (1970)..... p.	37
Quadro 4. Pontuação dos Parâmetros Macroscópicos segundo o Índice de Impactos Ambiental de Nascente (IAN) - Fonte: Gomes et al., 2005	p. 54
Quadro 5. Classificação de nascentes segundo Índice Impactos Ambiental de Nascente (IAN). Fonte: Gomes et al., 2005.....	p. 55
Quadro 6. RPPNs situadas na BH do Rio São Bartolomeu e áreas percentuais ocupadas, adaptado do Sistema Informatizado de Monitoramento de RPPN - SIM-RPPN - ICMBio/MMA.....	p. 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRP	Afluentes Goianos do Rio Paranã
ANA	Agência Nacional das Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
Aw	Clima Tropical de Inverno Seco (Köppen-Geiger)
BH	Bacia(s) Hidrográfica(s)
BHRB	Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu
BRIVAC	Brigada Voluntária Ambiental de Cavalcante
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CSA	Comunidade que Sustenta a Agricultura
DH	Disponibilidade Hídrica
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSCG	<i>European Petroleum Survey Group</i>
ETP	Evapotranspiração
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
GO	Estado de Goiás
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IIAN	Indicadores de Impactos Ambientais em Nascentes
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PARNA	Parque Nacional
PETRO	Parque Estadual da Terra Ronca
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNCV	Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Prevfogo	Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais

ROI	<i>Regions of Interest</i> (Regiões de Interesse)
RPPN	Reserva Particular de Patrimônio Natural
SANEAGO	Saneamento de Goiás
SCP	<i>Semi-automatic Classification Plugin</i>
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIM-RPPN	Sistema Integrado de Monitoramento de RPPN
SL	Software Livre
SRA-I	Superfície Regional de Aplainamento I
SRA-IV-A	Superfície Regional de Aplainamento IV-A
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UC	Unidade(s) de Conservação
UFG	Universidade Federal de Goiás
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VR	Vazão Remanescente

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Área de Drenagem (km ²)
<i>AR</i>	Afloramento de Rocha
<i>Cc</i>	Comprimento do Canal
<i>Cv</i>	Comprimento do Vale
<i>CXbd</i>	Cambissolo Háptico distrófico
<i>Dd</i>	Densidade de Drenagem
<i>Dr</i>	Densidade de Rios
<i>Ev</i>	Distância reta entra a nascente mais distante e o exutório
<i>FFc</i>	Plintossolo Pétrico concrecionário
<i>IC</i>	Índice de Circularidade
<i>Ic</i>	Índice do Canal
<i>Iv</i>	Índice do Vale
<i>Ish</i>	Índice de Sinuosidade Hidráulica
<i>Ist</i>	Índice de Sinuosidade Topográfica
<i>kC</i>	Coeficiente de Compacidade
<i>KSF</i>	Fator de Forma
<i>L</i>	Comprimento dos canais
<i>LCD</i>	Latossolo Vermelho distrófico
<i>P</i>	Perímetro
<i>RLd</i>	Neossolo Litólico distrófico

INTRODUÇÃO

A humanidade passa por uma das maiores crises da história, intimamente relacionada ao estilo de vida insustentável das civilizações modernas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ligado ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as atividades humanas têm papel determinante no aumento da temperatura média da Terra e influenciam significativamente nas mudanças climáticas. Os cientistas apontam as interferências antrópicas como uma das principais contribuições para o aquecimento global nos últimos 50 anos, atribuído ao aumento dos gases do efeito estufa (FAO, 2018).

Um dos fatores que aceleram o aquecimento da superfície terrestre é a alta taxa de desmatamento que ocorre na maioria dos países emergentes. As lavouras com monoculturas e a agropecuária extensiva são as principais atividades contribuintes para esse “desbaste”. Para Primavesi (2016), ao deixar o solo “limpo”, exposto às chuvas, há compactação e adensamento de suas partículas, reduzindo a infiltração natural. Com a insolação direta, a superfície pode aquecer até 74°C. A água que não infiltra desliza pela superfície, causando erosões, enchentes e secas fora do comum. Dessa forma, faz-se necessário entender melhor o ciclo hidrológico e estudar maneiras de aproveitar a água de maneira mais eficiente.

Dentre as diversas unidades para delimitação de uma região hidrológica, a Bacia Hidrográfica (BH) é um modelo que apresenta boa aplicabilidade e simplicidade no balanço hídrico (VILLELA; MATTOS, 1975). Do ponto de vista geográfico, segundo Tucci e Mendes (2006), a BH constitui a área de uma seção de determinado rio delimitada por divisores naturais (topos de morro), que direcionam todo o escoamento superficial para um único ponto (exutório) no referido rio ou córrego. Alguns autores, como Garcez e Alvarez (1988), ressaltam ainda que os limites definidos para a bacia devem possibilitar que o seu volume de escoamento possa ser medido ou descarregado através do exutório.

O conceito de BH tem o uso cada vez mais expandido, e é utilizado como a unidade básica de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Em uma concepção hidrológica, a BH envolve toda a área de terras drenadas por um rio principal e seu conjunto de afluentes, sendo a unidade adequada aos estudos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos e de transporte de nutrientes e sedimentos. E em uma abrangência mais ampla, para fins de conservação dos recursos naturais, o estudo da BH envolve também seus aspectos biofísicos, os padrões de uso da terra e suas implicações ambientais, sendo conceituada, por alguns autores, como análoga a um ecossistema (PIRES et al., 2002).

O manejo de Bacias Hidrográficas é definido como o uso racional dos recursos naturais de uma dada bacia visando a produção de água em quantidade e qualidade, segundo concepção da Sociedade Americana de Engenheiros Florestais. No Brasil a concepção de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas deu mais sentido à conservação de solos e, posteriormente, a ideia de “integração” passou a preocupar-se com todos os recursos da bacia, inclusive os humanos (VALENTE; GOMES, 2011).

A delimitação, caracterização e morfometria de uma BH constituem-se importantes procedimentos para fundamentar projetos em gestão de recursos hídricos. A partir desses processos, devem ser considerados os estudos de fragilidade ambiental, quando o objetivo é se realizar o planejamento de uso do território. Os métodos envolvem levantamentos em campo e estudos de gabinete, para gerar mapas temáticos sobre as principais características que expressam a realidade do meio ambiente, como as cartas geológica, geomorfológica, pedológica, hipsiométrica, de uso e cobertura do solo, entre as principais (ROSS, 2011).

O processamento de dados georreferenciados, conhecido como geoprocessamento, detecta padrões de classes espacializadas, utilizando-se de fórmulas matemáticas e técnicas computacionais para análise de informações geográficas. Utilizando análises estatísticas, interpolação, padronização de alvos, entre outras técnicas, o geoprocessamento tem influenciado diversas áreas do conhecimento, principalmente a cartografia aplicada a análises ambientais (OLIVEIRA, 2012). Com o avanço da tecnologia de satélites artificiais, tem-se adotado o uso de SIG para realização de uma gama de estudos, os quais tem-se mostrado satisfatórios no diagnóstico e monitoramento de recursos naturais (CALIL et al., 2012; SANTOS et al. 2012; MIOTO et al. 2014; SHMITT e MOREIRA, 2015; SOUZA, C. et al., 2017).

Os SIG são softwares que trabalham com dados georreferenciados, coletados via satélite ou em campo, os quais são tratados e disponibilizados em modo gráfico para a confecção de mapas temáticos e análises geoespaciais. Isso reduz significativamente os custos de diagnóstico, monitoramento e manejo de recursos naturais, como também o tempo de execução de projetos. No planejamento territorial de bacias hidrográficas, tem-se utilizado os SIG de diversas formas para a integração de dados ambientais. Segundo Valeriano (2003) "dados estruturados em imagens '*raster*' ligados à precipitação pluvial, solos, relevo e propriedades da vegetação, são sobrepostos para executar, de forma espacializada, análises do potencial e das fragilidades do terreno" (VALERIANO, 2003, p. 303).

Algumas das técnicas de Geoprocessamento foram utilizadas para auxiliar esta pesquisa, que tem como objetivo principal diagnosticar impactos ambientais na Unidade

Ecodinâmica do Rio São Bartolomeu, em Cavalcante-GO, comparando suas diferenças em áreas protegidas por Unidades de Conservação e áreas antropizadas. Como objetivos específicos, busca-se: caracterizar a área estudada em relação aos aspectos climatológicos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e morfométricos; comparar os índices de suscetibilidade à erosão laminar da área antropizada da BH do Rio São Bartolomeu com a área protegida pelo Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV); e analisar os parâmetros macroscópicos que ameaçam a conservação de nascentes fora do PNCV, comparando áreas impactadas com Unidades de Conservação de Uso Sustentável, em específico as Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN).

O trabalho está estruturado em três capítulos, onde o primeiro traz a fundamentação teórica referente à caracterização da BH e diagnóstico de impactos ambientais nas nascentes, seguido de um capítulo dedicado à metodologia utilizada na pesquisa e por último são apresentados os resultados e discussão. No capítulo 1 são abordados os aspectos conceituais mais representativos para a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu (BHRSB), desde a localização geopolítica, a delimitação através de SIG, até as características da geometria, hidrografia e relevo. No capítulo 2 são detalhados os procedimentos metodológicos utilizados no estudo de impactos ambientais, avaliação macroscópica das nascentes, além dos procedimentos para a medição das vazões do Rio São Bartolomeu. No 3º capítulo são expostos os produtos finais, na forma de mapas temáticos, tabelas com análises estatísticas, gráficos e a discussão do trabalho, comparando esses resultados com estudos e metodologias similares em outras regiões do Cerrado em Goiás e no Brasil. Por fim, as considerações finais trazem uma síntese do que foi analisado na área de estudo, com uma breve abordagem das principais ameaças aos recursos naturais na BH e sugestões para contornar os impactos negativos e fomentar os impactos positivos.

1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta o contexto geral sobre as principais questões abordadas na pesquisa, desde os problemas enfrentados no manejo de recursos hídricos, numa visão mais geossistêmica, até as questões práticas sobre hidrologia aplicada. São apresentados alguns conceitos para o entendimento do ciclo hidrológico e sua relação com as plantas e com o uso do solo, além de algumas das variáveis utilizadas no estudo e manejo de Bacias Hidrográficas.

1.1 Desafios na gestão de recursos hídricos

Os principais problemas ligados à conservação da água são a quantidade disponível e a sua qualidade para determinados fins, sendo que a disponibilidade está relacionada com a ocorrência das chuvas e a sua dinâmica após o contato com a superfície terrestre. Assim, o comportamento da água reflete as condições da superfície por onde escoar (LIMA, 1996). A lógica de sua conservação está intrinsecamente relacionada à conservação de outros recursos naturais como a vegetação nativa, a estrutura do solo, a biota e seus serviços ecossistêmicos.

Quando se trata de recursos hídricos, para uma gestão mais sustentável, deve-se conhecer primeiro a disponibilidade hídrica (DH) de uma determinada área que, segundo Cruz e Tucci (2008), compreende à parcela da vazão disponível ao uso pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o restante do ambiente e o ciclo hidrológico. A porção restante após esse uso é tratada como vazão remanescente (VR), cuja finalidade é manter a integridade do sistema fluvial, para conservação do meio ambiente aquático.

A DH não se limita apenas ao uso consuntivo, ou seja, aquele que se destina ao consumo direto e causa a retirada de água do manancial. Usos não consuntivos, os quais não envolvem o consumo direto, também podem influenciar e, até mesmo, alterar a dinâmica da BH e do rio em questão, modificando a situação em relação a condições pré-existentes à antropização. Isso ocorre, por exemplo, quando se constroem barragens ou hidroelétricas, que alteram o comportamento de um rio, interferindo nas suas médias de vazão e reduzindo a diferença entre os picos de vazão máximos e mínimos (SOUZA, N. et al., 2017).

Dessa forma, é preciso analisar até que ponto as intervenções antrópicas trazem benefícios à sociedade, sem prejudicar os recursos naturais limitados, garantindo a sobrevivência de ecossistemas a longo prazo. Essa dinâmica de equilíbrio pode ser atingida quando se atende aos critérios do "Tripé da Sustentabilidade", conceituado na década de 1990

pelo inglês John Elkington. Segundo Spinelli et al. (2016), Elkington afirma que, para os projetos empresariais e governamentais atingirem a viabilidade sustentável, devem estar apoiados nos aspectos ambiental e social, não apenas no econômico. Tão qual os aspectos econômicos devem estar em equilíbrio com os ambientais, estes últimos devem atender aos anseios sociais, inserindo a comunidade impactada em todas as etapas de um projeto. Se apenas um ou dois aspectos forem contemplados, então não há equilíbrio de fato (ELKINTON, 1999 *apud* SPINELLI et al., 2016).

A nível nacional a criação de políticas públicas dedicadas à conservação da água começa ter mais visibilidade a partir da Lei Nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, conhecida como "Lei das Águas". Essa lei institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), baseado nos princípios de que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. Sua gestão deve contemplar os usos múltiplos e, em caso de escassez, deve priorizar o consumo humano e a dessedentação de animais. Ainda no capítulo I, a lei determina a BH como unidade delimitada para implementação da PNRH e enfatiza que a gestão dos recursos hídricos deve acontecer de forma descentralizada, com a participação do poder público junto à sociedade civil organizada e seus usuários (BRASIL, 1997).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estados de Goiás apresenta 11 áreas hidrográficas, as Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPGRH). São espaços territoriais delimitados por uma bacia, um grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas, com características naturais, econômicas e sociais semelhantes, e objetivam orientar o planejamento e o manejo dos recursos hídricos (GOIÁS, 2015). A unidade "Afluentes Goianos do Rio Paranã" (AGRP) concentra parcelas de Cerrado de altitude com alto grau endêmico, abrangendo o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), o Parque Estadual da Terra Ronca (PETRO) e a Área de Proteção Ambiental (APA) Pouso Alto (BRASIL, 2011). Esse mosaico de Unidades de Conservação (UC) compõe a maior área de proteção e conservação da biodiversidade do Cerrado em Goiás (MEDEIROS; YOUNG, 2011).

A unidade AGRP tem um Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH) criado por Decreto 7.956/2013, mas que ainda não foi instalado (GOIÁS, 2015). O CBH é um importante colegiado, que atua no planejamento e tomada de decisões adequadas à gestão de recursos hídricos da BH (BRASIL, 1997). O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), dá atenção especial à participação pública na tomada de decisões, em todas as esferas políticas (TUNDISI, 2006), principalmente no CBH. A nível local, a

comunidade pode atuar junto aos órgãos municipais que gerem os recursos hídricos (TUNDISI, op. cit.), como os Conselhos Municipais de Meio Ambiente.

1.2 A conservação dos ecossistemas e sua relação com o ciclo hidrológico

Para uma boa gestão de determinada região hidrográfica, é necessário ter um planejamento adequado e fazer o uso racional dos recursos hídricos, bem como do solo e de recursos florestais, que têm forte influência na dinâmica hídrica. Recentemente Lemordant et al. (2018) descrevem a relação direta das plantas com o ciclo hidrológico, complementando estudos que já consideram os ciclos de precipitação (pluviometria) e de radiação (temperatura) como influência nas taxas de Evapotranspiração (ETP). Segundo os autores, a fisiologia das plantas tem influência direta na ETP, devido sua relação entre a absorção de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e a liberação de água através da fotossíntese. Assim, os vegetais tornam-se reguladores de umidade e temperatura, mostrando-se importantes no controle do Aquecimento Global e disponibilidade hídrica.

Dada a extensa área de contribuição para uma determinada bacia hidrográfica, deve-se atentar à necessidade de conservação desse território para manter a sustentabilidade da região hidrográfica. Estudos, como o de Nunes e Pinto (2007), ressaltam a importância das matas ciliares para a conservação da biodiversidade dos ecossistemas, e que seu manejo e recuperação foram incluídos no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

A relação entre vegetação e equilíbrio hidrotérmico contribui para estudos como o de Collischonn e Tucci (2014), que compararam variáveis diversas que podem influenciar na relação inversa entre precipitação e ETP. Em seu estudo, constataram que as variáveis que mais explicam essa relação são a maior insolação (radiação) e menor umidade do ar em dias secos. Se essas variáveis se aplicarem em áreas desflorestadas, dada a relação entre vegetação, umidade e temperatura citada anteriormente, podem explicar também a relação direta entre a remoção ou substituição da cobertura vegetal com o aumento da ETP.

Quando o solo está conservado, com a camada fértil protegida e boa rugosidade na superfície, sua capacidade de infiltração é preservada e ajuda a manter a água num ciclo longo, que passa mais tempo sob influência dos processos de chuva-interceptação-infiltração-evapotranspiração no continente, retornando lentamente ao oceano. Com intervenções que compactam o solo (como desmatamento, uso de maquinário pesado, pisoteio de gado etc.) ocorre limitação na infiltração natural e aumento do escoamento superficial, causando erosão

hídrica e alterações climáticas locais; aumentam a ocorrência e a duração de períodos de seca, de eventos de enchentes e inundações, além de eliminar a camada fértil do solo (PRIMAVESI, 2016). Assim, é importante compreender essa dinâmica e planejar ações que busquem a restauração dos ecossistemas em bacias hidrográficas, na tentativa de recuperar o equilíbrio natural do ciclo hidrológico. Elaborar uma estratégia de manejo inclui realizar monitoramento prévio da região hidrológica.

1.3 As Unidades de Conservação e seu papel na proteção da biodiversidade

No contexto da sustentabilidade ecológica, as Unidades de Conservação são áreas de fundamental importância na conservação dos ecossistemas e das regiões hidrográficas. Possuem legislação e definições específicas, sendo regidas pela Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC); e pelos Decretos Nº 4.340 de 22 de agosto de 2002, e Nº 5.746, de 05 de abril de 2006, que regulamentam a referida Lei. Segundo o SNUC, define-se como UC:

I - unidade de conservação: espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção; (BRASIL, 2011, p. 5)

Dessa forma, as UC's podem se constituir em propriedades públicas ou privadas, instituídas pelo Poder Público e administradas de acordo com um plano de manejo específico, o qual é elaborado no processo de instituição, que serve de referência para definir o zoneamento e uso da área, bem como para o manejo de recursos naturais em seu interior, incluindo-se as estruturas físicas necessárias à sua gestão (BRASIL, 2001). São divididas em dois grupos principais, de acordo com o SNUC, sendo Unidades de Proteção Integral ou de Uso Sustentável:

VI - proteção integral: manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais; [...]

XI - uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável; (BRASIL, 2001, p. 6)

Assim, as UC's de Proteção Integral incluem as categorias que protegem integralmente seus recursos, sem que haja intervenção direta da ação humana, salvo os casos de manejo para proteção e/ou recuperação de áreas ou populações ameaçadas (por exemplo

em combates a incêndios florestais ou manejo de fauna silvestre). Podem receber visitação pública apenas para fins de pesquisa, educação ambiental ou ecoturismo, de acordo com restrições de cada categoria e obedecendo as normas do plano de manejo específico da unidade. Incluem-se nesse grupo as seguintes categorias por ordem de importância e restrição à visitação: I-Estação Ecológica; II-Reserva Biológica; III-Parque Nacional; IV-Monumento Natural; V-Refúgio de Vida Silvestre (BRASIL, 2001). Para entender melhor as restrições, intervenções, pesquisa e uso público, apresenta-se o Quadro 1.

Quadro 1. Responsabilidades sobre as categorias de UC de Proteção Integral, adaptado de Brasil (2001).

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL					
Categoria	I - Estação Ecológica	II - Reserva Biológica	III - Parque Nacional	IV - Monumento Natural	V - Refúgio de Vida Silvestre
Posse e Domínio	Áreas tombadas pelo Poder Público: há a desapropriação de áreas particulares que estejam em seus limites. Os Parques Nacionais recebem denominação de Parque Estadual ou Parque Municipal, segundo a esfera que forem criados.			Pode haver posse particular, desde que o uso da terra seja compatível com os objetivos da unidade e com as condições do órgão gestor.	
Intervenção	Só em casos de Restauração Ecológica, Manejo de Habitats e Coletas Científicas, para fins de Conservação da Biodiversidade da Unidade			Uso da terra pelos proprietários, desde que não haja incompatibilidade com os objetivos da conservação.	
Visitação e Uso Público	Uso Público somente para fins educacionais e pesquisa. Sujeito às normas e restrições previstas no Plano de Manejo da UC.		Uso Público para fins educacionais, recreativos, pesquisas e ecoturismo. Visitação sujeita às normas e restrições previstas no Plano de Manejo.		
Pesquisa Científica	Depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento específico.				

As UC's de Uso Sustentável possuem outras restrições em relação às posses, administração, uso da terra e dos recursos naturais, pesquisas e uso público, mas sem perder o foco principal de qualquer UC, que é a conservação da biodiversidade. Nesse caso, são áreas públicas ou privadas, que permitem ou não a permanência de moradores, que estes façam uso sustentável uma parcela dos recursos naturais disponíveis nas unidades, desde que usem práticas conservacionistas e sigam normas específicas, restritas e orientadas por um plano de manejo adequado a cada categoria (BRASIL, 2011). Nesse grupo, a categoria de Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN), apesar de ser uma unidade particular, segue quase as mesmas regras de unidades de Proteção Integral (LIMA; FRANCO, 2013). Para entender melhor a dinâmica das UC's de Uso Sustentável, segue um resumo no Quadro 2.

Quadro 2. Responsabilidades sobre as categorias de UC de Uso Sustentável, adaptado de Brasil (2001).

