



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA**

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO  
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS-GO**

Goiânia, GO

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação       Tese

#### 2. Nome completo do autor

ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA

#### 3. Título do trabalho

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS-GO

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

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

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

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

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

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

Documento assinado eletronicamente por **ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA, Discente,**



em 16/03/2021, às 13:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 19/03/2021, às 14:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1896740** e o código CRC **36AE5C4D**.

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese

#### 2. Nome completo do autor

**ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA**

#### 3. Título do trabalho

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS-GO**

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

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

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

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 25/04/2023, às 22:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA, Usuário Externo**, em 27/04/2023, às 20:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3699519** e o código CRC **BD40E02D**.

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA**

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO  
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS-GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Karla Maria Silva de Faria

Goiânia, GO

2021

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

Sousa, Ana Caroline Rodrigues Cassiano de  
ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO  
PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
CALDAS-GO [manuscrito] / Ana Caroline Rodrigues Cassiano de  
Sousa. - 2021.  
134 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Karla Maria Silva de Faria.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró  
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais, Goiânia, 2021.

Bibliografia.

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

1. Geoecologia das paisagens. 2. Cerrado goiano. 3. Fragmentação  
da paisagem. 4. Impactos ambientais. 5. Áreas prioritárias. I. Faria,  
Karla Maria Silva de, orient. II. Título.

CDU 502/504



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **009** da sessão de Defesa de Dissertação de **ANA CAROLINE RODRIGUES CASSIANO DE SOUSA**, que confere o título de Mestre em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em **Estrutura e Dinâmica Ambiental**.

Aos **cinco do mês de março de 2021**, a partir das **09h:30min** realizou-se por videoconferência, no Google Meet: < [meet.google.com/qjw-fqps-aqo](https://meet.google.com/qjw-fqps-aqo)>, a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS-GO**”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (IESA/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Manuel Eduardo Ferreira (IESA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Edson Vicente da Silva (Departamento de Geografia/UFG)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **cinco do mês de março de 2021**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 05/03/2021, às 12:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 05/03/2021, às 12:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Miziara, Coordenadora de Pós-Graduação**, em 15/03/2021, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1868401** e o código CRC **D2077029**.

**Referência:** Processo nº 23070.007690/2021-32

SEI nº 1868401

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus Soberano, meu refúgio e força, que me salvou em Jesus e me concede bênçãos incontáveis: saúde para estudar/trabalhar; inspiração e criatividade nas muitas estradas da vida (como o mestrado e tudo que o envolveu); motivação e perseverança para servir e me relacionar (em várias atividades e com tantas pessoas); e a possibilidade de contemplar e viver coisas maravilhosas (como a natureza que reflete uma glória tão suprema e deve ser cuidada e apreciada). Ao Senhor, minha gratidão e honra!

Ao meu amado esposo, Paulo Sérgio Zanin Jr, o parceiro maravilhoso que caminha ao meu lado. Sou imensamente grata por sua paciência e sabedoria nos momentos difíceis do mestrado; por ser meu maior apoiador e uma enorme fonte de incentivo e ânimo; por sua companhia, cuidado e conselhos; e pelas correções na dissertação e nos artigos. Seguimos juntos para as próximas aventuras e sonhos, MSc.!

A minha grande família – Marilda, Teotônio, Gabriel, Gabriela; Silvânia, Paulo, Monize – agradeço por todo suporte e amor por meio de palavras, conversas, orações e ações, almoços, comidas e todos os nossos encontros; essa vitória é toda nossa! Aos grandes amigos que me acompanham e apoiam desde sempre na caminhada acadêmica (Iza, Lu, Jon, Caio, Sayuri, Lucas e demais) e aos que chegaram depois, mas também foram tão importantes nesse processo (em especial os amigos da Jubasu).

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Karla, por ser tão compreensiva e humana com seus orientandos. Agradeço pelas muitas oportunidades de crescimento profissional, por todos os direcionamentos na pesquisa, sua preocupação com o aprendizado e a prática dos alunos, e seu coração tão sensível às nossas realidades; isso não pontua diretamente no *lattes*, mas é um incentivo gigantesco para a formação de grandes pesquisadores e profissionais. Obrigada Karla, você é 10 e nos inspira muito!

Aos colegas do mestrado – Matheus, Giovanna, Brunno, Joice e Rodrigo – que me acompanharam de perto nos desafios da pós-graduação, obrigada pelas conversas, memes e ajudas; admiro cada um de vocês! Ao Matheus em especial pela parceria nos artigos e pela ajuda gigantesca no longo período de “pós-qualificação”. À amiga Jaqueline, por ser a parceira de artigos, congressos, perfeccionismos, perrengues e grandes vitórias também; obrigada por tornar o mestrado mais leve, lobinha-guará!

Aos colegas do grupo de estudos em Geoecologia das Paisagens do Cerrado e ao LABOGEF, que me proporcionaram tantas discussões produtivas e enriquecedoras em teoria e prática ambiental; meu abraço de gratidão a vocês (de longe e com máscara rs!). Nos vemos pelo caminho!

Ao Prof. Edson Cacau, grande fera da Geoecologia das Paisagens, pelos preciosos aprendizados na área de planejamento e gestão ambiental, pela interação Goiás-Ceará e pelo exemplo de humildade no ambiente acadêmico. Aos Profs. Manuel, Cacau e Nilson, pelas leituras e contribuições e pela participação ativa nas bancas de qualificação e defesa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa no segundo ano de mestrado. E à UFG por todo meu processo de formação; sou grata e tenho orgulho de ser UFG.