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL							
Categoria	I - Área de Proteção Ambiental	II - Área de Relevante Interesse Ecológico	III - Floresta Nacional	IV - Reserva Extrativista	V - Reserva de Fauna	VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável	VII - Reserva Particular de Patrimônio Natural
Posse e Domínio	Propriedades Públicas ou Privadas: respeitados os limites constitucionais, pode haver normas e restrições para o uso de propriedades privadas em seus limites.		Áreas tombadas pelo Poder Público: há a desapropriação de áreas particulares que estejam em seus limites. Podem ser utilizadas por populações tradicionais não residentes, mediante normas do Plano de Manejo. As Florestas Nacionais recebem denominação de Floresta Estadual ou Floresta Municipal, segundo a esfera que forem criados.			Áreas de domínio Público e posse destinada a populações tradicionais: há desapropriação de áreas particulares quando necessário.	Propriedades Particulares com restrições similares aos Parques Nacionais, tombadas com perpetuidade.
Intervenção	Uso público ou particular da terra, respeitando a sustentabilidade dos recursos naturais e dos habitantes.	Pouca ou nenhuma intervenção, desde que mantenha os objetivos da conservação.	Uso múltiplo sustentável dos recursos naturais, respeitando o Plano de Manejo.	Uso concedido às populações extrativistas tradicionais, conforme art. 23 do SNUC.	Proibido o exercício de caça amadorística ou profissional. Subprodutos de pesquisa obedecem regulamento específico.	Admitida a exploração de componentes dos ecossistemas naturais em regime de manejo sustentável e a conversão da cobertura vegetal em espécies cultiváveis, desde que sujeitas ao zoneamento, às limitações legais e ao Plano de Manejo da área.	Só em casos de Restauração Ecológica, Manejo de Habitats e Coletas Científicas, para fins de Conservação da Biodiversidade da Unidade, respeitando o seu Plano de Manejo.
Visitação e Uso Público	Nas áreas públicas obedecem às normas do órgão gestor. Nas áreas privadas, obedecem às normas do proprietário, respeitando as exigências e restrições legais.	Não especificado na Lei, mas seguindo os objetivos da categoria, não é desejável devido a fragilidade e raridade ecológicas.	Visitação pública é permitida, condicionada às normas estabelecidas para o manejo da unidade pelo órgão responsável por sua administração.	Visitação pública é permitida, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o disposto no Plano de Manejo da área.	Visitação pública é permitida, condicionada às normas estabelecidas para o manejo da unidade pelo órgão responsável por sua administração.	Visitação pública é permitida, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o Plano de Manejo. A pesquisa é incentivada, desde que direcionada à conservação da natureza, à melhor relação da comunidade com o meio e à educação ambiental. Autorizada pelo órgão gestor e segundo o Plano de Manejo.	Uso Público para fins educacionais, recreativos, pesquisas e ecoturismo. Visitação sujeita às normas e restrições previstas no Plano de Manejo.
Pesquisa Científica	Idem à Visitação e Uso Público	A pesquisa é permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade, às condições e restrições por este estabelecidas e àquelas previstas em regulamento.				Deve ser autorizada pelo gestor da Unidade, constar no Plano de Manejo e ter regulamento.	

Algumas UC's de Uso Sustentável administradas pelo Poder Público possuem também a cooperação e a gestão compartilhada através de Conselhos, que podem ser Consultivos ou Deliberativos de acordo com cada categoria, os quais são compostos por representantes de órgãos públicos, da sociedade civil organizada e, quando se aplicar, de comunidades ou populações tradicionais residentes e/ou usuários da UC (BRASIL, 2011).

1.4 A importância do diagnóstico ambiental e o manejo de bacias hidrográficas

Em uma boa gestão de recursos hídricos, deve estar agregado o conhecimento sobre o contexto físico, ambiental e social. É importante a participação da comunidade residente na BH para a construção de um plano que envolva todos os moradores, como garante a lei. Como aponta Tricart (1977), além dos levantamentos ambientais, os fatores humanos e econômicos devem ser considerados nos projetos de gestão territorial. Uma equipe multidisciplinar deve levantar cartas dos aspectos demográficos, estruturais, distribuição de serviços e espaços sociais. Nenhum projeto de recuperação ou restauração ecológica terá sucesso se não envolver a população que habita a área em estudo (TRICART, op. cit.).

É preciso entender ainda a dinâmica do ciclo hidrológico a nível local e os principais fatores que influenciam sua alteração. Cada usuário tem uma parcela de responsabilidade e é importante a sua compreensão do ciclo como um todo. De acordo com Garcez e Alvarez (1988), características da topografia, geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, bem como o uso e cobertura do solo na BH, são determinantes na manutenção desse ciclo.

Para minimizar impactos, é necessário estudar as variáveis mais significativas e direcionar a gestão dos recursos hídricos segundo as prioridades de cada região. Abordagem similar foi realizada por Silva Neto et al. (2014), com o mapeamento do uso do solo e delimitação das áreas de preservação permanente (APP) nos municípios goianos de Rio Verde e Jataí. Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para verificar a ocupação e usos do solo em APPs fluviais. O estudo aponta a agricultura extensiva como altamente impactante na conservação da qualidade e da quantidade de recursos hídricos. Na mesma região, outra pesquisa traz informações sobre ocupação irregular de APPs fluviais, os principais impactos ambientais decorrentes, e mostra a importância de se diagnosticar esses problemas para a adequada gestão de recursos hídricos, em busca do equilíbrio ambiental (SILVA NETO et al., 2013).

Os diagnósticos, além de sistematizarem dados subjetivos, ajudam a direcionar a utilização de bens e a dinamizar o trabalho de gestão em uma determinada área. Como enfatiza Santos (2004), o diagnóstico serve para quantificar e qualificar a disponibilidade de recursos, bem como para trazer maior clareza na sua correta destinação no espaço-tempo. Funcionam como norteadores das ações que precisam ser especializadas, facilitando a tomada de decisões e otimizando o tempo de implementação das ações. Assim, constituem-se importantes ferramentas para a gestão de recursos naturais em diferentes escalas.

Tratando-se da gestão de recursos hídricos, a BH é tida como unidade territorial para implementação da PNRH (Lei nº 9433/97) e atuação no SINGREH (BRASIL, 1997). De acordo com os parâmetros geomorfológicos de Christofolletti (1980), a BH também pode ser classificada como um sistema não-isolado, ou seja, que mantém relações com outros sistemas em seu universo de funcionamento, e aberto, o qual mantém trocas constantes de energia e matéria. Assim, possui forte influência em seu ambiente geográfico, como também é alterada significativamente por ações naturais e antrópicas.

Do ponto de vista da teoria dos sistemas, Tricart (1977) descreve o sistema como o melhor instrumento lógico disponível para estudos relacionados ao meio ambiente. Também aponta a importância da ampliação desse conceito e da sua incorporação à ecologia, quando introduziu-se na ciência a noção de ecossistema. Este último trata de diversos aspectos dos meios físicos e bióticos, antes isolados, relacionando-os de maneira integralizada e distribuídos em quatro níveis principais: A) Atmosfera; B) Parte Aérea da Vegetação; C) Superfície do Solo; e D) Parte Superior da Litosfera.

Sob uma ótica mais holística, Tricart (Op. cit.) trata a geografia física como um aspecto da ecologia, abordando o estudo da dinâmica de ecótopos (biótopos), que ele denomina de ecodinâmica. As Unidades Ecodinâmicas (UE) são intrínsecas ao próprio ecossistema, baseadas na lógica sistêmica de relações mútuas entre as partes constituintes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente. Dentre os componentes envolvidos, a morfodinâmica é o mais importante, influente e fator limitante ao desenvolvimento dos seres vivos. Onde sua atividade é intensa, em áreas degradadas ou solos frágeis e expostos, há pouco desenvolvimento da vegetação e, conseqüentemente, da biodiversidade. Em planejamentos ambientais, uma boa administração deve considerar a redução da instabilidade morfodinâmica (TRICART, 1977).

A BH compreende a unidade ambiental básica para se trabalhar a gestão de recursos hídricos, além de outros processos que envolvem a dinâmica ambiental. Considerando a seção de um rio principal, a área da BH compreende todas as vertentes e canais dispostos entre um vale interfluvial e um perímetro topográfico acentuado (divisores de água), os quais convergem o escoamento a um único ponto de saída (exutório) no canal principal (TUCCI; MENDES, 2006), conforme observamos na Figura 1.

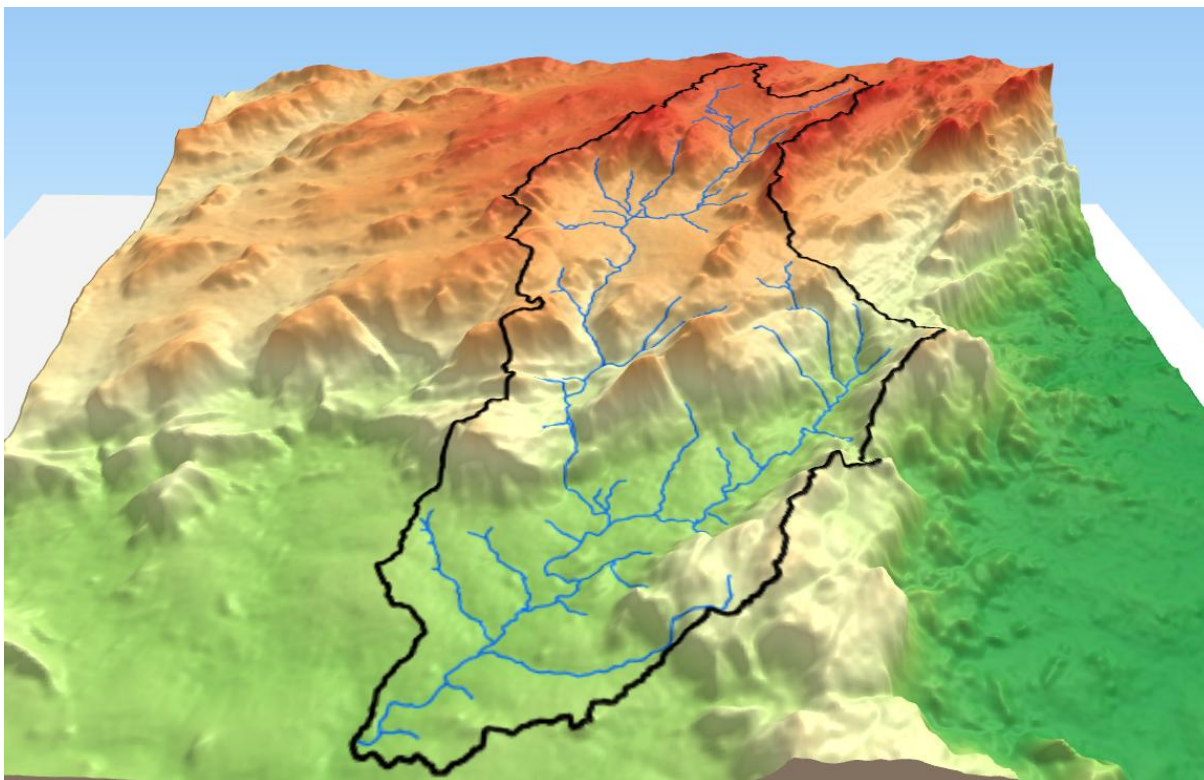


Figura 1. Representação da Bacia Hidrográfica em modelo digital de elevação (MDE) - Fonte: o autor.

De acordo com Valente e Gomes (2015), para se conhecer o real comportamento hidrológico de uma pequena bacia hidrográfica, faz-se necessário conhecer as quantidades de água que se produz ao longo do tempo. Essa quantidade representa a grandeza de vazão, ou seja, toda a água de escoamento da rede de drenagem, que chega ao seu ponto final (exutório).

O balanço de energia e o fluxo de volumes de água são fortemente influenciados pela vegetação. Nesse raciocínio, Tucci e Mendes (2006) afirmam que a parcela inicial de precipitação é retida pelas plantas e quanto maior for a superfície foliar disponível, maior será a quantidade de água retida durante a precipitação. Essa água "captada" pelas folhas é retornada à atmosfera tão logo haja capacidade potencial para evaporação. Tão logo esse balanço seja negativo, as plantas passam a transpirar, retirando a água também do solo, através das raízes, e devolvendo-a ao ambiente pela transpiração foliar.

Do volume total de precipitação, parte atinge o solo e pode se infiltrar ou percorrer sua superfície, de acordo com a capacidade de infiltração, que varia com as características físico-químicas do solo, tipo de cobertura vegetal, umidade relativa etc. Da água infiltrada,

parte pode percolar¹ a camada rochosa até um aquífero, ou escoar por canais sub-superficiais até encontrar a superfície ou um corpo d'água. As parcelas que descem até o aquífero se mantêm armazenadas e são transportadas aos cursos d'água perenes durante o período de estiagem, mantendo a vazão até a próxima estação chuvosa (TUCCI; MENDES, 2006).

1.5 Caracterização morfométrica de Bacias Hidrográficas

Segundo Vilella e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia influenciam diretamente no seu comportamento hidrológico, e possuem estreita correspondência com o ciclo hidrológico. Assim, ao se conhecer essas características, pode-se relacioná-las com dados conhecidos e determinar indiretamente valores hidrológicos, ou outras informações, em regiões onde há ausência desses dados, onde não há estações hidrométricas, por exemplo.

Caracterizar a bacia, portanto, pode contribuir para estudos relacionados a impactos ambientais, previsão de enchentes e estiagens, uso do solo e disponibilidade hídrica, entre os principais relacionados diretamente. Na análise morfométrica foram enfatizadas as características ligadas à geometria, relevo e declividade, além de parâmetros hidrológicos relacionados à rede de drenagem.

1.6 Características da Geometria

1.6.1 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem compreende toda a extensão do rio principal e seus afluentes, ou tributários. Seu detalhamento é importante para se conhecer o grau de velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (VILLELLA; MATTOS, 1975). A ordem de uma BH, ajuda a identificar a sua densidade de canais primários ou afluentes e conseqüentemente o volume de escoamento e disponibilidade hídrica natural.

Existem algumas metodologias com parâmetros de classificação diferentes. Uma classificação adotada com frequência em trabalhos acadêmicos é proposta inicialmente por Horton (1945), e modificada por Strahler (1957). Nessa metodologia, os canais de 1ª ordem são oriundos das nascentes, e não recebem nenhum outro tributário até uma bifurcação. Quando dois ou mais cursos de 1ª ordem se encontram, forma-se um de segunda ordem.

¹Percolar: capacidade de um líquido de atravessar um determinado meio; fluir; passar um líquido lentamente, sob pressão, através de um meio sólido para o filtrar.

Novamente, o encontro de dois ou mais canais de 2ª ordem dão origem a um de 3ª ordem, e assim sucessivamente. Portanto, dois rios de ordem n , em sua interseção formam outro de ordem $n+1$. Mas se um rio de ordem superior recebe outro de ordem inferior, sua hierarquia permanece igual (BROOKS, 2003). Como no exemplo a seguir, quando os rios de 3ª ordem recebem os de 2ª, mantém sua hierarquia até encontrar com outro de mesma ordem (Figura 2).

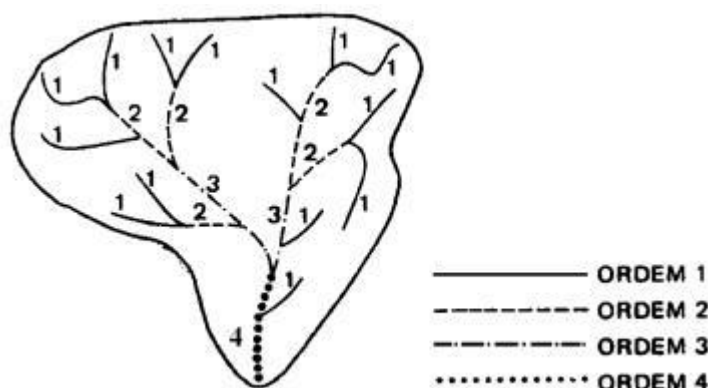


Figura 2. Classificação dos rios segundo Strahler (VILLELA; MATTOS, 1975)

A hierarquia recebida pelo canal principal também dá a magnitude da rede de drenagem da microbacia. Quanto maior a ordem do canal principal, maior a extensão de ramificação da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). A caracterização dos canais indica o grau de influência da rede de drenagem sobre o comportamento hidrológico e transporte de sedimentos, já que são variáveis diretamente relacionadas.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas se inicia, portanto, pela ordenação dos canais, afim de se obter essa hierarquia fluvial. A partir daí se iniciam os processos de análise dos aspectos lineares, cálculos de áreas e hipsometria (CHRISTOFOLETTI, 1980).

1.6.2 Área de Drenagem

A área de drenagem da bacia hidrográfica é compreendida por toda a extensão superficial que encontra-se entre os seus divisores topográficos, ou divisores de água, os quais sejam vertentes em direção aos canais ou talwegues (FINKLER, 2012). Representam os elementos básicos para calcular as demais características físicas (VILLELA; MATTOS, 1975). A área pode ser calculada por métodos diversos, sendo os mais clássicos realizados com o auxílio de cartas topográficas, de preferência com escalas maiores (1:50000 ou mais), através dos métodos de estimativa (comparada), malha de pontos ("dot grid"), malha de linhas paralelas (transversais) (LIMA, 1996), ou planímetro (VILLELA; MATTOS, 1975).

No sistema QGIS, a área pode ser calculada de forma semi-automática, desde que se tenha a delimitação em polígono vetorizado (*shapefile*, **shp*) e esteja projetada em coordenadas planas (*UTM*). Através de edição da "Tabela de Atributos" do vetor, pode-se utilizar a ferramenta "Calculadora de Campo", que contém fórmulas diversas, com resultados automatizados na forma de um novo campo. Um algoritmo geométrico (*\$area*) calcula a superfície total em m², devendo-se dividir esse valor por 1.000.000, para obter o resultado em km², ou por 10.000, caso queira se trabalhar com hectares (ha). Para o perímetro, divide-se o resultado por 1.000, para obter os dados em km. Adotou-se nesta pesquisa as medições em km e km². As medidas de área e perímetro foram utilizadas em fórmulas diversas para obter os principais coeficientes de análise morfométrica da BH.

1.6.3 Forma da Bacia

Seguindo os conceitos adotados por Villela e Mattos (1975), a forma das bacias tem importância na determinação do tempo que leva para que, desde o início de uma precipitação qualquer, a água que cai nos limites topográficos chegue até o ponto final da vazão superficial (exutório). Essa característica tem importância para saber o grau de risco de uma BH ser atingida por enchentes repentinas. Quanto mais circular uma bacia, maior a tendência à este tipo de evento. Segundo os autores, as bacias de grandes rios tendem a um formato mais arredondado, ou similar a uma pêra ou leque, enquanto que as pequenas bacias podem variar bastante, de acordo com a geomorfologia de sua área delimitada.

Diversos índices de determinação da forma de uma bacia buscam relacioná-las a formas geométricas conhecidas, como o coeficiente de compacidade, que a relaciona com um círculo, e o fator de forma com um retângulo (VILLELA; MATTOS, 1975). Os autores descrevem sistematicamente as principais equações e suas aplicações na determinação de fatores de influência no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, como veremos a seguir.

1.6.4 Coeficiente de Compacidade (*Kc*)

Também conhecido como índice de Gravelius - *Kc* - é resultante da relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a sua.

$$A = \pi r^2 \qquad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \qquad (a)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \quad (b)$$

Substitui-se (a) em (b), então:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde P e A são respectivamente o perímetro, em km, e a área da bacia, em km². Essa relação varia de acordo com a forma da bacia, onde quanto mais irregular, maior o coeficiente de compacidade. O coeficiente mínimo igual a unidade refere-se a uma bacia circular. Se outras variáveis forem equivalentes, quanto mais próximo da unidade, maior a predisposição a eventos de enchentes (Tabela 8). Isso ocorre devido à probabilidade de uma tempestade ou de chuva intensa atingir toda a área da BH simultaneamente, caso seu formato seja circular.

1.6.5 Fator de Forma (K_f)

O fator de forma - K_f - é obtido pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. O comprimento axial (L) é medido pelo segmento do curso d'água principal, desde a sua foz até a cabeceira mais distante à montante deste ponto (rio acima). A largura média ($\bar{L}$) é resultado da divisão de sua área pelo comprimento da bacia.

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L} \quad (c)$$

Mas $\frac{\bar{L}}{L} = \frac{A}{L^2}$, logo:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

O índice do fator de forma também é determinante para saber a tendência da bacia em receber enchentes. Um fator de forma baixo significa que seu aspecto é menos aproximado à forma circular, pois seu formato é estreito e alongado, o que dificulta a ocorrência de chuva concentrada simultaneamente em toda sua extensão. A distribuição dos canais também, neste caso, é mais difusa, tornando o escoamento mais gradual do que numa bacia circular. Nesse caso a área da BH se compara mais à de um retângulo.

1.6.6 Índice de Circularidade

Da mesma forma que os coeficientes Kc e Kf, o índice de circularidade mede o fator de aproximação da BH ao formato de um círculo. Quanto mais aproximado da unidade, maior o risco de eventos de cheias, com um valor adimensional obtido pela fórmula:

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

A Tabela 1 apresenta um resumo com os principais indicadores de risco de enchentes numa BH, bem como os valores de classificação de cada parâmetro:

Tabela 1. Principais parâmetros indicadores do risco de enchentes em Bacias Hidrográficas.

	Valores dos Parâmetros Indicadores		
Tendência à ocorrência de Enchentes	Kc	Kf	Ic
Alta	1,00 - 1,25	> 0,75	> 0,51
Média	1,25 - 1,50	0,75 - 0,50	0,51
Baixa	> 1,50	< 0,50	< 0,51

Fonte: Horton (1932); Miller (1953); Schumm (1956); Horton (1945), adaptado de Souza, C. et al. (2017).

1.7 Características da Hidrografia

1.7.1 Densidade Hidrográfica

Também caracterizado como Densidade de rios (D_r), é a relação direta entre o nº de canais ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica. Esse índice foi desenvolvido primeiramente por Horton (1945, apud CHRISTOFOLETTI, 1980). Tem por finalidade comparar a frequência ou quantidade de cursos d'água já existentes. Seu cálculo representa o comportamento hidrológico da BH e estima a sua capacidade de gerar novos canais.

$$D_r = \frac{N}{A} \quad (4)$$

1.7.2 Densidade de Drenagem

O índice de Densidade de drenagem (D_d), é um bom indicador do grau de desenvolvimento da rede de drenagem da microbacia, como também da fragilidade do solo

em relação às alterações do meio. É obtido pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água duma bacia (L), dividido pela sua área (A).

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (5)$$

A Densidade de Drenagem tem relação inversa com a extensão média do escoamento superficial, fornecendo indicação da eficiência da drenagem. Quanto mais desenvolvida a rede, mais eficiente é sua drenagem e sua capacidade de carregar sedimentos. Um índice médio varia de 0,5km/km², em bacias pouco drenadas, até 3,5 km/km², para bacias com alta capacidade de drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975). Todavia, segundo Strahler (1957), à medida que a densidade de drenagem aumenta, diminuem-se proporcionalmente o tamanho das sub-bacias da BH, assim como o comprimento dos canais de primeira ordem da mesma.

Em estudos geomorfológicos, a D_d é de importância primária em análises de formação da paisagem e conservação do solo. É esperada uma relação positiva próxima entre a densidade de drenagem e a formação de sedimentos. Há uma teoria racional da relação entre densidade de drenagem e intensidade de erosão, a qual pressupõe mudanças morfológicas quando a resistência da superfície é reduzida pelo uso da terra (STRAHLER, 1957). Assim, a Densidade de Drenagem pode indicar áreas prioritárias para conservação na BH, se aumentarmos a escala de trabalho, com foco nas sub-bacias de menor ordem. Esse detalhamento não foi abrangido neste estudo, mas as metodologias utilizadas podem se aplicar a estudos mais pontuais.

1.7.3 Extensão Média do Escoamento Superficial

Este índice pode ser definido como a distância média em que a água da chuva percorre em superfície, do ponto em que cai até o canal de escoamento mais próximo, caso isso ocorresse em linha reta. Considera-se também, que a área da bacia pode ser representada por uma drenagem retangular, com o canal de extensão L passando por seu centro (Figura 7).

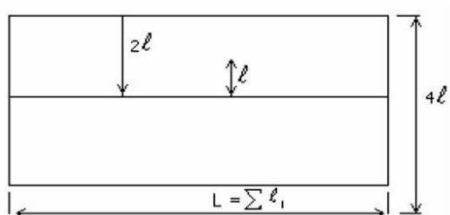


Figura 3. Extensão Média do Escoamento Superficial (VILLELA; MATTOS, 1975)

$$\text{Se: } 4 \cdot \ell \times L = A, \quad \text{então: } \ell = \frac{A}{4L} \quad (6)$$

Assim temos que a extensão do escoamento superficial é igual a um quarto da largura do recíproco da densidade de drenagem, medindo-se perpendicularmente ao seu curso.

1.7.4 Sinuosidade do Curso D'água de Maior Ordem

Os índices de sinuosidade apontam a porcentagem da curvatura do canal principal, que é um fator de controle da velocidade de drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975), bem como de transporte e acúmulo de sedimentos no curso d'água.

A sinuosidade do curso d'água - *Sin* - é a relação do comprimento total do rio principal, com o comprimento de um talvegue (linha que interliga os pontos de cota mais profunda do leito) - *Lt*. Acontece que a medida do talvegue é diferente do canal, e seu perfil é subsuperficial ao curso d'água, o que tornava difícil o seu traçado em mapas analógicos ou a sua visualização por fotos aéreas. Para solucionar esse impasse, Mueller (1968, apud CHRISTOFOLETTI, 1981), apresenta índices que consideram essa situação, como o índice de sinuosidade hidráulica - I_{sh} - e índice de sinuosidade topográfica - I_{st} . Para calculá-los, são necessárias três medidas prévias:

C_c = Comprimento do canal, da nascente até o exutório

C_v = Comprimento do vale ao longo do rio, medido ao longo da linha situada na metade da distância que separa os sopés das vertentes. O valor de C_v será igual ao C_c , quando as vertentes atingirem diretamente o curso d'água (em vales profundos, por exemplo), e será menor quando houver planície de inundação.

E_v = A distância mais curta, em linha reta, entre a nascente mais à montante do canal principal e o exutório.

Com base nessas medidas, é possível obter os seguintes índices:

$$\text{a) índice do canal } (I_c) = \frac{C_c}{E_v}, \text{ ou índice de sinuosidade total, hidráulica e topográfica} \quad (7)$$

$$\text{b) índice do vale } (I_v) = \frac{C_v}{E_v}, \text{ ou índice de sinuosidade topográfica total;} \quad (8)$$

c) *índice de sinuosidade hidráulica* (I_{sh}) = % equivalente de $\frac{I_c - I_p}{I_c - 1}$, o qual indica a porcentagem que um rio se distancia de um curso em linha reta, devido a sinuosidade hidráulica dentro do vale; (9)

d) *índice de sinuosidade topográfica* (I_{st}) = % equivalente a $\frac{I_p - 1}{I_c - 1}$, indicando a porcentagem que um rio se distancia de um curso em linha reta, devido a interferência topográfica. (10)

Assim, o total entre os I_{sh} e I_{st} é sempre igual a 100. Então, sempre que um índice é calculado, pode-se obter o outro por subtração. Apesar de ser um método vantajoso, Christofolletti (1981) aponta duas ponderações negativas a respeito dos índices de Mueller:

a) O índice de sinuosidade topográfica ignora o tamanho das curvas fluviais, se são grandes ou pequenas, se numerosas ou não;

b) os índices ora calculados para o conjunto todo do rio, não levam em conta a sinuosidade específica em nos trechos intermediários do curso d'água.

Mansikkaniemi (1970, apud CHRISTOFOLETTI, 1981), com base na porcentagem do índice de sinuosidade, estabelece cinco classes (Quadro 3):

Quadro 3. Classificação de Sinuosidade do Canal Principal, segundo Mansikkaniemi (1970, apud Christofolletti, 1981).

Classe	Índice de Sinuosidade	Percentual de Sinuosidade
I	Muito Reto	< 20%
II	Reto	20,0 - 29,9 %
III	Divagante	30,0 - 39,9 %
IV	Sinuoso	40,0 - 49,9 %
V	Muito Sinuoso	≥ 50 %

1.8 Características do Relevo

Para realizar a caracterização referente ao relevo, outros indicadores devem ser calculados, entre os quais se voltou à aplicação a declividade da bacia, curva hipsiométrica, elevação média da bacia e declividade de Álveo (Vilella e Mattos, 1975). O índice de

declividade é aplicado em compilação com outros dados, referentes ao tipo de solo e seu uso e cobertura, para gerar mapas de fragilidade ambiental da área, como exposto no Capítulo 2.

Na elaboração e análise dos mapas foi priorizado o estudo relativo à Erosão Laminar (SALOMÃO, 2010), devido sua compatibilidade com a abordagem utilizada na pesquisa e à limitação de tempo disponível. Estudos sobre erosão por concentração de fluxos de água (erosão linear) exigem outros procedimentos e metodologia mais aprofundada, que vêm a calhar em estudos posteriores, fundamentais para um melhor manejo de solos na área.

A Erosão Laminar, ou por escoamento difuso, é o processo de perda de solo que ocorre de forma progressiva, e relativamente uniforme, removendo as camadas horizontais mais superficiais do terreno. É influenciada principalmente pela chuva, mas agrava-se de acordo com a declividade do terreno, tipo de solo e cobertura vegetal. É também o primeiro processo a desencadear uma degradação mais profunda no solo, pois quando há concentração de erosões laminares, essas culminam em canais ou valas, resultando em escoamento concentrado ou linear e iniciando o processo de ravinas e voçorocas (SALOMÃO, 2010).

Por isso é importante mapear o potencial às erosões laminares como forma de prevenir seu agravamento e evitar os processos de erosões lineares, os quais são mais difíceis de estudar e controlar. A Erosão Linear sofre influência não só dos fatores naturais citados, mas agrava-se pela ação hidráulica de escoamento superficial e subsuperficial e pelo comportamento piezométrico do lençol freático. Suas formas mais sutis são denominadas sulcos e ravinas, concentradas mais superficialmente; e as mais agressivas são as voçorocas, que são agravadas pelo escoamento subsuperficial concentrado, desenvolvendo o fenômeno conhecido como *pipping*. Esse fenômeno remove partículas sólidas e forma canais de escoamento no subsolo que crescem em direção contrária ao fluxo natural da água, causando desmoronamentos do terreno e ampliando o tamanho das voçorocas ou iniciando novos ramais. Essa forma de erosão, portanto, envolve muitos processos de alteração de solo, que lhe conferem um alto poder destrutivo (SALOMÃO, 2010).

2 - METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A BH do Rio São Bartolomeu (Figura 4) está localizada na microrregião da Chapada dos Veadeiros, nordeste do estado de Goiás, entre as latitudes $-13^{\circ} 79'$ e $-13^{\circ} 97'$, e as longitudes $-47^{\circ} 42'$ e $-47^{\circ} 52'$. Possui cerca de 98% de sua área no município de Cavalcante (109,37 km²) e aproximados 2% no município de Alto Paraíso de Goiás (2,23 km²). A área total da BH é de 111,6 km² (11.160 ha) e seu perímetro tem uma delimitação de 72,22 km (LIMA et al., 2018).

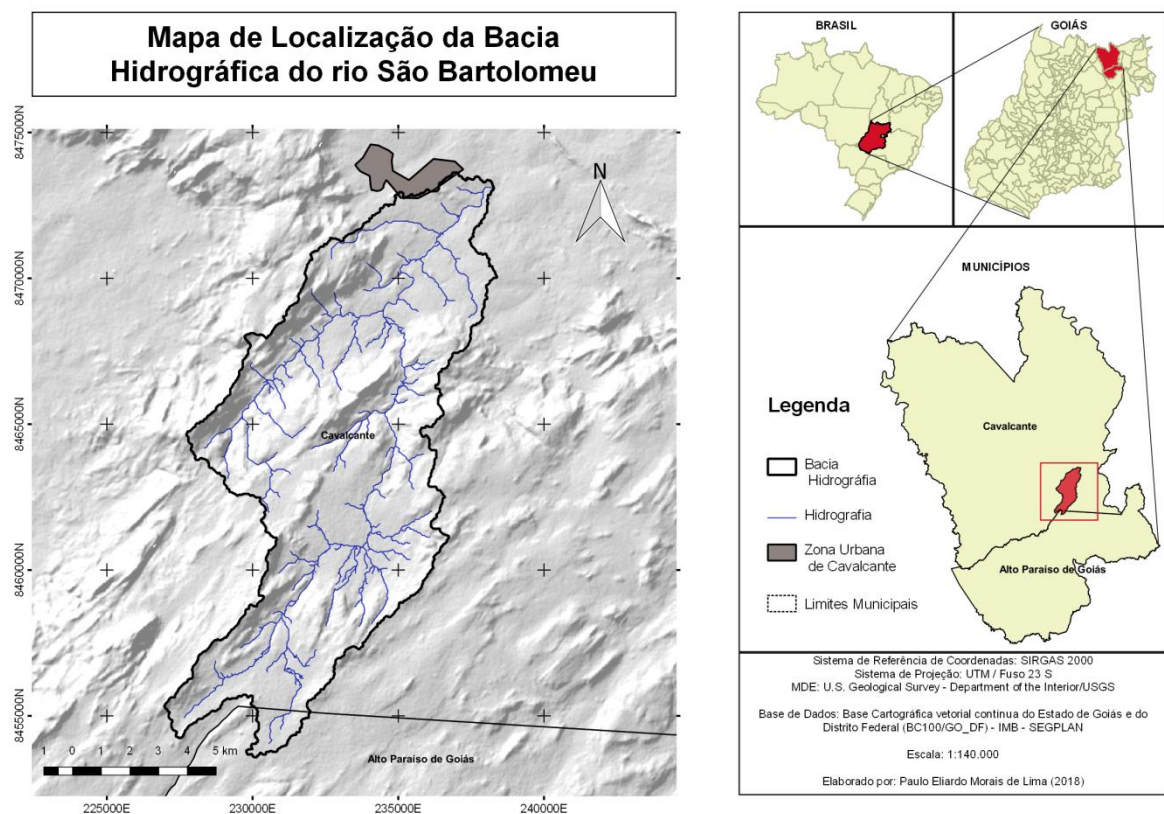


Figura 4. Mapa de Localização da BH do Rio São Bartolomeu. Fonte: autor

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (1928), é o Aw, caracterizado pelo clima Tropical com estação seca no inverno. As temperaturas médias anuais variam entre 23 e 24°C, e a precipitação média anual entre 1600 e 1800mm (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Quanto à geologia, a BH encontra-se em uma zona de cisalhamento das mais antigas do planeta, com as cotas mais elevadas sobre o embasamento Formação Arraias, do Grupo Araí (1,7 bi ap), com predominância de rochas Litofáceis de Quartzito feldspáltico, e traços de Metaconglomerados e Metarenito na faixa de cisalhamento; às cotas inferiores sobrepõem-se à Suíte Aurumina (2,2 bi ap), com rochas Fáceis 2, Monzogranito. Também apresenta traços de afloramento da Formação Ticunzal, em sua porção centro-oeste (MOREIRA et al., 2008).

Em relação à geomorfologia, vale destacar que mais de 50% da BHRSB encontra-se em Superfície Regional de Aplainamento I (SRA-I), com cotas entre 1000 e 1600m, com dissecação forte, representando a superfície mais elevada do estado. Uma pequena área (2%) é composta por Zona de Erosão Recuante com dissecação forte, com forte Controle Estrutural. E na porção de cotas menores, predomina a Superfície Regional de Aplainamento IV-A com cotas entre 400 e 550m, com dissecação fraca, desenvolvida principalmente sobre rochas pré-cambrianas (GOIÁS, 2006). Importante colocar também que a porção sobre a SRA-I coincide com a área da BH que está nos limites do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, importante Unidade de Conservação de Proteção Integral para a região e para estas unidades geomorfológicas.

Com referência aos aspectos pedológicos, a BH concentra basicamente cinco classes de solo principais, as quais são apresentadas com mais detalhes em mapa específico, nos resultados deste trabalho. Na escala utilizada para o mapeamento de solos (1:250000) foram identificados predominantemente os Cambissolos Háplicos, nas cotas médio-inferiores (entre 1300 e 800m de altitude), seguidos dos Plintossolos Pétricos e Afloramentos de Rocha nas cotas mais elevadas (entre 1300 e 1670m); uma estreita faixa lateral de Neossolos Litólicos ocorre na porção noroeste (800 a 1000m) e uma ínfima parcela de Latossolo Vermelho nas cotas menos elevadas (765 a 800m), próxima ao exutório da BH (EMATER, 2016).

2.2 Delimitação e caracterização morfométrica da BHRSB

Para a delimitação da BHRSB utilizou-se de dados secundários matriciais, os Modelos Digitais de Elevação (MDE), extraídos da base de dados do projeto *Earth Explorer*², do USGS, coletados via *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*, com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximados 30m), pois o MDE do TOPODATA não funcionou para

²USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>

este procedimento especificamente. As cartas do USGS também são apresentadas em formato *GeoTiff*, previamente tratadas por processos de preenchimento de falhas de aquisição, refinamento da resolução espacial, derivação e pós-processamento, até a obtenção do produto final (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

Foram utilizadas as folhas MDE *SRTM1S15W048V3* e *SRTM1S14W048V3*, do mapa índice do *United States Geological Survey (USGS)*, para compor a área da BH, que contempla os municípios de Alto Paraíso de Goiás e Cavalcante. As folhas foram unidas pelo processo de mosaico, para torná-las uma única camada *Raster* (dados matriciais). Os procedimentos foram realizados através do Software Livre *QGIS 2.14 Essen*.

Para se trabalhar com delimitação de BH em SIG, recomenda-se a utilização do sistema de coordenadas planas *Universal Transverse Mercator (UTM)*, sistema métrico, mais adequado na medição de geometrias, comprimento de canais e outras medidas. Preferencialmente utilizar o fuso exato em que se localiza a área ou a maior parte dela, quando ocupar mais de um fuso. Para a área do estudo, foi utilizado como referência o sistema *SIRGAS 2000 / UTM zone 23S* (código EPSG³: 31983), pois a BH encontra-se no Fuso 23 ao sul da linha do equador.

Existem diversos algoritmos para delimitação de uma BH, sendo que aqui utilizou-se de alguns algoritmos do *GRASS GIS*, presentes na biblioteca do *QGIS 2.14*. O primeiro algoritmo processado é o *r.fill.dir*, que detecta e preenche possíveis depressões da camada *raster* (MDE). Esse procedimento é importante para corrigir possíveis falhas no MDE, e gerar uma rede de drenagem sem interrupções, fundamental para delimitar a bacia.

Com o *raster* preenchido, é possível delinear a rede de drenagem (os canais) e delimitar a área de contribuição superficial da microbacia. O procedimento é realizado inicialmente pelo algoritmo *r.watershed*, para a geração da rede de canais e drenagens e delimitação das microbacias intermediárias. Após, utiliza-se o *r.water.outlet*, que gera a delimitação final através de um ponto georreferenciado, no exutório da bacia (foz), o qual converge todo o fluxo à montante desse ponto na área de delimitação. O ponto de exutório foi coletado em campo com uso de *GPS*, mas pode ser marcado no próprio *QGIS*, desde que se tenha a noção exata de onde é a convergência da rede de drenagem.

Os produtos gerados com esses algoritmos incluem a rede de drenagem, direção de fluxo e perímetro da BH. Esses dados são utilizados para caracterizar a bacia hidrográfica em diferentes aspectos como sua área, formato da bacia, densidade de drenagem. Os dados de

³EPSG: *European Petroleum Survey Group* - <http://www.epsg.org/>

direção de fluxo e rede de drenagem são importantes insumos para a caracterização do ambiente físico. As informações são comparadas com estudos em outras BH's, de modo a relacionar determinados comportamentos hidrológicos e averiguar se ocorrem anormalidades. A rede de drenagem, por exemplo, identifica sistemas de transporte de deflúvios em determinado espaço, servindo ainda como sistema dinâmico de depósito de sedimentos na escala temporal de evolução da paisagem (JARVIS, 1977).

2.3 Diagnóstico ambiental da BHRSB

O diagnóstico ambiental aqui realizado está orientado pela metodologia de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, descrita por Ross (2011), a qual é embasada pelo conceito de Unidades Ecodinâmicas desenvolvido por Tricart (1977). O presente estudo não aborda todos os aspectos citados em ambas metodologias, as quais demandam estudos elaborados a médio e longo prazo que não são contemplados nesta pesquisa. A pouca disponibilidade de dados, fundamentais a tal aprofundamento, também é um fator limitante. Mas busca-se trazer o máximo de informações que possam auxiliar num planejamento de uso do território para um futuro próximo.

Para o geoprocessamento, utilizou-se de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com distribuição e/ou licenças livres e gratuitas, entre os quais o *QGIS 2.14 Essen*, o *GRASS GIS* e o *SAGA GIS*, o software *GoogleEarth*, além de dados coletados em campo, com uso de aparelho de Sistema de Posicionamento Global (*GPS*). A delimitação da área, os mapas de declividade e de hipsometria foram extraídos através de algoritmos em ambiente SIG, utilizando-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) a partir de dados brutos do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). As folhas disponibilizadas já vem tratadas através dos processos de preenchimento de falhas de aquisição e interpolação para refinamento da resolução espacial, convertida de 90 para 30 metros ou 1 arco de segundo (VALERIANO, 2003; VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

Foram adquiridos dados matriciais e vetoriais, em registros nos bancos de dados de órgãos federais, estaduais e instituições de pesquisa, entre os quais podemos citar: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Universidade Federal de Goiás (UFG) e *United States Geological Survey* (USGS).

A Análise de Fragilidade utilizou-se da classificação de Suscetibilidade à Erosão, conforme critérios de classificação de declividades do INCRA (2006), dispostos nas Tabelas 2 e 3, e que foram adaptados de acordo com Ross (2011), para as classes de fragilidade quanto à declividade do relevo (Tabela 4).

Tabela 2. Classificação de Declividade do Relevo, segundo INCRA (2006).

Classes de Relevo	Declividade (%)
Plano	0 - 2
Suave Ondulado	2 - 5
Moderadamente Ondulado	5 - 10
Ondulado	10 - 15
Forte Ondulado	15 - 45
Montanhoso	45 - 70
Escarpado	> 70

Tabela 3. Declividade de Áreas com Restrição Ambiental, adaptado do INCRA (2006).

Classes de Relevo	Classe de Declividade (%)	Declividade (Graus)
Área de Uso Restrito	47 - 100	25° - 45°
Preservação Permanente (APP)	> 100	> 45°

Tabela 4. Classes de Fragilidade quanto à declividade do relevo, segundo Ross (2011).

Categorias Hierárquicas	Declividade (%)
Muito Fraca	Até 6
Fraca	6 a 12
Média	12 a 20
Forte	20 a 30
Muito Forte	Acima de 30

A erodibilidade natural dos solos foi obtida de acordo com o mapa de solos da BH, extraído previamente do mapa de solos do Estado de Goiás, , em escala 1:250000, elaborado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER, 2016), e disponível no portal do SIEG (Sistema de Informações Estatísticas e Geográficas do Estado de Goiás). Com as classes delimitadas, realizou-se a reclassificação segundo a fragilidade, baseada nas classificações utilizadas por Salomão (2010), Zaparoli e Cremon (2010) e Ross (2011).

Posteriormente, os dados de declividade foram relacionados com as classes de fragilidade dos solos quando à erodibilidade (Figura 5), através de matriz elaborada pelo IPT (1990), adotada por Salomão (2010) e Silva e Oliveira (2015), conforme Tabela 5.



Figura 5. Etapas para obtenção do Mapa de Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar, adaptado de Silva e Oliveira (2015).

Tabela 5. Critério adotado na definição de Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar, segundo o IPT (1990, apud Silva e Oliveira, 2015), adaptadas à classificação de Ross (2011).

		Declividade (%)				
		I (0-6)	II (6-12)	III (12-20)	IV (20-30)	V (>30)
Erodibilidade	1	V	V	V	IV	IV
	2	V	V	IV	IV	III
	3	V	IV	IV	III	II
	4	IV	IV	III	II	I
	5	IV	III	II	I	I

- CLASSE I: EXTREMAMENTE SUSCETÍVEL: terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou reflorestamento.
- CLASSE II: MUITO SUSCETÍVEL: terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para o reflorestamento.
- CLASSE III: MODERADAMENTE SUSCETÍVEL: terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados à pastagens e culturas perenes.
- CLASSE IV: POUCO SUSCETÍVEL: terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, mais indicados à pastagens e culturas perene e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas conservacionistas.
- CLASSE V: POUCO A NÃO SUSCETÍVEL: terrenos sem problemas ou com problemas simples especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura.

A suscetibilidade à erosão laminar é um produto intermediário, que apresenta o grau de fragilidade do solo em sua conservação natural da cobertura, considerando a variável

dissecação do relevo. Com o mapa de suscetibilidade à erosão pronto, procede-se a elaboração do mapa de uso do solo para posterior sobreposição e obtenção do mapa de potencial à erosão laminar, conforme Figura 6 (SALOMÃO, 2010).



Figura 6. Etapas para obtenção do Mapa de Classes de Potencialidade à Erosão Laminar, adaptado de Silva e Oliveira (2015).

A cobertura e uso do solo foi extraída através de análise espacial por classificação supervisionada, com o *Semi-automatic Classification Plugin (SCP)*, no software QGIS. Escolheu-se esse método por se tratar de uma ferramenta fácil de utilizar e apresentar resultados adequados ao mapeamento de uso e ocupação, mesmo em escalas detalhadas e com alta especificidade de categorias (PEREIRA; GUIMARÃES, 2018). Para a composição de bandas, utilizou-se de imagens do satélite Landsat 8, na órbita 221, ponto 70, com data de passagem em 08-05-2018, adquiridas no site do USGS (*United States Geological Survey*). Escolheu-se as cenas do mês de maio por representarem a transição entre a estação chuvosa e a seca, apresentando melhor distinção entre cobertura do solo e áreas degradadas, e boa visibilidade em relação à cobertura por nuvens, inferior a 10% (SANTOS; LIMA, 2018). O método de classificação utilizado foi a Máxima-Verossimilhança (MaxVer), com eficiência comprovada em estudos recentes (PEREIRA; GUIMARÃES, 2018; SANTOS; LIMA, 2018).

Antes da elaboração do mapa de uso do solo, foram coletadas amostras da verdade em campo, com georreferenciamento de áreas e usos predominantes na BHR SB, em trechos próximos às nascentes analisadas e outros locais visitados previamente. As categorias distinguidas em campo abrangem uma gama de fitofisionomias do Cerrado e outras coberturas vegetais num limiar de 10 classes representativas na BHR SB. Essas classes foram identificadas na etapa de treinamento, onde o analista define as regiões de interesse a se considerar pelo *plugin* (SANTOS; LIMA, 2018). A classificação foi adequada à hierarquia estabelecida por Ross (2011), sintetizada em cinco classes de proteção, as quais representam melhor os aspectos de intensidade do uso e adensamento de cobertura, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal, segundo Ross (2011).

Categorias de Cobertura / Uso do Solo Predominantes na BH	Hierarquia estabelecida por Ross (2011)	
	Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1 - Matas Ripárias e Estacionárias 2 - Veredas / Buritizais	V - Muito Alta	Florestas/Matas naturais, Florestas cultivadas com biodiversidade
3 - Cerrados Típicos 4 - Capoeiras	IV - Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (Mata Secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa), Mata Homogênea de <i>Pinus</i> Densa.
5 - Campos Limpos / Sujos 6 - Pastos Conservados	III - Média	Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo adensados, cultivos de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de Eucaliptos com sub-bosque nativo.
7 - Campos Rupestres 8 - Pastos Degradados	II - Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade com solo exposto entre linhas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, sola, milho), algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
9 - Solos Expostos 10 - Áreas Urbanizadas	I - Muito Baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Após o pré-processamento e classificação realizados, utilizou-se de uma matriz de confusão na etapa de pós-processamento, onde foram cruzados os dados de amostra da realidade em campo com as camadas resultantes dos vários testes de classificação realizados. Para avaliação de concordância da matriz de confusão, o próprio *plugin* SCP gera também os índices de acurácia e o coeficiente Kappa, de acordo com a classificação de Landis e Koch (1977), os quais são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores para o coeficiente Kappa, adaptado de Landis e Koch (1977).

Estatística Kappa	Fator de Concordância
< 0.00	Insignificante
0.00 - 0.20	Fraca
0.21 - 0.40	Razoável
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Forte
0.81 - 1.00	Quase Perfeita

A matriz de potencial à erosão laminar resulta no mapa final de fragilidade (SALOMÃO, 2010), que é dividido em três classes potenciais, como descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar (IPT, 1990 apud SALOMÃO, 2010)

		Classes de ocupação atual das terras				
		1	2	3	4	5
Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar	1	I	I	I	II	III
	2	I	II	II	III	III
	3	II	II	II	III	III
	4	II	III	III	III	III
	5	III	III	III	III	III

- Classe I = Alto Potencial - uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar;
- Classe II = Médio Potencial - uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas;
- Classe III = Baixo Potencial - uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

O fluxograma a seguir, resume o processo de cruzamento de dados para geração dos mapas referentes à suscetibilidade e potencialidade à erosão laminar (Figura 7).

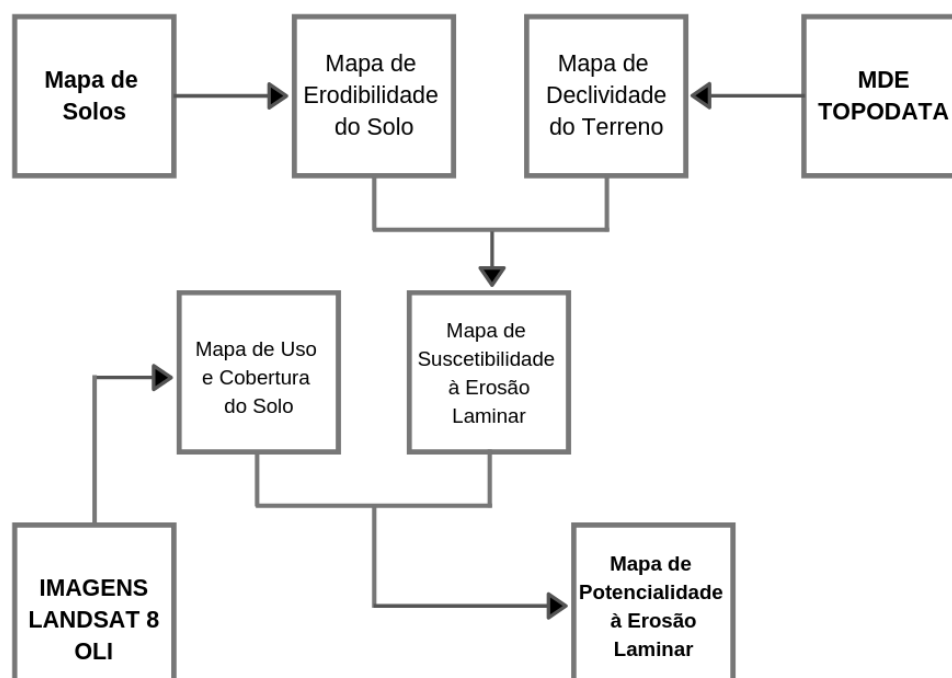


Figura 7. Fluxograma de geração dos Mapas Temáticos.

Em relação à questão hídrica, são abordadas variáveis específicas relacionadas aos estudos sobre hidrologia aplicada, baseados nas metodologias de Morfometria de Bacias Hidrográficas (VILLELA; MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980), Hierarquização de Canais e Ordenamento de Bacias Hidrográficas (HORTON, 1945 modificado por STRAHLER, 1957), e Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica (TUCCI; MENDES, 2006). O processo de Hierarquização de Canais e Ordenamento foi executado, através do software *QGIS 2.14*, com a utilização do algoritmo *QGIS StrahlerPlugin*, específico para a classificação da rede de drenagem. A hierarquia fluvial é gerada automaticamente através de um ponto específico, próximo ao exutório da BH, onde o algoritmo calcula o número de canais e a ordem de Strahler a montante desse ponto.

2.4 Análise de Impactos Ambientais em Nascentes da BHRSB

A análise de impactos ambientais sobre as nascentes da BHRSB ocorreu em duas etapas simultâneas. A primeira iniciou com o monitoramento da vazão remanescente, no exutório da BH. Essa metodologia foi escolhida para testar a normalidade de escoamento superficial durante o período de um ano. Outra etapa consiste no mapeamento e avaliação macroscópica de algumas nascentes, em áreas impactadas e preservadas, afim de se conhecer a qualidade ambiental dessas fontes, comparar os graus de conservação e levantar as áreas prioritárias à recuperação.

2.4.1 Medições de Vazão

Para obter a medida de vazão remanescente da bacia hidrográfica, foi utilizado o método do Flutuador (EMBRAPA, 2007) próximo ao exutório do canal principal. Os dados de vazão de drenagem na microbacia eram inexistentes, sendo que o pesquisador coletou essa informação mensalmente, sempre ao final do mês transcorrido, durante o ano de 2018.

O método do flutuador é simples, prático, de baixo custo e sem impactos ao meio ambiente. São utilizados dois cordeletes, fixados por estacas e esticados em duas seções transversais do rio, com distância de 6m entre ambas (Figura 8). Com uma trena longa, são medidas as larguras de cada seção, para se obter a média e calcular posteriormente a área de medição. Em cada seção, são medidas as profundidades perpendiculares em pontos equidistantes (Figura 9), os quais servem de base para cálculo do volume médio do trecho.



Figura 8. Seções transversais para medição de vazão.



Figura 9. Medida da profundidade do rio em diversos pontos da seção transversal.

Com os dados de volume, calcula-se o tempo médio de deslocamento do flutuador entre as seções, para obter o resultado em m³/s. Os flutuadores podem ser objetos diversos (garrafa, tronco, ou até uma laranja), desde que mantenham-se com aproximados 70% de seu volume submerso (Embrapa, op. cit.). No estudo, foi utilizada uma garrafa plástica de 500ml (Figura 10).

Equação para medição da vazão (V)

$$V = \frac{A \cdot L \cdot C}{t} \quad (10)$$

Onde:

V = Vazão em metros cúbicos por segundo (m³/s);

A = média da área do rio (distância entre margens x profundidade) no trecho **L**;

L = comprimento do canal na área de medição;

C = coeficiente ou fator de correção (0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento). O coeficiente permite a correção devido ao fato da água se deslocar mais rápido na superfície do que na porção do fundo do rio. Multiplicando a velocidade da superfície pelo coeficiente de correção obtém-se uma melhor medida da velocidade da água;

t = tempo, em segundos, que o flutuador leva para deslocar-se no trecho **L**.



Figura 10. Objeto flutuador para medição do tempo de deslocamento.

2.4.1.1 SELEÇÃO DE UM TRECHO DO RIO (L)

Segundo a EMBRAPA (2007), o trecho escolhido para medição da vazão deve ser reto (sem curvas), ter no mínimo 15 cm de profundidade e não ser uma área de águas paradas. O comprimento deste trecho será igual a L na fórmula. Para este estudo, foi escolhido um trecho com essas características, o qual balizou-se com as duas cordas, a uma distância de seis metros (m) entre a primeira e a segunda seção.

2.4.1.2 CÁLCULO DA ÁREA MÉDIA DO TRECHO DO RIO (A)

A área do trecho medido é obtida pelo produto resultante da largura entre margens multiplicada pela média de profundidade. São calculadas as áreas da seção superior e inferior do trecho. Somam-se as áreas e divide-se por dois para obter-se a área média. Para determinar a profundidade média, divide-se cada corda em seções equidistantes, marcando esses intervalos com fitas. Mede-se a profundidade em cada marcação, somando-se depois todos os valores e dividindo-se pelo total de intervalos. A recomendação da EMBRAPA (2007) é que se divida cada seção em, no mínimo, cinco intervalos. Como a largura do leito é superior a 10

metros, e tem considerável variação de profundidade, as seções foram divididas em dez intervalos cada (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9. Intervalos de medida da profundidade da seção 1 do Ponto de Medição 02 (PM02)

Seção	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total (L)
Distância de A (m)	0,00	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,63	16,72	18,81	18,81
Profundidade (m)	0,52	0,57	0,54	0,50	0,49	0,59	0,74	0,92	1,08	0,81	0,676
Total área 1 (m²)	L x m										12,72

Fonte dos dados: Saída de Campo em 30 abr. 2018.

Tabela 10. Intervalos de medida da profundidade da seção 2 do Ponto de Medição 02 (PM02).

Seção	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total (L)
Distância de A (m)	0,00	2,16	4,32	6,48	8,64	10,80	12,96	15,12	17,28	19,44	19,44
Profundidade (m)	0,43	0,52	0,50	0,49	0,81	0,62	0,77	0,87	1,00	0,70	0,671
Total área 2 (m²)	L x m										13,04

Fonte dos dados: Saída de Campo em 30 abr. 2018.

2.4.1.3 MEDIÇÃO DO TEMPO (T)

Para aferir o tempo, mede-se o deslocamento do objeto flutuador desde a seção 1 até a seção 2, utilizando um cronômetro. O tempo é iniciado logo que o flutuador passar pela corda da seção 1, e finalizado assim que ultrapassar totalmente a seção 2. Afim de buscar maior precisão, o flutuador é lançado alguns metros antes da primeira seção, para que atinja a velocidade real do fluxo ao iniciar a contagem. Caso o flutuador seja interrompido por algum obstáculo durante o trajeto, a medição deve ser descartada.

A medição do tempo deve ser realizada, no mínimo, por três vezes e calculada a média. Quanto maior o número de repetições, mais preciso será o resultado. Para este trabalho foram realizadas 30 (trinta) repetições em cada medição, divididas em 3 (três) seções longitudinais, uma central e uma em cada terço da largura. Dessa forma, buscou-se reduzir a margem de erro, para diferentes fluxos da correnteza no perfil do leito. A Tabela 11 apresenta os resultados do tempo (T) de deslocamento do flutuador em uma das medições.

Tabela 11. Velocidade média de vazão. Ponto de Medição 1 - Medição de Vazão 01 - 30 jan. 2018.

Lançamento	Seção A (1/3 direito)	Seção B (centro)	Seção C (1/3 esquerdo)	Média/lances
01	26"71	28"68	38"62	31"33
02	26"35	28"66	36"42	30"47
03	27"95	28"79	44"94	33"89
04	26"14	27"29	38"33	30"58
05	26"77	30"69	40"96	32"80
06	28"70	30"58	36"21	31"83
07	23"75	30"09	43"28	32"37
08	24"38	26"83	40"53	30"58
09	25"75	32"54	34"44	30"91
10	25"51	27"10	38"79	30"46
Média seção (s)	26"20	29"12	39"25	31"52

Dada a ausência de uma estação pluviométrica na região, os dados meteorológicos foram adquiridos com base em uma análise estatística de relatórios horários históricos e reconstruções de modelo de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, através do portal *Weather Park*. Como Cavalcante fica a mais de 200 quilômetros da estação meteorológica confiável mais próxima, conseqüentemente, os dados relacionados à meteorologia são oriundos integralmente da análise retrospectiva da era por satélite MERRA-2 da NASA. Esta análise retrospectiva combina várias medições de área ampla em um modelo meteorológico global de última geração para reconstruir um histórico horário das condições meteorológicas no mundo todo, em uma grade de 50 quilômetros.

2.4.2 Avaliação macroscópica de impactos em nascentes

Para identificar o estado de conservação de nascentes, é utilizada a avaliação de parâmetros macroscópicos, segundo o Índice de Impactos Ambiental de Nascente - IIAN, utilizado em trabalhos similares (GOMES et al., 2005; SALES; PEREIRA, 2016). Este índice permite uma análise rápida para identificação dos impactos visíveis, com resposta para o grau de preservação das nascentes. Os parâmetros incluem: cor da água, odor, lixo ao redor, materiais flutuantes, espumas, óleos, esgoto, vegetação (preservação), uso por animais, uso por humanos, proteção do local, proximidade com residência ou estabelecimentos e área de inserção da nascente. Cada parâmetro recebe uma pontuação de 1 a 3, sendo que, quanto maior a pontuação, mais elevado o grau de conservação. Após o somatório, os pontos são divididos em cinco classes, variando de ótimo (A) a péssimo (E). O quadro completo com os

parâmetros utilizados na avaliação encontra-se no Quadro 4 e o índice de classificação no Quadro 5.

Quadro 4. Pontuação dos Parâmetros Macroscópicos segundo o Índice de Impactos Ambiental de Nascente (IIAN) - Fonte: Gomes et al., 2005.

Nascente:		Coordenadas Geográficas S:	
Ponto:	Data: / /	Elevação (m) :	W:
- Cor da água:	(1) Escura	(2) Clara	(3) Transparente
- Odor:	(1) Cheiro forte	(2) Cheiro fraco	(3) Sem cheiro
- Lixo ao redor:	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem lixo
- Materiais Flutuantes:	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem matéria flutuante
- Espumas:	(1) Muita	(2) Pouca	(3) Sem espumas
- Óleos:	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem óleos
- Esgoto:	(1) Esgoto doméstico	(2) Fluxo superficial	(3) Sem esgoto
- Vegetação (preservação)	(1) Alterada	(2) Baixa degradação	(3) Preservada
- Uso por animais:	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
- Uso por Humanos:	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
- Proteção do local:	(1) Sem proteção	(2) Com proteção com acesso	(3) Com proteção sem acesso
- Proximidade com residência ou estabelecimento:			
(1) menos de 50 metros		(2) Entre 50 e 100 metros	(3) Mais de 100 metros
- Tipo de área de Inserção:			
(1) Ausente		(2) Propriedade privada	(3) Parques ou áreas protegidas
CLASSE:	Grau de Preservação:		PONTUAÇÃO FINAL:

Quadro 5. Classificação de nascentes segundo Índice Impactos Ambiental de Nascente (IIAN). Fonte: Gomes et al., 2005.

CLASSE	Grau de Preservação	Pontuação Final
A	Ótima	Entre 37 a 39 pontos
B	Boa	Entre 34 a 36 pontos
C	Razoável	Entre 31 a 33 pontos
D	Ruim	Entre 28 e 30 pontos
E	Péssimo	Abaixo de 28 pontos

Para avaliação e elaboração do IIAN visitou-se dez nascentes, no período de 23 de março a 12 de novembro de 2018, distribuídas entre propriedades privadas convencionais e áreas com presença de RPPN's (Tabela 12).

Tabela 12. Nascentes visitadas para avaliação de parâmetros macroscópicos.

Nascente	Área de Inserção	Altitude	Coordenadas (UTM)		Data
			x	y	
01	RPPN	995m	L 0228404	8464191	23/03/2018
02	RPPN	828m	L 0230137	8465753	30/10/2018
03	RPPN	794m	L 0234926	8470871	07/11/2018
04	Particular	813m	L 0236562	8469067	08/11/2018
05	Particular	806m	L 0236645	8469307	08/11/2018
06	Particular	809m	L 0236746	8469285	08/11/2018
07	Particular	820m	L 0237054	8469190	08/11/2018
08	Particular	833m	L 0237618	8468814	08/11/2018
09	Devoluta	1046m	L 0232724	8470678	12/11/2018
10	Devoluta	1050m	L 0232034	8469638	12/11/2018

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização Geomorfológica da área de estudo

Os dados secundários utilizados na pesquisa incluem o MDE do projeto TOPODATA, cuja aplicação permite identificar pontos cotados em toda a cena e gerar as variáveis geomorfométricas da área delimitada (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010). Com os dados georreferenciados, após reclassificação e composição em falsa cor, obtém-se como produto inicial o Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu (BHRSB), com os registros de elevação divididos em cotas de 50 metros (Figura 11).

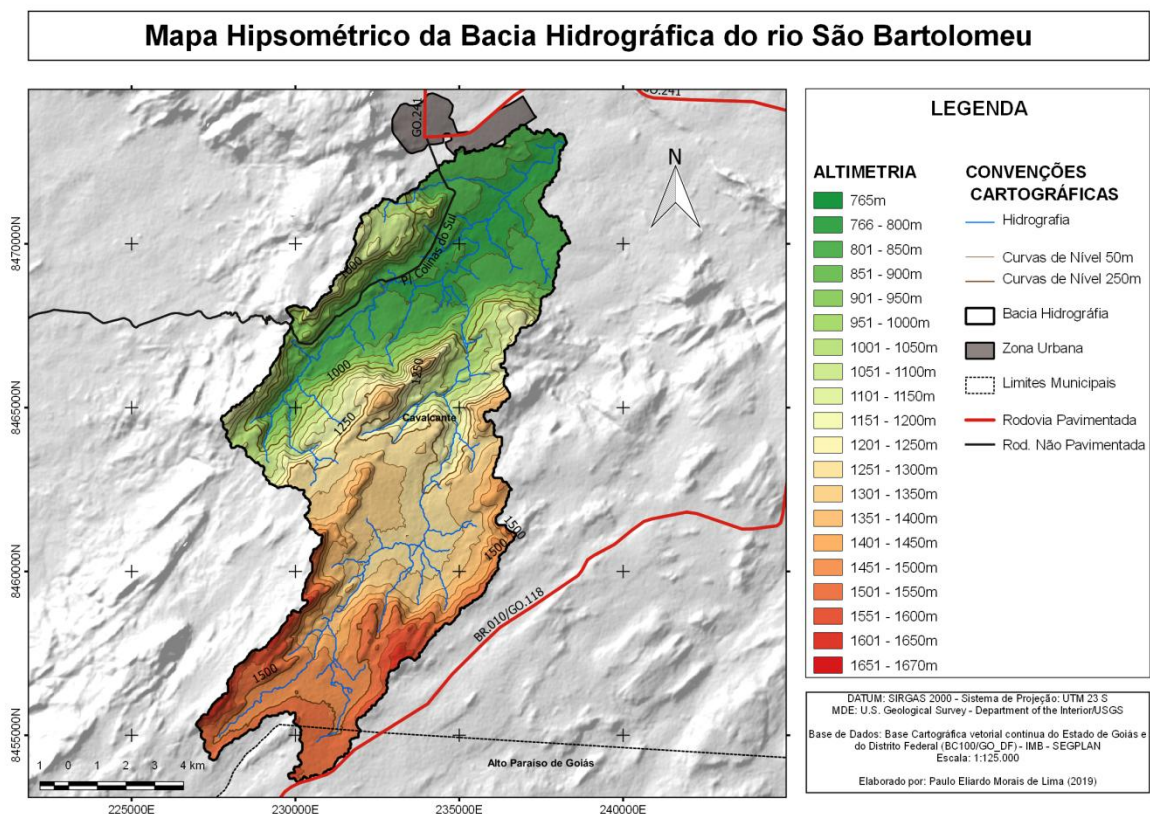


Figura 11. Mapa de Hipsometria da BH do Rio São Bartolomeu. Fonte: o autor.

Estudos anteriores revelam a magnitude e o potencial hídrico do Cerrado. Como constata Lima e Silva (2007) as zonas de planaltos neste domínio são importantes áreas de recarga hídrica, pois contém elevado número de nascentes e córregos, contribuindo para o abastecimento de oito das 12 principais Bacias Hidrográficas brasileiras (LIMA; SILVA, 2008). A BHRSB é tributária do Rio das Almas, importante afluente do Rio Paranã, que é um

dos maiores canalizadores do Alto Rio Tocantins. Representa uma pequena região hidrográfica mas com importância singular, pois está situada mais à montante da segunda maior rede fluvial do Brasil, a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Em contraponto, essas áreas também apresentam grande fragilidade e estão mais sujeitas a problemas de assoreamento, poluição e superexploração dos recursos hídricos (LIMA; SILVA, 2007). No levantamento realizado nessa pesquisa são mais evidentes a poluição e o assoreamento, que atinge algumas nascentes e coloca em risco a resiliência do Rio São Bartolomeu. Entre os efeitos de impacto, inclui-se a mudança do local de afloramento da água para quase 200 metros à jusante, como evidenciou-se em dois canais diferentes.

Em relação à poluição, não foi identificada a presença de poluentes nas nascentes visitadas. No entanto, há um trecho do Rio São Bartolomeu já bem à jusante em seu curso e relativamente próximo à zona urbana, muito utilizado por moradores e onde alguns costumam deixar quantidades impactantes de resíduos descartáveis e orgânicos, incluindo fraudas, carvão e restos de comida. Também utilizam esse trecho para lavar roupas e veículos dentro do próprio rio, desde motocicletas até caminhões de pequeno porte. Essas práticas contaminam a água com produtos químicos e também agredem o rio com resíduos de óleo.

A análise de fragilidade ambiental na BH como um todo revelou aspectos interessantes, principalmente em relação à pedologia e morfodinâmica. A composição de solos (Figura 12), de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2018), até 3º nível, apresenta as seguintes classes: Plintossolo Pétrico concrecionário, Afloramento de Rochas e Cambissolo Háplico distrófico, nas cotas mais elevadas (acima de 1000m); e Cambissolo Háplico distrófico em duas porções mais baixas, com a região do exutório em Latossolo Vermelho distrófico (EMATER, 2016).

Aproximadamente 61,66% da BH está constituída por Cambissolos Háplicos distróficos, como é apresentado na Tabela 13. São nessas áreas onde predomina também a ocupação humana na bacia hidrográfica. Cambissolos, de acordo com a Embrapa (2015; 2018), são solos ainda em formação, com horizonte B pouco profundo ou raso e com estrutura que pode variar bastante de acordo com o material mineral constituinte. O Cambissolo Háplico Tb Distrófico possui argila de baixa atividade e saturação por bases inferior a 50% na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (Embrapa, 2018). Possuem elevada fragilidade e potencial erosivo, pois ocorrem em relevos ondulados a forte ondulados na Chapada dos Veadeiros, devendo-se adotar práticas conservacionistas no uso deste tipo de solo, para qualquer finalidade (MARTINS-FERREIRA; CAMPOS, 2015).

Devida intensidade de dissecação do relevo nas cotas mais elevadas, e por encontrar-se em uma zona de cisalhamento, a área da BH apresenta equilíbrio concorrente entre os movimentos de morfogênese (modelagem do solo) e pedogênese (formação de solo). Essa dinâmica pode ser classificada como um meio intergrade, de acordo com Tricart (1977), onde a morfodinâmica tende a equilibrar-se, desde que sejam mantidas práticas conservacionistas no uso do solo. Quando há perturbação excessiva, a intensidade morfodinâmica pode favorecer a ação da morfogênese sobre a pedogênese, resultando em instabilidade e condução à processos erosivos significantes, como está ocorrendo em algumas das áreas com solo exposto, representadas no mapa de classificação e uso do solo (Figura 16). Levantamento realizado por Silva e Oliveira (2015) apresenta situação inversa, onde classes de solo com Alta Suscetibilidade à erosão, foram reclassificados com Baixo Potencial erosivo devido ao alto grau de conservação da vegetação e manejo adequado à declividade do relevo.

Tabela 13. Unidades de solo predominantes na BH do Rio São Bartolomeu, segundo Embrapa (2018).

Unidade de Solo	Área (km ²)	Percentual (%)
AR	18,40	16,49
CXbd	68,81	61,66
LVd	0,31	0,28
RLd	3,31	2,97
FFc	20,75	18,6
Total	111,58	100

AR = Afloramento de Rocha (não contém estrutura característica de solo); CXbd = Cambissolo Háplico distrófico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico; RLd = Neossolo Litólico distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário.

Os Cambissolos, de acordo com pesquisas descritas por Ross (2011), se enquadram na classe de fragilidade Forte, como observamos na Tabela 14. São vulneráveis ao transporte de detritos finos e material coloidal próximos ao horizonte superficial, através do escoamento difuso. Isso ocorre devido sua saturação ocorrer rapidamente, favorecendo o escoamento superficial e o surgimento de enxurradas. Em áreas de pastagens, as trilhas de gado estreitas servem de calha para o deflúvio, acelerando os processos erosivos (SALOMÃO, 2010). Na BHRSB, esse fenômeno tem provocado erosões do tipo ravina em áreas com solo exposto, principalmente em pastagens muito degradadas e estradas vicinais sem manutenção. Em alguns casos mais isolados, já ocorrem voçorocas em estágio inicial. Esse quadro é favorecido por fatores como substituição da vegetação nativa e uso inadequado da terra, com o

superpastoreio e manejo inadequado do solo, somados às enxurradas em chuvas intensas, semelhante a estudos levantados por Baccaro (2010) em áreas do Cerrado de Minas Gerais.

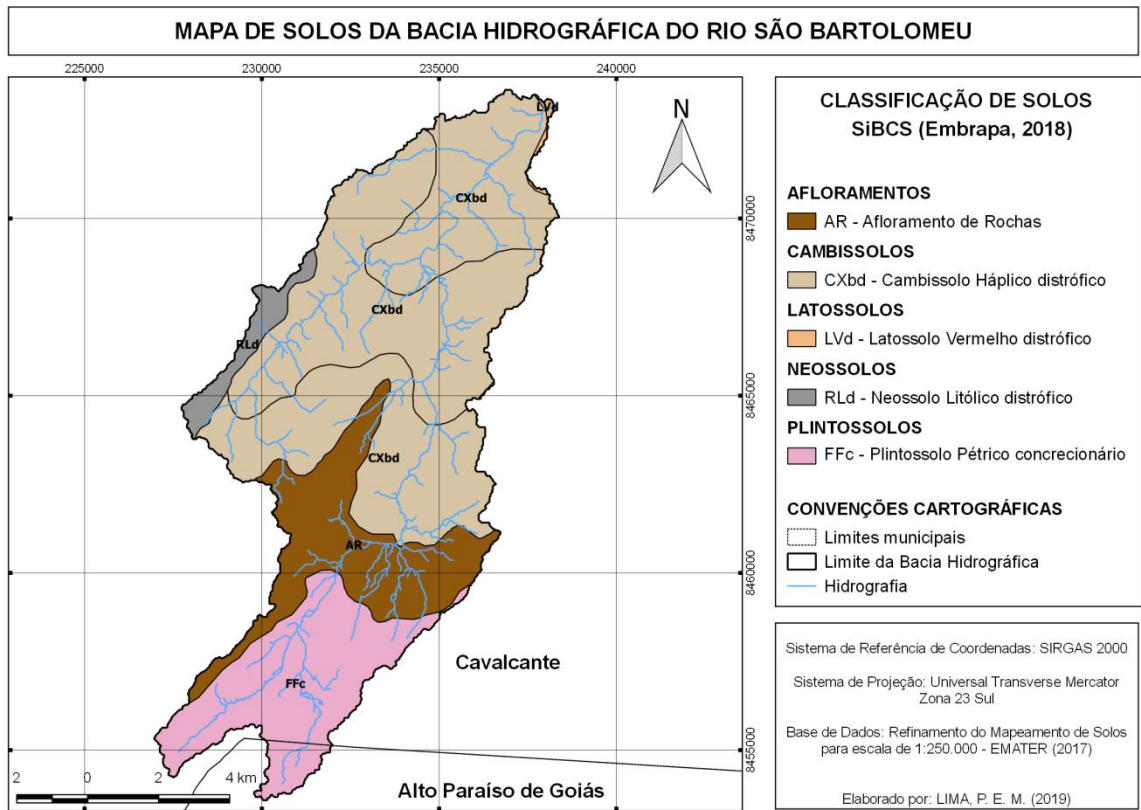


Figura 12. Mapa de Classes de Solos na BH São Bartolomeu, segundo o SiBCS (Embrapa, 2018).Fonte: o autor.

Tabela 14. Graus de Erodibilidade dos Solos na BH do Rio São Bartolomeu, considerando o escoamento superficial de águas pluviais. Adaptado de Salomão (2010); Zapparoli e Cremon (2010); Ross (2011).

Grau de Erodibilidade	Unidades Pedológicas	Presentes na BH	Percentual na BH
1 - Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo de textura argilosa, Solos Hidromórficos em Relevo Plano, Gleissolos, Planossolos, Organossolos, Neossolos Quartzarênico em Relevo Plano.	LVd	0,28 %
2 - Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de textura média argilosa; Terra Roxa estruturada; Latossolo Vermelho escuro	-	0%
3 - Média	Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro, textura argilosa; Latossolo Vermelho amarelo, textura argilosa e média; Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa; Terra Bruna.	-	0%
4 - Forte	Argissolo Vermelho Amarelo não abrupto, textura média-argilosa e média; Cambissolos; Argissolos Vermelho Amarelo, textura média arenosa; Plintossolos.	CXbd ;FFc	80,26%
5 - Muito Forte	Afloramento de Rochas; Neossolos Litólicos; Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho escuro abruptos, textura arenosa média; Neossolos Quartzarênicos em relevos suave-ondulado e ondulado.	AR; RLd	19,46%

AR = Afloramento de Rocha (não contém estrutura característica de solo); CXbd = Cambissolo Háptico distrófico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico; RLd = Neossolo Litólico distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário.

Outra classe com fragilidade Forte presente em boa parte da BHRSB são os Plintossolos Pétricos, que apresentam textura mineral formada sob restrição à percolação, podendo ser um pouco mais drenados quando ocorrem nas regiões de platô com relevo mais dissecado (EMBRAPA, 2018). Como evidenciado nos mapas, sua ocorrência também está associada a relevos mais planos a suave ondulados, geralmente áreas de campos limpos e drenagem deficiente (MARTINS-FERREIRA; CAMPOS, 2015). Estão presentes nas nascentes de formação inicial do córrego de Pedras, que compõe o canal principal do Rio São Bartolomeu, constituindo-se importante área de recarga hídrica da bacia por seu aspecto concrecionário, que forma uma camada impermeável logo após o horizonte B, mantendo-o encharcado.

Uma variável que influencia no fator de fragilidade e na erodibilidade dos solos é a declividade do terreno. Quanto mais acentuada a declividade, ou ainda, quanto maior o comprimento de rampa, maior é a aceleração do deflúvio e mais intenso será o processo erosivo (RIO GRANDE DO SUL, 1985). Essa variável associada com outras, como a pedologia, uso e cobertura do solo, geologia, está entre as mais importantes no diagnóstico de vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica (CUIABANO et al., 2017).

Como observa Santos (2004), a declividade também infere na obtenção de informações relevantes ao planejamento ambiental, como o potencial agrícola da área, fragilidade à erosões, formas da paisagem, restrições à ocupação urbana, práticas de conservação e manejo, comportamento hidrológico, entre outras. É considerada uma variável básica em quase todos os levantamentos de planejamento territorial, utilizada praticamente em todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento conservacionista (VALERIANO, 2008).

Na BHRSB, as áreas com declive mais acentuado estão protegidas pelo PNCV, o que reduz o fator de fragilidade nesses locais pelo uso restrito à conservação. Entretanto, essas áreas são compostas por solos rasos, como observado na Figura 12, potencializando as enxurradas que chegam às cotas mais baixas, sendo necessárias aplicar as práticas conservacionistas também nas áreas externas à esta UC. Essa preocupação é apresentada por Calil et al. (2012) em estudo na BH do Alto Meia Ponte-GO, onde os agricultores têm a noção da alta fragilidade dos Cambissolos ao potencial de erosão hídrica, fazendo o seu manejo através da conservação de vegetação nativa nessas áreas.

Ademais, encontram-se áreas com relevo moderadamente ondulado e ondulado que apresentam cobertura do solo composta por pastagens degradadas, pouca vegetação arbórea e áreas de solo exposto, o que favorece a instabilidade morfodinâmica. A BH apresenta mais de

55% de sua área com declividade superior a 10% de inclinação (Tabela 15), consideradas onduladas de acordo com as classes de declividade do INCRA (2006) e potencialmente favoráveis a processos erosivos. O maior percentual da área da BH (36%) corresponde à classe Forte Ondulado, variando entre 15 e 45% de inclinação, o que é bastante considerável em termos de fragilidade ambiental. De acordo com o INCRA (2006), a partir de 47% de inclinação, a declividade possui uso restrito.

Os declives mais acentuados na BHRSB estão inseridos em RPPNs ou áreas de Cerrado ainda conservado, que reduz o risco de erodibilidade, sendo altamente recomendado que essas áreas sejam mantidas nesse estado. A importância das RPPNs na Chapada dos Veadeiros é apresentada por Lima e Franco (2014), mostrando a influência dessas áreas na conservação da biodiversidade do Cerrado Goiano. Além de manter a estrutura do solo e servir de abrigo à fauna silvestre, as Reservas Particulares de Patrimônio Natural da Chapada dos Veadeiros formam um mosaico, junto com o Parque Nacional, constituindo importantes corredores ecológicos para migração de fauna diante à sazonalidade de alimentos, às ocorrências de incêndios, períodos de acasalamento etc.

Tabela 15. Classificação do relevo na BH do Rio São Bartolomeu, de acordo com o INCRA (2006).

Classes de Relevo	Declividade (%)	Área (km²)	Proporção (%)
Plano	0 - 2	4,55	4,08
Suave Ondulado	2 - 5	18,12	16,24
Moderadamente Ondulado	5 - 10	28,24	25,31
Ondulado	10 - 15	13,74	12,31
Forte Ondulado	15 - 45	38,91	34,87
Montanhoso	45 - 70	6,83	6,12
Escarpado	> 70	1,19	1,07
Total	-	111,58	100

Para a metodologia de análise da fragilidade ambiental, Ross (2011) utiliza uma classificação mais rigorosa para a declividade, limitada a 5 classes e com denominação a respeito do nível de fragilidade, baseado em classificações já consagradas nos estudos de aptidão e capacidade de uso agrícola. Essas classes são associadas com fatores limites críticos da geotecnia, indicativos da intensidade de processos erosivos, deslocamento de massas e risco de inundações. Para a BH do Rio São Bartolomeu, foi reclassificado o mapa de

declividade inicial e estimado o percentual de cada classe de fragilidade, conforme é detalhado na Tabela 16.

Tabela 16. Classes de Fragilidade do Relevo na BH do Rio São Bartolomeu, adaptado de Ross (2011).

Categorias Hierárquicas	Declividade (%)	Área (km²)	Proporção (%)
Muito Fraca	Até 6	29,57	26,5
Fraca	6 a 12	27,81	24,93
Média	12 a 20	18,26	16,36
Forte	20 a 30	15,11	13,54
Muito Forte	Acima de 30	20,83	18,67
Total	-	111,58	100

Comparando os mapas de declividade do INCRA (Figura 13) com o de fragilidade do relevo (Figura 14) proposto por Ross (2011), podemos observar um aumento abrupto nas classes com potencial erosivo ou com limitações para uso da terra. Por outro lado, as classes com relevo mais plano não apresentam mudanças significativas.

Utilizando metodologia semelhante, Silva e Oliveira (2015) comparam dados de fragilidade do relevo com a fragilidade dos solos, para obter a classificação relativa à Suscetibilidade à Erosão Laminar (Tabela 17), com base nos critérios definidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Para adequação aos mapas gerados previamente, adaptou-se esses critérios às classes de fragilidade propostas por Ross (2011). Após a reclassificação e cruzamento de variáveis, gerou-se o mapa síntese de Suscetibilidade à Erosão Laminar, exposto na Figura 15.

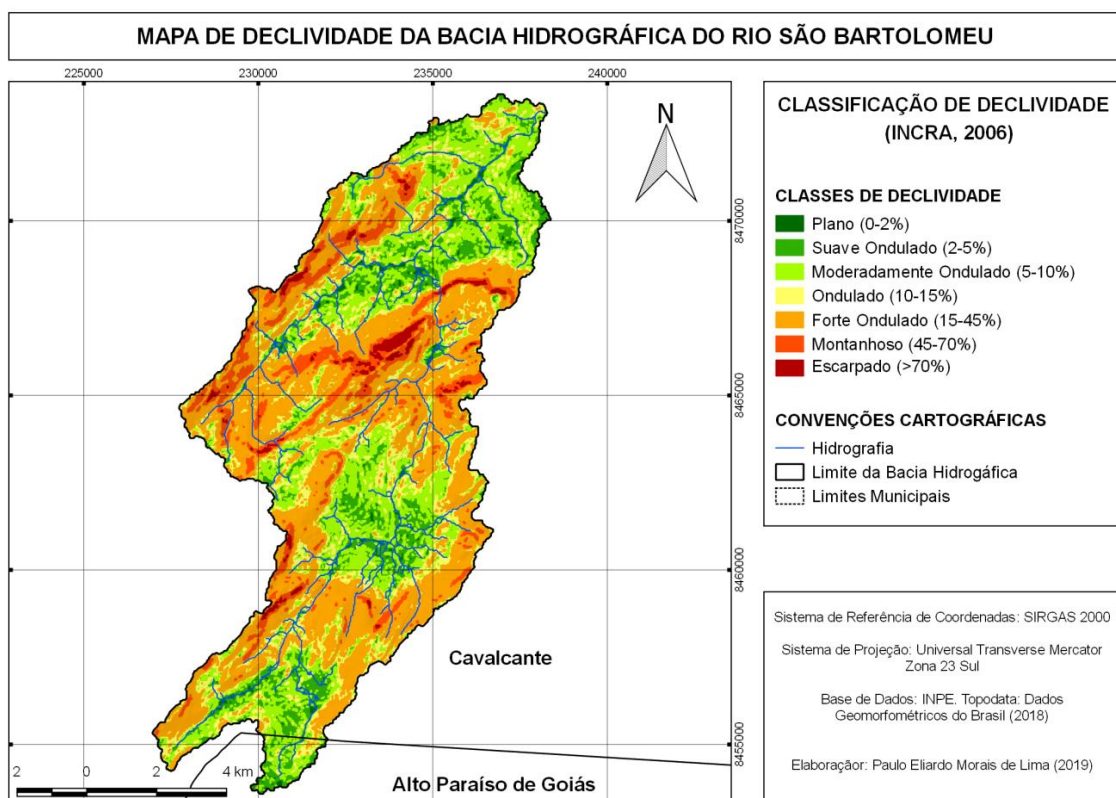


Figura 13. Mapa de Classes de Declividade na BH São Bartolomeu, segundo o INCRA (2006). Fonte: autor

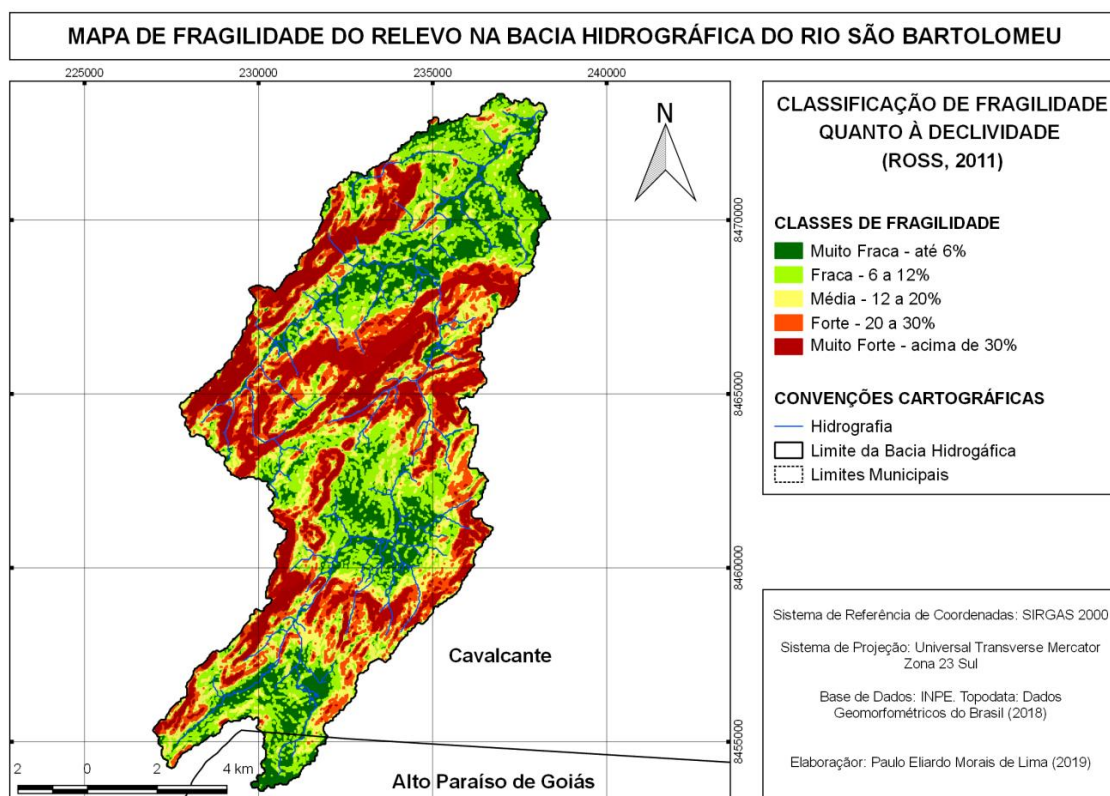


Figura 14. Mapa de Fragilidade do Relevo na BH São Bartolomeu, segundo Ross (2011). Fonte: autor.

Tabela 17. Classes de Suscetibilidade à Erosão Laminar na BHRSB, segundo o IPT (1990, apud Silva; Oliveira, 2015), adaptadas à classificação de Ross (2011).

Grau de Suscetibilidade	Classe	Área (km ²)	Proporção (%)	Acumulado (%)
Extremamente Suscetível	I	24,18	21,67	21,67
Muito Suscetível	II	16,02	14,36	36,03
Moderadamente Suscetível	III	19,88	17,81	53,84
Pouco Suscetível	IV	51,33	46,00	99,84
Pouco a Não Suscetível	V	0,18	0,16	100
Total	V	111,59	100	100

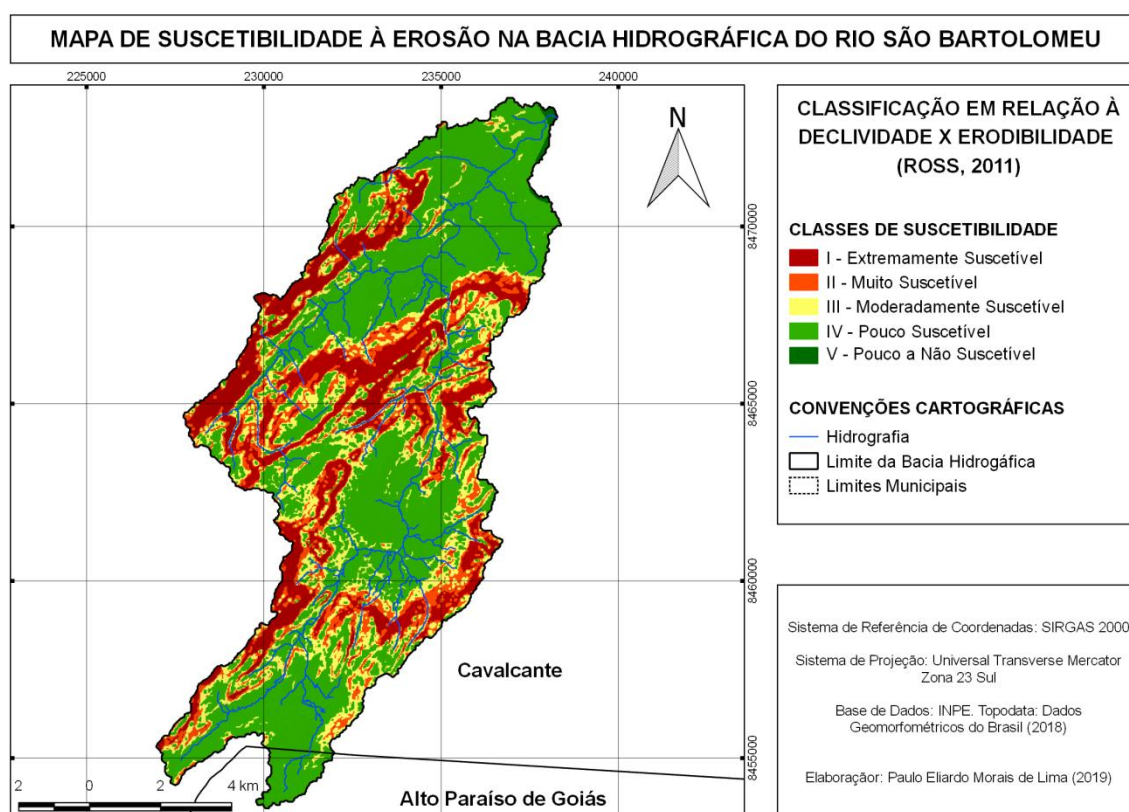


Figura 15. Mapa de Suscetibilidade Erosiva da BH São Bartolomeu, segundo Ross (2011). Fonte: o autor

Entretanto, o grau de potencialidade real à erosões laminares é determinado também pela intensidade e o grau de intervenção das atividades antrópicas. Áreas com fragilidade natural similares podem apresentar diferentes graus de potencialidade erosiva, de acordo com a ocupação que lhe for destinada, como descrito por Salomão (2010). Como observa-se no mapa cobertura e uso do solo (Figura 16), os locais mais impactados estão situados em fazendas com pastagens degradadas, com a maioria já em solo exposto. Algumas dessas áreas

foram identificadas em campo, onde foi possível observar o solo altamente compactado pelo excesso de pisoteio animal e o surgimento de erosões lineares (concentradas em sulcos).

A seguir, é apresentado o percentual de cobertura ocupada por cada macro-classe (Tabela 18) e seu grau de proteção contra à erosão laminar. Quanto menor o grau, maior a proteção e o percentual de cobertura do solo. Também é descrita a matriz de confusão (Tabela 19) gerada após a classificação, para verificar o grau de concordância do algoritmo utilizado, MaxVer. e o respectivo Coeficiente Kappa obtido na classificação.

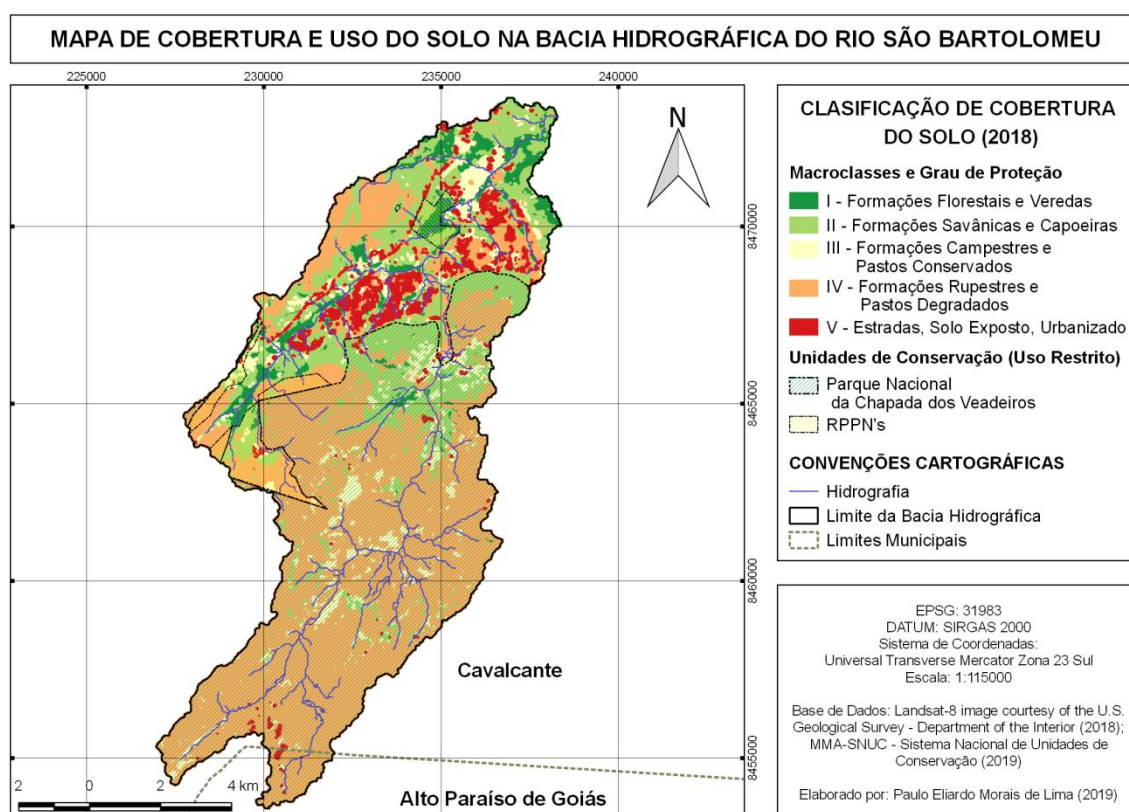


Figura 16. Mapa de Cobertura e Uso do Solo na BHRSB, para o ano 2018. Fonte: o autor.

Tabela 18. Graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal na BHRSB, adaptado de Ross (2011).

Macro-classes	Grau de Proteção	Área (km ²)	Proporção (%)
Formações Florestais e Veredas	I	7,83	7,02
Formações Savânicas e Capoeiras	II	29,56	26,49
Formações Campestres e Pastos Conservados	III	9,64	8,64
Formações Rupestres e Pastos Degradados	IV	59,44	53,27
Estradas, Solo Exposto, Urbanizado	V	5,11	4,58
Total	-	111,58	100

Devido à realização de classificação mais generalizada, a matriz de confusão apresentou discordâncias consideráveis para algumas classes, como entre Formações Savânicas e Formações Campestres/Pastos Conservados e entre Formações Rupestres/Pastos Degradados e Solo Exposto. Possivelmente esses erros ocorreram por dois motivos principais: 1) as coberturas de formações savânicas e campestres, apesar da divergência em campo, apresentam índices de vegetação NDVI aproximado na imagem espectral; 2) os pastos degradados possuem mais falhas na vegetação do que o estimado, que os classificou como solo exposto na classificação final. As demais classes apresentam boa concordância entre as regiões de interesse (ROI) coletadas em campo e os resultados do classificador (Tabela 18). Levando-se em consideração a escala adotada para a área e a resolução espacial disponível para análise, o Coeficiente Kappa apresentou resultado satisfatório, ou substancial, de acordo com Landis e Koch (1977).

Tabela 19. Matriz de Confusão da Classificação de Cobertura do Solo da BHR SB.

MATRIZ DE CONFUSÃO								
Referência	I	II	III	IV	V	Total	Acurácia (%)	Coef. Kappa
Classificado								
I	293	0	0	0	0	293	100	1,0
II	3	312	24	0	0	339	92,03	0,89
III	34	71	133	22	0	260	51,15	0,43
IV	0	0	0	277	6	283	97,88	0,97
V	0	0	27	54	42	123	34,15	0,32
Total	330	383	184	353	48	1298	81,43	0,76
Acurácia %	88,79	81,46	72,28	78,47	87,5	81,43		

I=Formações Florestais/Veredas; II=Formações Savânicas/Capoeiras; III=Formações Campestres/Pastos Conservados; IV=Formações Rupestres/Pastos Degradados; V=Solo Exposto/Estradas/Urbanizado

Como observado na Tabela 18, a maior parte da BHR SB apresenta baixo grau de proteção do solo devido ao grande mosaico de fisionomias nativas e plantadas. Com fragilidade similar às pastagens degradadas, as áreas de Cerrado Rupestre ocupam quase 50% da área total da BH, mas apresentam poucos locais com solo exposto devido o acesso difícil para o gado e pela proteção integral do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

Em relação às áreas fora do parque, e que possuem pastagens degradadas, têm maior tendência às ocorrências de solo exposto, devendo ser manejadas para evitar que a situação se agrave nos próximos anos. Além da fragmentação das áreas nativas, ocorre a formação de pastos sem os devidos cuidados de conservação do solo, o que potencializa a degradação a

médio e longo prazo. Em estudo comparativo, Neves et al. (2014) já evidenciaram o impacto da pecuária e da formação de pastagens em áreas de Cerrado, onde observou-se um decréscimo de 23% da vegetação nativa do sudeste goiano, num período de 20 anos.

Assim, ao realizar o cruzamento dos dados de suscetibilidade à erosão com os de uso e cobertura do solo, obtém-se como produto final o mapa de potencialidade à erosão laminar (Figura 17). O percentual de fragilidade proporcional está na Tabela 20.

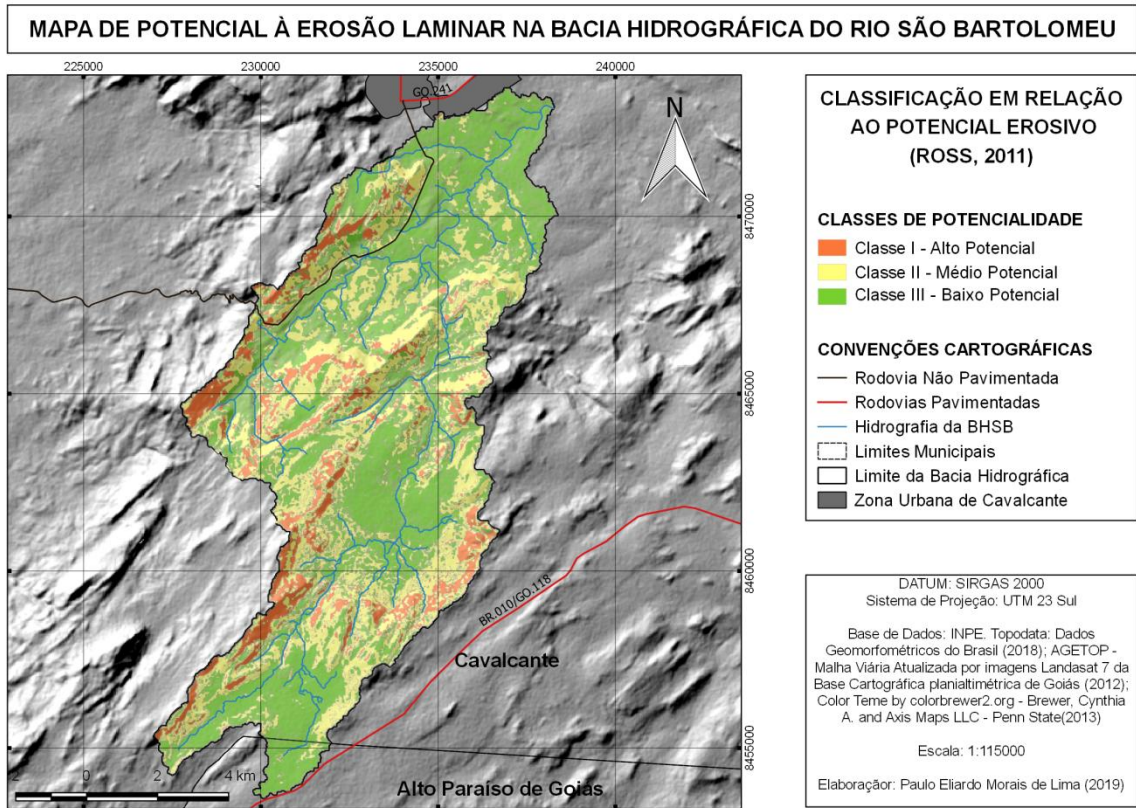


Figura 17. Mapa de Potencialidade à Erosão Laminar na BHRSB, para o ano 2018. Fonte: o autor.

Tabela 20. Graus de Potencialidade à Erosão Laminar na BHRSB, para o ano 2018. Fonte: autor.

Grau de Potencialidade	Classe	Área (km ²)	Proporção (%)
Alto Potencial	I	12,26	10,99
Médio Potencial	II	40,44	36,24
Baixo Potencial	III	58,89	52,77
Total	III	111,59	100

No interior do Parque Nacional, a maior ameaça são os incêndios criminosos, que atingem a UC com certa regularidade. As brigadas florestais do Prevfogo (ICMBio e IBAMA) atuam na região há mais de 10 anos, realizando aceiros e, mais recentemente,

queimas preventivas nos princípios do Manejo Integrado do Fogo na estação úmida, além do combate efetivo na estação seca. No entanto, um incêndio desproporcional (o maior desde a criação do Parque, em 1961) ocorreu em outubro de 2017, atingindo aproximados 68.000 ha de Cerrado (23% da área nova do parque e mais de 80% da antiga), incluindo uma parcela da BH do São Bartolomeu e mais três RPPN's na sua área.

Incêndios de grandes proporções, como o de 2017, são de origem antrópica e causam danos irreparáveis no Cerrado e em UC's, atingindo áreas maiores do que as queimadas provocadas por raios, como descrito nos trabalhos de Medeiros e Fiedler (2003), no PARNA Serra da Canastra, e mostrados na extensa pesquisa de França et al. (2007), no PARNA das Emas. Após o episódio do incêndio, percebeu-se uma alteração no escoamento superficial nas BHs da região, com maior turbidez nos rios, e aumento de volume repentino, devido a redução no tempo de concentração causado pela falta de cobertura nativa. O fogo sem controle, portanto, favorece o aumento de erosões laminares e perda de solo.

3.2 - Caracterização Morfométrica da BHRSB

A porção superior da BH está inserida na área ampliada do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), sendo que 61,7% (68,12 km²) da sua área está protegida por esta UC, desde 2016. Antes disso a BHRSB já possuía 31,88% (35,57 km²) protegida pelo parque nacional. Além do PNCV, a área abriga em seus limites seis RPPNs Federais (Quadro 6), divididas em três propriedades, entre as quais a Reserva Renascer (4 RPPNs), que abriga nascentes de cabeceira do São Bartolomeu e confronta com o PNCV; a RPPN Varanda da Serra e a RPPN Vale das Araras, mais à jusante da anterior. A Reserva Renascer e o Vale das Araras recebem visitação através do Ecoturismo desenvolvido na região, sendo importantes espaços para fomento ao conhecimento e à conservação da biodiversidade do Cerrado, através da sensibilização e conscientização dos visitantes para as questões ambientais.

A soma das áreas de todas as Unidades de Conservação presentes na BH do Rio São Bartolomeu, equivale a um total de 7.389,42 ha de áreas conservadas de Cerrado, o que corresponde a 66,92 % do total dessa bacia hidrográfica, ou dois terços de sua área. Esse mosaico é fundamental para a manutenção de corredores ecológicos para a fauna silvestre, além de importante banco genético de espécies nativas do Cerrado, abrigando diferentes fitofisionomias desse domínio.

Quadro 6. RPPNs situadas na BH do Rio São Bartolomeu e áreas percentuais ocupadas, adaptado do Sistema Informatizado de Monitoramento de RPPN - SIM-RPPN - ICMBio/MMA.

RPPN (nome)	Proprietário/Propriedade	Município	Área(ha)	BH (%)
RPPN Integra o Parque	Horley T. Luzardo - Faz. Renascer	Cavalcante	310,89	2,81
RPPN São Bartolomeu	Horley T. Luzardo - Faz. Renascer	Cavalcante	72,90	0,66
RPPN Maria Batista	Horley T. Luzardo - Faz. Renascer	Cavalcante	47,70	0,43
RPPN Ponte de Pedra	Horley T. Luzardo - Faz. Renascer	Cavalcante	112,75	1,02
RPPN Varanda da Serra	Odecy C. de Alvarenga - Faz. Volta da Serra	Cavalcante	1,43	0,01
RPPN Vale das Araras	Richard M. Avolio - Chác. Vera Cruz	Cavalcante	31,75	0,29
TOTAL: 06 - RPPNs	03 - Propriedades	Cavalcante	577,42	5,22

Fonte: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/rppn/GO/>

O canal principal da BH é formado pelo Córrego de Pedras (Figura 18), que abastece a zona urbana de Cavalcante através de captação da empresa SANEAGO. Segundo dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), até o ano 2014 o abastecimento público atendia a 100% dos moradores da zona urbana, o que corresponde a uma população de aproximados 5.064 habitantes (EMPIA, 2017). Apesar do Córrego de Pedras ser o canal principal, ao receber o Rio São Bartolomeu ele recebe também seu nome, devido à importância desse rio para a comunidade local, desde os tempos de garimpo de ouro na região, no século XVIII. A importância do Rio São Bartolomeu também ocorre por ser um afluente direto do Rio das Almas, cuja cabeceira é de classe 5, que abastece comunidades do Sítio Histórico e Patrimônio Cultural Kalunga, principalmente o Vão de Almas que é uma das maiores comunidades do quilombo e dependente muito desse rio.

Hidrografia e Canal principal da Microbacia São Bartolomeu

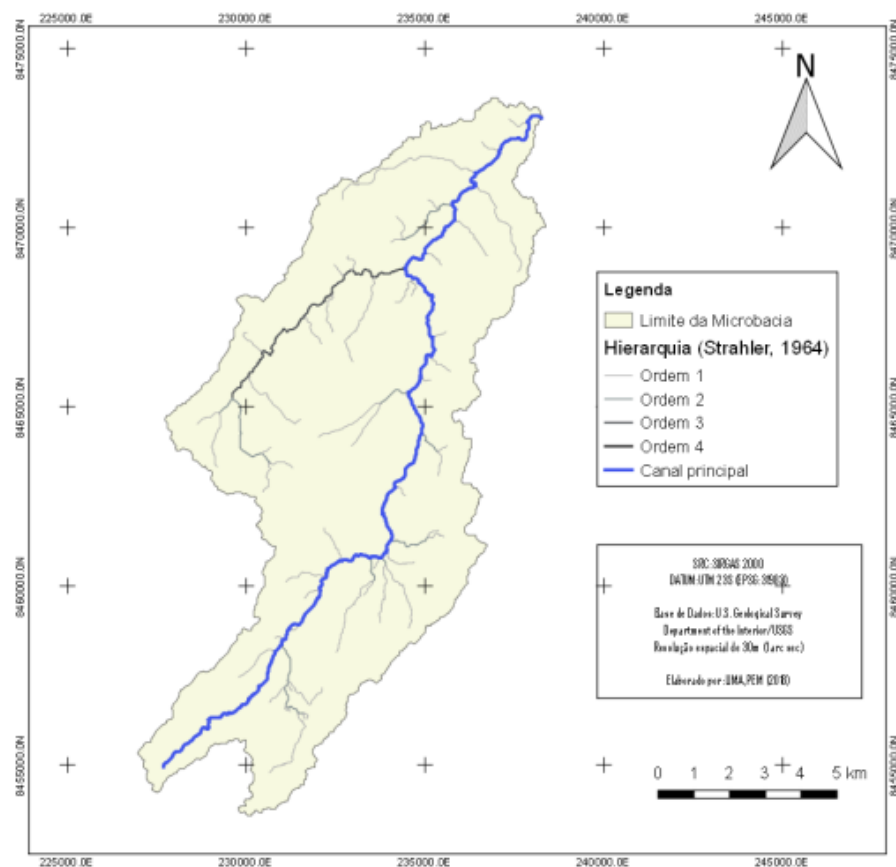


Figura 18. Perfil longitudinal do canal principal da BHRSB. Fonte: o autor.

Perfil Topográfico do canal principal

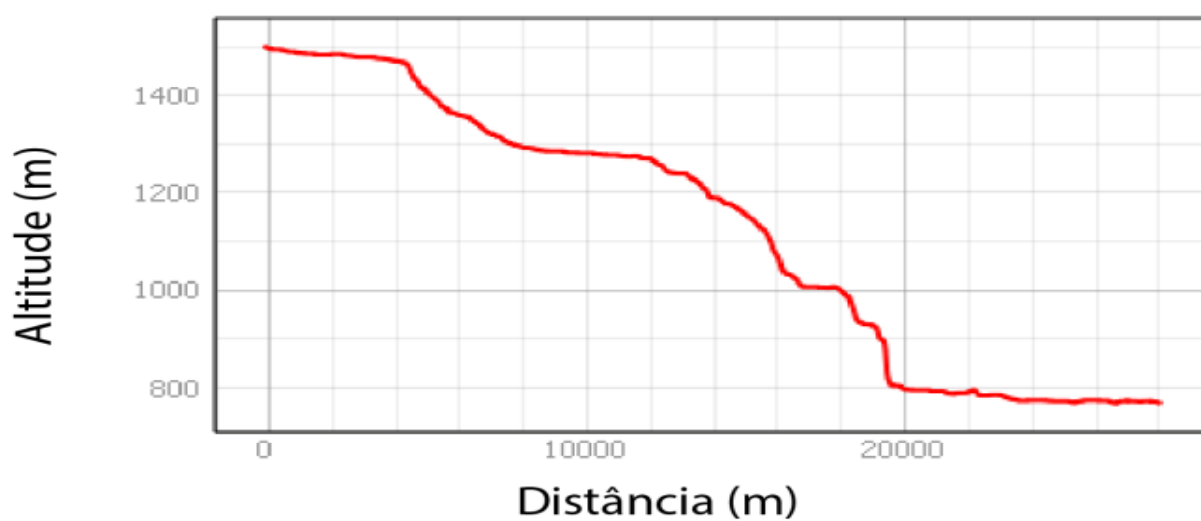


Figura 19. Perfil topográfico do canal principal da BHRSB (fora de proporção). Fonte: o autor.

A respeito da hierarquia de canais, a bacia do Rio São Bartolomeu apresenta uma rede de drenagem de 4ª ordem (Figura 20), de acordo com a classificação de Strahler (1964). Enquadra-se no grupo de microbacias, que geralmente varia da 1ª a 4ª ordens. A BH do Rio São Bartolomeu abrange uma área total de 111,60 km², e perímetro de 72,22 km. Possui cotas de altitude máxima de 1641m e mínima de 765m, com uma amplitude altimétrica de 876m verticais. A altitude média é de 1203m em relação ao nível do mar.

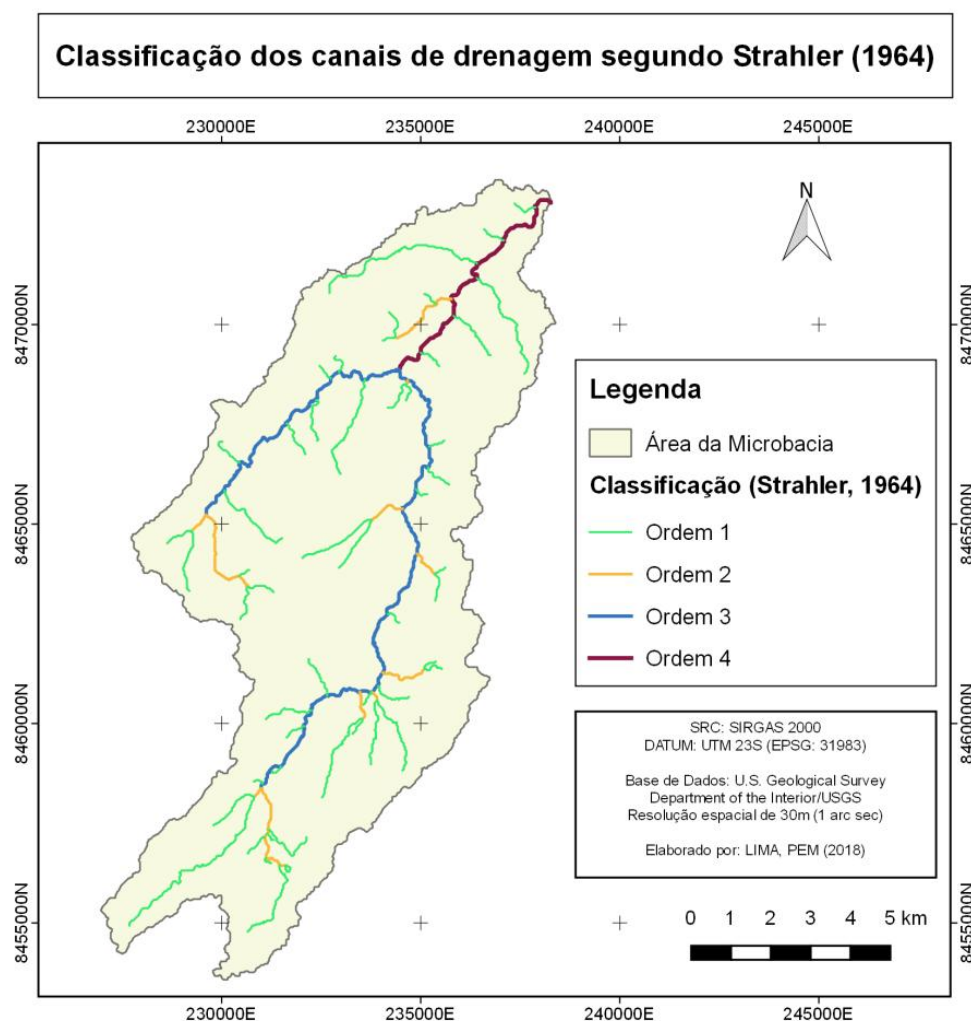


Figura 20. Hierarquia de canais do Rio São Bartolomeu segundo Strahler (1964). Fonte: o autor

3.2.1 Características Geométricas

Os índices morfométricos, resultantes da caracterização geométrica, estão descritos de forma sintetizada na Tabela 21.

(1) Com perímetro de 72,22 km e área de 111,60 km², a microbacia do São Bartolomeu apresenta coeficiente de compacidade de 1,91. Esse valor infere que sua área não está sujeita a grandes enchentes em condições normais de precipitação, apresentando uma tendência à conservação.

(2) Para o índice de fator de forma, temos $K_f = 0,234$. Este índice corrobora os resultados obtidos com o Coeficiente de Capacidade, onde a microbacia apresenta uma tendência à conservação, sem ocorrência de grandes enchentes.

(3) Para o índice de circularidade, foi obtido o valor 0,269, o qual apresenta baixa probabilidade de ocorrência de enchentes (SOUZA, C. et al., 2017).

Tabela 21. Índices morfométricos relacionados à geometria da BH do Rio São Bartolomeu.

Características geométricas	Valor
Área de drenagem (A)	111,60 km ²
Perímetro (P)	72,22 km
Comprimento Axial (L_{axial})	21,7 km
Coeficiente de Compacidade (K_c)	1,91
Fator de Forma (K_f)	0,23
Índice de Circularidade (IC)	0,27

Os valores encontrados para o Coeficiente de Compacidade (K_c) e Fator de Forma (K_f) corroboram com resultados similares de Pachechenik (2004), cuja BH estudada apresentou valores de 1,56 para K_c , e 0,102 para K_f , os quais indicam que a bacia não está propensa à ocorrência de grandes enchentes, em condições normais de precipitação. Importante citar que a BH comparada possui três vezes a área da BH em estudo, evidenciando que não é o tamanho, mas a forma da bacia que tem mais influência em enchentes repentinas.

(4) A densidade de rios da BH São Bartolomeu apresenta um valor de 2,82, indicando que a água escoar de forma relativamente rápida (VILELLA; MATTOS, 1975).

(5) Para o cálculo da Densidade de Drenagem, obteve-se o resultado de 0,93 km/km². Isso indica que a BH do Rio São Bartolomeu apresenta uma baixa densidade de drenagem, com 0,93 km de canais por km² de área. Esse valor é bem inferior às sub-bacias do

Alto Meia Ponte-GO, estudadas por Oliveira et al. (2013), que individualmente são menores que a BHRSB, mas obtiveram valores entre 1,2 e 1,7 km de canais por km². Por outro lado, é similar ao valor encontrado por Pachechenik (2004) na BH do Rio das Pedras-PR, cuja área é muito superior à da BHRSB e a Dd obtida foi de 0,82 km de canal por km² da bacia.

(6) A Extensão média do Escoamento Superficial da microbacia apresenta o valor de 0,268. Assim, temos uma distância média de 268m lineares (sem considerar a declividade) para qualquer escoamento chegar de um ponto de contato até o canal de drenagem mais próximo.

Para calcular o índice de sinuosidade, obteve-se as seguintes medidas de base:

$C_c = 28,2$ km (Comprimento do canal);

$C_v = 27,2$ km (Comprimento do vale ao longo do rio);

$E_v = 20,98$ km (A distância mais curta, entre a nascente e o exutório).

O índice de sinuosidade da BH do São Bartolomeu apresenta os seguintes resultados:

(7) a) *índice do canal* (I_c) = 1,34

(8) b) *índice do vale* (I_v) = 1,30

(9) c) *índice de sinuosidade hidráulica* (I_{sh}) = 12%

(10) d) *índice de sinuosidade topográfica* (I_{st}) = 88%

O total entre os I_{sh} e I_{st} é sempre igual a 100%. Assim, sempre que um índice é calculado, pode-se obter o outro por subtração.

Para o Índice de sinuosidade hidráulica (I_{sh}), o leito principal do Rio São Bartolomeu é caracterizado como *Muito Reto*. Inversamente proporcional a este valor, o Índice de sinuosidade topográfica (I_{st}) pode ser caracterizado como *Muito Sinuoso*. Esses dados apontam uma rápida velocidade de escoamento para o canal principal.

Os índices relacionados às características hidráulicas, são apresentados de forma sintetizada na Tabela 22.

Tabela 22. Índices morfométricos relacionados à hidrologia da BH do Rio São Bartolomeu

Características hidráulicas	Valor
Comprimento do Canal principal (C_c)	28,2 km ²
Comprimento do Vale (C_v)	27,2 km
Densidade Hidráulica (D_r)	2,82 cursos por km ²
Densidade de Drenagem (D_d)	0,93 km/km ²
Índice do canal (I_c)	1,34
Índice do vale (I_v)	0,27
Índice de Sinuosidade Hidráulica	12%
Índice de Sinuosidade Topográfica	88%

(11) Para as medições de vazão, foram obtidos os seguintes resultados (Figura 21):

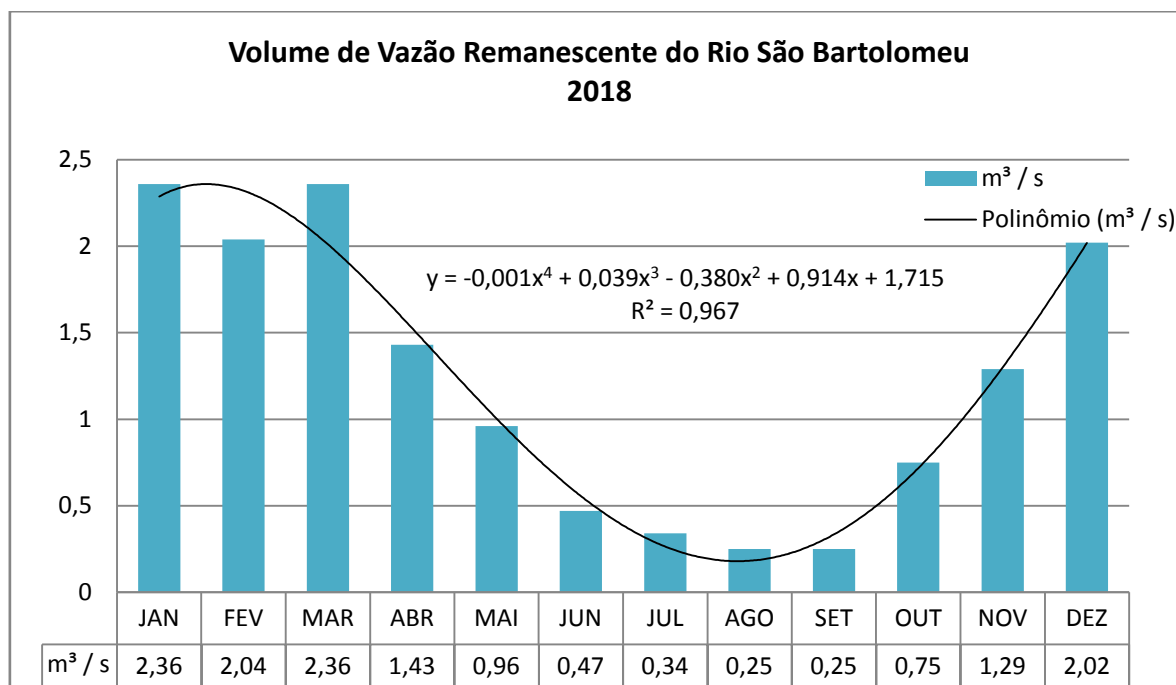


Figura 21. Dados de vazão mensal remanescente do Rio São Bartolomeu em 2018. Fonte: o autor.

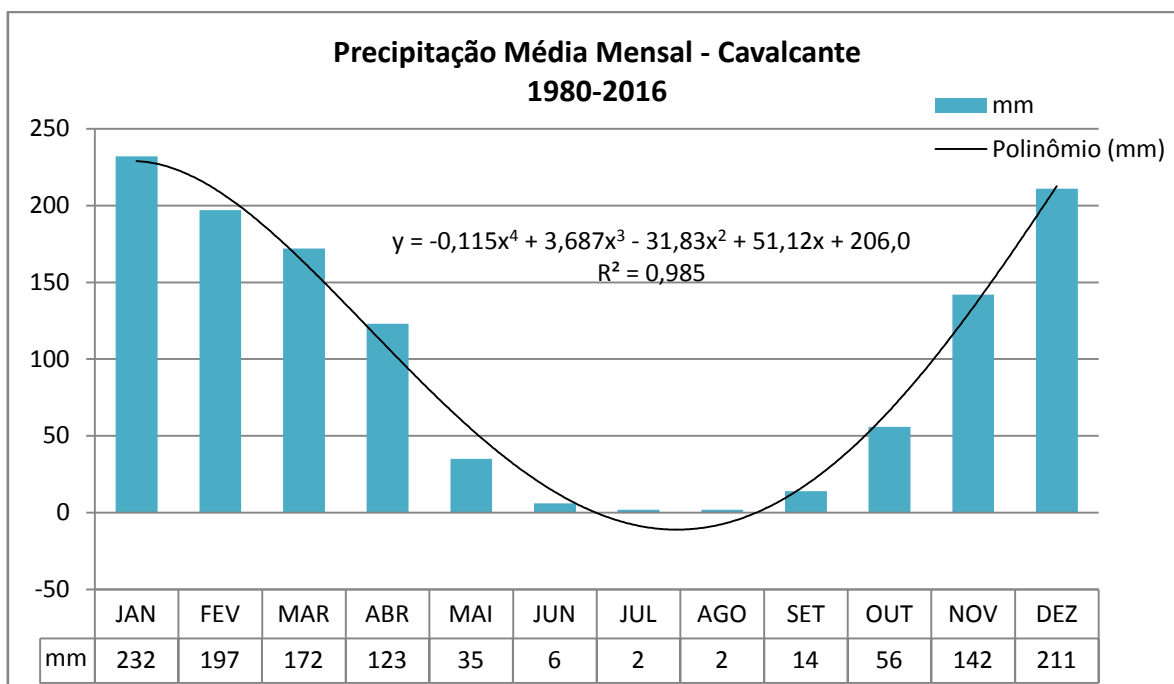


Figura 22. Precipitação média no município de Cavalcante, entre 1980-2016. Fonte: <https://pt.weatherspark.com>

As medições de vazão foram realizadas quase sempre no último dia de cada mês, para obter um intervalo proporcional (Tabela 23). Foram obtidas em pontos bem próximos ao exutório, de forma a captar toda a drenagem remanescente da bacia hidrográfica. Com a variação do nível do leito, os pontos foram realocados durante os meses de menor fluxo, para obter a viabilidade nas medições.

Tabela 23. Medições de vazão no Rio São Bartolomeu, em Cavalcante-GO, 2018.

Mês de Referência	Dia	Vazão (m ³ /s)
Janeiro	30	2,36
Fevereiro	28	2,04
Março	29	2,36
Abril	30	1,43
Maio	31	0,95
Junho	30	0,47
Julho	31	0,34
Agosto	31	0,27
Setembro	30	0,25
Outubro	31	0,75
Novembro	30	1,29
Dezembro	29	2,02

3.3 - Avaliação de Impactos Ambientais em Nascentes da BHRSB

Os resultados da avaliação macroscópica das nascentes são sintetizados na Tabela 24 e descritos adiante. Como pode-se observar, metade das áreas visitadas está bem conservada, enquanto outra metade encontra-se em estado de degradação que merece atenção imediata para a sua recuperação e aplicação de práticas de conservação para os próximos anos. Quanto maior a pontuação, mais conservada encontra-se a nascente. Os indicadores também seguem a mesma lógica, marcando entre 1 (mais impactado) e 3 pontos (mais conservado).

Tabela 24. Pontuação dos parâmetros macroscópicos segundo o Índice de Impactos Ambientais de Nascente - IIAN (GOMES et al., 2005).

Parâmetro Nascente	Pontuação													Síntese	
	Ca	Od	Lr	Mf	Ep	Ol	Eg	Vg	Ua	Uh	Pl	Pr	Tai	Pt	Cl
01	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	38	A
02	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	38	A
03	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	37	A
04	1	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1	3	2	30	D
05	1	3	3	3	2	3	3	2	1	3	1	3	2	30	D
06	1	3	3	3	2	3	3	2	2	3	1	3	2	31	C
07	1	3	3	3	2	3	3	2	2	3	1	3	2	31	C
08	2	3	3	3	3	3	3	1	2	3	1	3	2	31	C
09	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	38	A
10	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	36	B

Ca=Cor da água; Od=Odor; Lr=Lixo ao redor; Mf=Materiais flutuantes; Ep=Espumas; Ol=Óleos; Eg=Esgoto; Vg=Vegetação (preservação); Ua=Uso por animais; Uh=Uso por humanos; Pl=Proteção do local; Pr=Proximidade com residência ou estabelecimento; Tai=Tipo de área de inserção; Pt=Pontuação total; Cl=Classes: A=Ótima; B=Boa; C=Razoável; D=Ruim; E=Péssima.

Alguns parâmetros avaliados evidenciam uma boa qualidade da água em quase todas as nascentes visitadas, avaliadas positivamente quanto ao odor, lixo ao redor, materiais flutuantes, óleos, esgotos, uso humano e proximidade com residências ou estabelecimentos. Corroborando com o estudo de Torres (2016), esses parâmetros mostram uma boa conservação em relação à poluição visual nos locais de afloramento, enquadrando-se na classe I de águas doces, segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Resultados semelhantes também foram observados por Ramos e Santos (2018) ao avaliar

nascentes em propriedades rurais, com exceção à cor da água e a proximidade de residências, que diferem inversamente em ambos estudos.

Em contra partida, foram avaliados negativamente os parâmetros cor da água, vegetação (preservação), uso por animais e proteção do local, que apresentaram alterações fortes em 50% das nascentes analisadas, as quais se enquadraram nas classes C (30%) e D (20%) devido essas alterações. Estes parâmetros estão intrinsecamente relacionados, onde a falta de proteção do local permite a entrada de gado, que pisoteia a área da nascente causando turbidez na água e compactação do solo, o qual inibe o processo de brotação de espécies nativas e retarda a regeneração natural. Essas ocorrências também foram apresentadas por Torres (2016), ao analisar impactos ambientais em nascentes do córrego Alfenas, em Ubá-MG; e corrobora com Ramos e Santos (2018), em relação à não proteção do local (cercamento), e com Guimarães e Ribeiro (2012), os quais identificaram que esses impactos são potencializados também quando as nascentes estão em zona urbana.

Importante destacar o grau de conservação nas nascentes que encontram-se em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, no caso específico as RPPN's, onde todas as áreas visitadas foram classificadas na categoria A, em Ótimo estado de conservação. Esse padrão foi encontrado em apenas uma nascente em propriedade particular, devido à sua localização remota e sem acesso facilitado à pessoas e animais.

Todavia, as nascentes classificadas nas categorias C e D, em estados de conservação Razoável e Ruim respectivamente, apresentam esse quadro pela falta proteção de suas APP's e zonas adjacentes, onde ocorre compactação por pisoteio de animais, além de erosões laminares e ravinas por falta de vegetação nativa, o que acarreta no seu assoreamento progressivo. Vale ressaltar que estas mesmas nascentes (classe D), estavam com água na data das visitas, mas tornaram-se intermitentes nos últimos anos. Algumas dessas nascentes também foram impactadas pelo grande incêndio que ocorreu no PNCV no ano 2017, o qual desceu para as áreas particulares adjacentes ao parque.

As demais categorias mapeadas, apesar de ter o fluxo bastante reduzido, ainda mantém-se perenes no período de estiagem. Algumas, entretanto, costumam migrar o ponto de afloramento d'água, percorrendo alguns trechos por escoamento subsuperficial. Esse fenômeno ocorre devido ao rebaixamento natural do nível do lençol freático no decorrer da estação seca. A Tabela 25 sintetiza o percentual de nascentes que se enquadram em cada categoria de conservação. Observou-se ainda que algumas das nascentes mais impactadas estão em áreas com médio potencial erosivo, o que piora o estado de conservação e aumenta o fator de degradação nessas fontes, como pode-se verificar na Figura 23.

Tabela 25. Percentual de nascentes visitadas em cada categoria mapeada pelo IIAN.

Classe	Grau de Conservação	Quantidade	Percentual
A	Ótimo	04	40%
B	Bom	01	10%
C	Razoável	03	30%
D	Ruim	02	20%
E	Péssimo	0	0%
Total	-	10	100%

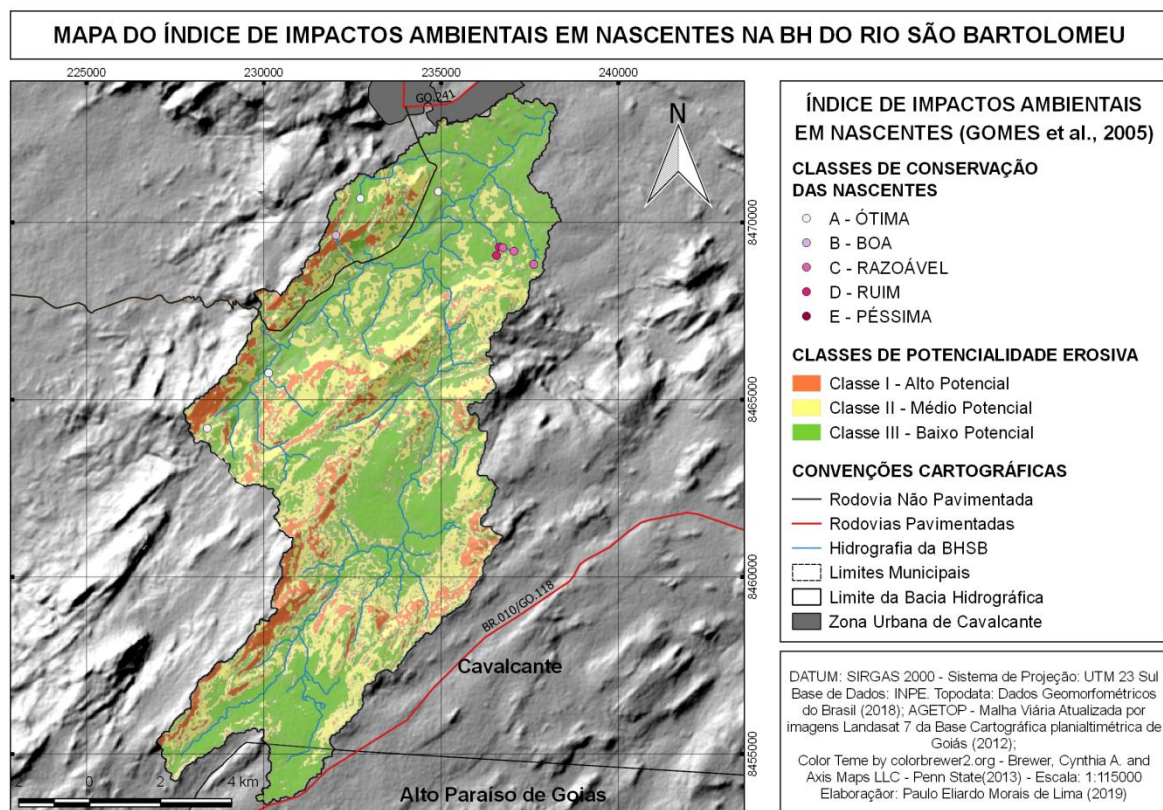


Figura 23. Mapa de Classificação do Índice de Impactos Ambientais em Nascentes na BHRSB. Fonte: autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu apresenta fragilidade ambiental considerável, dadas as variáveis analisadas e os mapas elaborados neste estudo. Pela composição dos solos, 80,26% apresentam grau de erodibilidade Forte, com predominância dos Cambissolos (61,66%), seguido dos Plintossolos (18,6%). As parcelas restantes apresentam o grau Muito Forte (19,46%), composta por Afloramento de Rocha (16,49%) e Neossolos (2,97%) e apenas uma insignificante área apresenta grau de erodibilidade muito baixo, numa faixa de 0,28% de Latossolo Vermelho, já na área do exutório.

Quanto ao relevo, a declividade é bem distribuída, apresentando metade da área, ou 51,43%, em classes de fragilidade Muito Fraca (até 6% de inclinação), e Fraca (com 6 a 12%). Os trechos que possuem declividade média, variando entre 12 a 30% de inclinação, ocupam 29,9% da área. Os 18,67% restantes têm fragilidade muito forte, ou seja, acima de 30% de declividade no terreno. Ainda assim, quase metade da sua área total possui inclinação superior aos 12%, que já caracteriza propensão à erosão laminar ou linear.

Obteve-se ainda o mapa de Grau de Suscetibilidade à Erosão Laminar, que apontou o equivalente a 36% da área nas classes I e II, como extremamente suscetível e muito suscetível, respectivamente, demonstrando que deve-se atentar para o uso de práticas de conservação do solo em pelo menos um terço da BH. Outros 17,81% apresentam suscetibilidade Moderada e a maior classe, 46% está pouco suscetível, à erosão laminar, desde que respeitadas boas práticas de manejo e mantida a cobertura do solo.

Por outro lado, observou-se também pelo mapa de uso e cobertura da terra, que 53,27% da área possui baixo grau de proteção pela cobertura do solo, representada na maior parte por Cerrado Rupestre nas cotas mais elevadas, e pastagens degradadas nas cotas inferiores e menos inclinadas. Já 4,6% da BH encontra-se totalmente com solo exposto, onde deve-se atentar para processos erosivos severos, como ravinas e voçorocas, já presentes em algumas áreas pontuais. Cerca de 10% da bacia é coberta por formações campestres e pastos plantados em bom estado de conservação, que devem ser bem manejados para não perder esse grau de proteção. Já os 37,39% restantes são ocupados por formações de savana (Cerrado Típico), capoeiras, Matas Ciliares e de Galeria, Matas Secas e Veredas, as quais apresentam bom grau de proteção e devem ser mantidos nesse estado para a resiliência dos ecossistemas.

Em relação as nascentes, em média 50% encontra-se em bom ou ótimo estado de conservação, mas a outra metade está entre razoável (30%), e ruim (20%) com tendência ao

péssimo. Essas últimas estão sob ameaça de degradação intensa, e devem ser tomadas as devidas medidas de proteção e recuperação, afim de manter essas fontes vivas futuramente. Os maiores impactos observados foram a supressão de vegetação das APP's e o acesso por animais de rebanho, o que prejudica a conservação das matas ripárias e a consequente infiltração da água nas áreas de recarga hídrica, bem como seu afloramento, devido a compactação do solo, ocasionando na migração forçada de olhos d'água. Esses fatores também favorecem o quadro já avançado de erosões laminares e alguns casos de erosões lineares severas.

Deve-se lançar esforços na tentativa de amenizar os impactos, não só nos afloramentos d'água, mas em todas as áreas de infiltração adjacentes às nascentes. É preciso isolar as APPs, como determina a lei, e iniciar o trabalho de recuperação vegetativa e contenção emergencial de erosões do tipo ravina e voçorocas. Importante também buscar orientação técnica e informação para auxiliar aos proprietários, afim de manejar essas áreas da melhor maneira possível e dentro das limitações de cada propriedade e dos recursos disponíveis.

Deve-se levar em consideração fazer um uso do solo mais adequado em toda a área estudada, adotando práticas conservacionistas, se possível agroecológicas, principalmente nas glebas com pastagens degradadas e solo exposto. Podem deixar regenerar mais espécies nativas nos pastos, dando mais conforto ao gado e melhorando a conservação do solo. Os principais fatores de fragilidade ambiental dos solos e recursos naturais do cerrado estão relacionados a estas áreas sem cobertura adequada e às estradas com manejo de águas insuficiente. Os locais mais suscetíveis à erosão não possuem cordões ou terraços em curva de nível, além de reduzidas espécies arbóreas e gramíneas nativas, o que potencializa a ação das enxurradas. Além de perder volume d'água por falta de infiltração, ocorre o arrasto das camadas mais férteis do solo e a lixiviação de nutrientes. A longo prazo a situação agrava-se, pois quanto menos conservação da cobertura, mais solo e nutrientes são carregados, e menos cobertura é restabelecida no ano seguinte. Um solo que já é fraco em nutrientes não pode perder os que ainda lhe restam naturalmente.

Da mesma forma, os impactos causados pelas queimadas fora da estação de manejo (fevereiro a maio), agredem a vegetação e o solo de maneira irremediável. Algumas das áreas foram visitadas pelo pesquisador durante e após o grande incêndio de 2017, onde percebeu-se elevada mortalidade indivíduos da vegetação nativa, principalmente em estratos baixos de matas secundárias, incluindo em áreas de RPPN e do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Nas áreas de Cerrado Stricto Sensu os impactos são menores, devido à boa

adaptabilidade ao fogo, mas as formações florestais sofreram perdas inestimáveis, que afetam essas áreas indiretamente a médio e longo prazo.

Nos próximos anos, são necessários estudos para avaliação e monitoramento das áreas impactadas pelo fogo. Parte desse monitoramento será realizado pela Brigada Voluntária Ambiental de Cavalcante (BRIVAC), formada em 2017 durante o grande incêndio. A brigada teve sua equipe capacitada com o curso de Brigadista Florestal Voluntário, oferecido pela Rede Contra Fogo e ICMBio em 2018 para atuar na região com foco na prevenção, manejo e combate ao fogo, em parceria com as brigadas do Prevfogo/IBAMA e do ICMBio. O pesquisador faz parte do grupo de voluntários da brigada e este estudo agregará bastante no difícil trabalho, com metodologias importantes para auxiliar nos manejos e no monitoramento por imagens sensoriais e análises geoespaciais.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica, para sensoriamento remoto e geoprocessamento se mostram bastante eficazes para a realização de trabalhos de diagnóstico e análise ambiental, corroborando com estudos realizados em outras regiões do Cerrado, como os monitoramentos de áreas de APP e levantamento de uso e ocupação do solo apresentados por Silva Neto et al. (2013, 2014). Na mesma linha, Pereira e Guimarães (2018) apresentam uma poderosa ferramenta utilizada na classificação supervisionada de uso do solo, o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), o qual foi incorporado na realização do presente trabalho com o auxílio do *Google Earth*, também utilizado com sucesso pelos referidos autores.

Por fim, outras aptidões adequadas à área em estudo estão relacionada à criação de RPPNs e sua utilização para fins de conservação da biodiversidade e recursos hídricos, pesquisa, Ecoturismo, produção de mudas nativas e educação ambiental, como comprovado pelas reservas já existentes e sua eficiência na conservação de recursos hídricos, da fauna e da flora nativos, bem como dos ecossistemas locais. Tampouco, um outro movimento que vem surgindo na área estudada é o da Agroecologia e dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), que também podem contribuir para o melhoramento do uso do solo e para a conservação dos recursos naturais. Alguns produtores estão na fase de implementação de agroecossistemas mais sustentáveis, e já existe na região uma pequena Comunidade que Sustenta a Agricultura (CSA), funcionando desde 2018, com alguns produtores também na área da BHRSB.

Referências Bibliográficas

ANA-Agência Nacional de Águas (Brasil). **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia** : relatório síntese. -- Brasília : ANA; SPR, 2009.

BACCARO, C.A.D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª edição, 2010. 340p.

BRASIL, **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Diário Oficial [da] União. Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Seção 1, p.470.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 18 de março de 2005**. 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. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. – Brasília: MMA/SBF, 2011.

BROOKS, K. N. et al. **Hydrology and the management of watersheds**. – 4th ed. p. cm. Rev. 2003. Disponível em: <http://www.science.earthjay.com/instruction/HSU/2017_spring/GEOL_308/lectures/lecture_07/HYDROLOGY_AND_THE_MANAGEMENT_OF_WATERSHE.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2018.

CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. 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, p.433-442, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n4/v16n04a14.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R.. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, jan./mar. de 2014, pp.40-55.

Centro de Produções Técnicas (CPT). **Bacias Hidrográficas - Saiba mais sobre elas**. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-meioambiente/artigos/bacias-hidrograficas-saiba-mais-sobre-elas>>. Acesso em: 20 ago. 2018

CHRISTOFOLETTI, A. 1936 - **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

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

COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. M. Relações Regionais entre Precipitação e Evapotranspiração Mensais. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 19 n.3 – Jul/Set 2014, 205-214. Disponível em:

<<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=168&PUBLICACAO=RBRH&VOLUME=19&NUMERO=3>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

CRUZ, J. C. ; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos** . Vol. 13 n.1 jan/mar 2008, 111-124. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=15&SUMARIO=174>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

CUIABANO, M. N.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; SERAFIM, M. E.; NEVES, R.J. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do córrego Guanabara / Reserva do Cabaçal - MT Brasil. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 36, n.1, p.138-153, 2017.

ELKINGTON, J., 1999. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business**. ed. Capstone, UK.

EMATER – Agencia Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. **Classes de solos dos município goianos** - 2016.

EMBRAPA. **Medição de vazão em rios pelo Método do Flutuador**. Comunicado Técnico 455, Versão Eletrônica. Concórdia, SC, jul. 2007.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. - 5ª ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMPIA - Empresa de Projetos Industriais e Ambientais. **Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB de Cavalcante - Tomo II**. Convenio 0035/2011 - EMPIA e Prefeitura Municipal de Cavalcante. 2017.

FAO. *TWENTY-FOURTH SESSION OF COMITEE ON FORESTRY. Climate change and its impact on the work and activities of FAO in Forestry*. Rome, 16-20 jul. 2018. Disponível em:< <http://www.fao.org/3/MW858EN/mw858en.PDF>>. Acesso em: 14 ago. 2018

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. 2012. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Elaboração de conteúdo).

FRANÇA, H; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. MMA, 2007. 140p. (Série Biodiversidade, v.27)

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. - 2ª ed. rev. e atual. - São Paulo: Blucher, 1988.

GOIÁS (estado). Secretaria de Indústria de Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Por Edgardo M. Latrubesse, Thiago Morato de Carvalho. Goiânia, 2006.

GOIÁS (estado). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás**. Produto 5: Plano Estadual de Recursos Hídricos. Revisão Final. Goiás, 2015. Disponível em:<<http://www.secima.go.gov.br/post/ver/207710/plano-estadual-de-recursos-hidricos-do-estado-de-goias/>>. Acesso em: 15 ago. 2018

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: Análise Macroscópica. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.17,n.32,p.103-120, jun. 2005.

GUIMARÃES, G. A.; RIBEIRO, R. L. **Análise macroscópica das condições ambientais em nascentes na cidade de Rio Verde-GO**. Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde, 2012.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Diretoria de Obtenção de Terras e Implantação de Projetos de Assentamentos. **Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial**. NORMA DE EXECUÇÃO Incra/DT/Nº 52, DE 25 DE OUTUBRO DE 2006 (DOU 27/10/2006, seção I, p.108). 2006.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1990. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande**. São Paulo, 3v. (IPT). Relatório, 28:184.

JARVIS, R. S. Drainage Network Analysis. **Progress in Physical Geography**, v.1, p. 271-295, 1977.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. (Wall-map 150cmx200cm.).

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. **Biometrics**, vol. 33, no. 1, 1977, p.159–174. JSTOR. Disponível em: <www.jstor.org/stable/2529310>. Acesso em: 27 jan. 2019.

LEMORDANT, L.; GENTINE, P.; SWANN, A. S.; COOK, B. I.; SCHEFF, J. **Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO₂**. PNAS Lates Articles. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/pnas/early/2018/03/29/1720712115.full.pdf>>. Acesso em 16 abril 2018.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado Brasileiro**. Embrapa Cerrados: Planaltina, DF, 2007.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Análise da situação dos Recursos Hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas**. In: IX Simpósio Nacional Cerrado. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais: Parla Mundi, Brasília, DF, 2008.

LIMA, P. C. A.; FRANCO, J. L. A. As RPPNs como estratégia para a conservação da biodiversidade: o caso da Chapada dos Veadeiros. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.26, n.1, p.113-125, jan/abr, 2014.

LIMA, P. E. M.; SANTOS, L. A. C.; SILVA NETO, C. M.; SOUZA, M. M. O. **O Uso de Sistemas de Informação Geográfica na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Rio São Bartolomeu, Cavalcante-GO**. In: V Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG - CEPE / XII Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação: UEG, Pirenópolis, GO, 17-19 out. 2018.

LIMA, W. P. **Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas**. 1996. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila). 2ª ed. 2008.

MARTINS-FERREIRA, M.A.C.; CAMPOS, J. E. G. **Geologia da Chapada dos Veadeiros para Guias de Turismo**. Instituto de Geociências - UnB: 2015. (Curso de curta duração ministrado/Extensão).

MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional**: Relatório Final. 2011. Brasília: UNEP-WCMC, 120p

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C.; Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canas: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.2, p.157-168.

MIOTO, C. L.; RIBEIRO, V. O.; SOUZA, D. M. Q.; PEREIRA, T. V.; ANACHE, J. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C. **Morfometria de Bacias Hidrográficas Através de SIGs Livres e Gratuitos**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. vol. 37- 2 / 2014, p. 16-22. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_16_22>. Acesso em: 02 abr. 2018.

MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. (Orgs.). **GEOLOGIA do Estado de Goiás e Distrito Federal**: texto explicativo do mapa geológico do estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL, 2008

NEVES, L. F. S.; NEVES, S. M. A. S.; CANALE, G. R. Análise da fragmentação de Cerrado na bacia hidrográfica do rio Aguapeí, Porto Espiridião (MT): um estudo de caso a partir das geotecnologias e métricas da paisagem. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v.8, n.2, p.130-149, ago/2014.

NUNES, F. P.; PINTO, M. T. C. Conhecimento local sobre a importância de um reflorestamento ciliar para a conservação ambiental do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Biota Neotropica**, Vol.7 (number 3): 2007; p. 171-179. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn03307032007>>. Acesso em 30 junho 2018.

OLIVEIRA, L. F. C.; CALIL, P. M.; RODRIGUES C.; LIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto Meia Ponte, Goiás. **Ambi-Água**, Taubaté, v.8, n.1, p.222-238, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.914>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F. Mapeamento multi-categórico do uso/cobertura da terra em escalas detalhadas usando *Semi-automatic Classification Plugin*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.3, n.4, p.379-385, 2018.

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo**: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. --2.ed. rev. - São Paulo: Expressão Popular, 2016. 205p.

RAMOS, H. F.; SANTOS, D. C. R. M. **O Índice de Impacto Ambiental de Nascentes (IIAN) e o Grau de Preservação das Nascentes em Propriedades Rurais de Barra Mansa**. In: III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2018, Juiz de Fora-MG. Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2018. p. 1-977

RIO GRANDE DO SUL (estado). Secretaria de Agricultura. **Manual de Conservação do solo**. 3ª ed. atualizada. Porto Alegre, 1985. 287p.

ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 7 nov. 2011.

SALES, H. T.; PEREIRA, M. P. **Avaliação do entorno das nascentes do município de Barbacena com vista a identificar os impactos de uso e ocupação**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande-PB. 2016.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª edição, 2010. 340p.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n.3, 2012.

SANTOS, L. A. C.; LIMA, P. E. M. Comparação entre diferentes algoritmos de Classificação Supervisionada no mapeamento temático de uma Bacia Hidrográfica. **Revista TREE DIMENSIONAL, ProFloresta, Goiânia**, v.3, n.5, p.27-41, 2018.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Rozely Ferreira dos Santos. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHIMITT, A.; MOREIRA, C. R. Manejo e Gestão de Bacia Hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o Saber**. Ed. esp. p.125-137. 2015.

SILVA NETO, C. M.; OKANO, S. F.; CARNEIRO, V. A.; GONÇALVES, B. B.; Ocupação de áreas de preservação permanentes dos Canais fluviais em ambiente urbano do município de Jataí- GO. **Revista Percurso - NEMO**. Maringá, v. 5, n. 2, p. 73-89, 2013.

SILVA NETO, C.; KIYOMI TSUJII, P.; RIBEIRO, A. C.; ALVES CARNEIRO, V.; GONCALVES, B. Uso e Ocupação das Áreas de Preservação Permanentes no Sudoeste Goiano. **Revista de Geografia (UFPE)**, V. 31, No. 3, 2014.

SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N. **Análise da suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia-GO**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

SOUZA, C. F.; PERTILLE, C. T.; CORRÊA, B. J. S.; VIEIRA, F. S. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí-Paraná. **Revista Eletrônica do Curso de Geologia - UFG/REJ**. Jataí-GO, n. 29, jul.-dez. 2017a.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do Rio das Fêmeas. **Eng. Sanit. Ambient.**,v.22, n.3,p. 453-462, maio/jun 2017b. Disponível em: <<https://submission3.scielo.br/index.php/esa/article/view/155279>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

STRAHLER, A. N. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.38, n. 6, p. 913-920, 1957. Disponível em: <<http://www.uvm.edu/pdodds/files/papers/others/1957/strahler1957a.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

TORRES, F. T. P. Mapeamento e análise de impactos ambientais em nascentes do córrego Alfenas, Ubá (MG). **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, MT, UNEMAT, v.14, n.1, p.45-52, 2016.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica** / Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006. 302 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2018.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p.24-35, junho/agosto 2006. Disponível em:<<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13529/15347>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: produção de água em pequenas bacias hidrográficas**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.

VALERIANO, M. M. Mapeamento da Declividade em Microbacias com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.303-310, 2003.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16702-RPQ/854). 79p., 2010.

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

ZAPAROLI, F. C. M.; CREMON, E. H. **Análise comparativa entre quatro metodologias de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão Jangada, Noroeste Paulista**. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia; III Encontro Latino americano de Geomorfologia; I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia; I Encontro Ibero-Americano do Quaternário, 2010, Recife. VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia; III Encontro Latino americano de Geomorfologia; I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia; I Encontro Ibero-Americano do Quaternário. Recife: UFPE, 2010.