## RESUMO

As paisagens das bacias hidrográficas do Cerrado goiano são alvo de diversas transformações, por vezes devidas à exploração agropecuária e à falta de planejamento de uso dos recursos naturais, que podem ocasionar impactos ambientais como a fragmentação e as erosões, os quais motivam estudos integrados e interdisciplinares, como os da abordagem teórica e metodológica da Geoecologia das Paisagens. A bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC) apresenta usos múltiplos e seu rio principal é indicado como futuro manancial de abastecimento público para a Região Metropolitana de Goiânia. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC, visando à mitigação dos impactos de fragmentação e de perda de solos. Os procedimentos metodológicos envolveram o levantamento de aspectos socioambientais; a cartografia das Unidades Geoecológicas (UGs) por sobreposição de hipsometria, declividade, precipitação, geologia e pedologia; a análise de uso do solo com mapas do Projeto MapBiomias 4.0 para 1988, 2000 e 2018; a avaliação de métricas da paisagem (CA, PLAND, NP, TCA, TCAI, TE e ENN-MN), validadas por Análise de Componentes Principais; o mapeamento de vulnerabilidade erosiva, com atribuição de pesos e média aritmética entre os temas; e a adoção de critérios para a proposição de áreas prioritárias: remanescente desde 1988, área > 100ha junto a APPs de cursos d'água, em UGs mais significativas e com feições vulneráveis à erosão. A BHRC foi compartimentada em seis grandes Unidades Geoecológicas de Relevância (UGRs) e subdividida em 34 UGs, sendo a pastagem a classe de uso predominante na bacia como um todo. Em quase todas as UGRs houve conversão da vegetação nativa em usos agropecuários, principalmente em relevos suaves, sendo as formações campestres as mais fragmentadas em tamanho e isolamento, seguidas pelas savânicas e florestais; as áreas centrais representam 21%, 24% e 45% do total de área nativa, respectivamente; e o isolamento e a redução de área florestal são consideráveis, em comparação com outras regiões do Cerrado. As médias vulnerabilidades erosivas predominam desde 2000 e as médias e altas apresentam crescimento relacionado principalmente aos usos antrópicos, o que ressalta a necessidade da conservação para evitar e mitigar riscos. Dos fragmentos remanescentes desde 1988, 19 atenderam aos critérios adotados e foram propostos como áreas prioritárias para conservação ambiental; espera-se que essas áreas sejam úteis como subsídio para o planejamento da conservação da biodiversidade, da proteção hídrica e edáfica da BHRC.

**Palavras-chave:** geoecologia das paisagens; Cerrado goiano; fragmentação da paisagem; impactos ambientais; áreas prioritárias.

## **ABSTRACT**

The landscapes of hydrographic basins in Cerrado of Goiás are the target of many transformations, often due to agriculture and pasture exploitation and due to the lack of the use planning of natural resources, which can cause environmental impacts as vegetation fragmentation and erosions, which motivate integrated and interdisciplinary studies, as that utilized in the theoretical and methodological approach of Landscape Geoecology. The Hydrographic Basin of Caldas River (BHRC) presents multiple uses and its main river is indicated as the future watercourse for the public supply of the Metropolitan Region of Goiânia. Therefore, this work aims to propose priority areas for environmental conservation of BHRC, to reduce the impacts of fragmentation and soil losses. The methodological procedures involved the surveying of the socio-environmental aspects; the cartography of Geoecological Unities (UGs) by superposition of hypsometry, slope, precipitation, geology, and pedology; the analysis of land occupation dynamics through MapBiomias 4.0 for the years of 1988, 2000 e 2018; the analysis of landscape metrics (CA, PLAND, NP, TCA, TCAI, TE e ENN-MN), validated by Principal Component Analysis; the mapping of erosion vulnerability, with weights and arithmetical standard between the themes; and the adoption of criteria to the proposition of priority areas: remanent areas since 1988, >100ha nearby APPs of water bodies, in UGs more significant and with patches more vulnerable to erosions. The BHRC was compartmentalized into six Relief Geoecological Unities (UGR), subdivided into 34 UGs, and pasture is the predominant class of use in the whole basin. In almost all the UGRs, parts of native vegetation were converted to agriculture and pasture, mainly in soft relief, the grassland area the most fragmented in size and isolation, followed by savannas and forestall, and central areas represents about 21%, 24%, and 45%, respectively; forest isolation and area reduction are considerable, in comparison to other regions of Cerrado. The medium erosion vulnerabilities are predominant since 2000 and the medium and high presents an increase mainly related to anthropogenic uses, which emphasizes the need for conservation to avoid and mitigate risks. Of the remanent fragments since 1988, 19 matched the adopted criteria and were suggested as priority areas to environmental conservation; is expected that this area would be used as aids in the conservation planning of biodiversity, hydric and edaphic protection in BHRC.

**Keywords:** landscape geoecology; Cerrado of Goiás; landscape fragmentation; environmental impacts; priority areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC). ....	13
Figura 2 – Fases da metodologia da Geoecologia de Paisagens para planejamento .....	31
Figura 3 - Fluxograma metodológico adotado para o planejamento da paisagem da BHRC. .	40
Figura 4 – Registros fotográficos de paisagens da BHRC. ....	49
Figura 5 – Registro de agricultura familiar (plantação de tomate) na BHRC. ....	50
Figura 6 - Memórias geográficas ambientais do rio Caldas. ....	51
Figura 7 - Evolução do cultivo agrícola nos municípios da BHRC. ....	53
Figura 8 - Distribuição anual da precipitação na BHRC - 35 anos. ....	54
Figura 9 - Mapa de precipitação e classificação climática na BHRC. ....	55
Figura 10 - Mapa de hidrografia e sub-bacias da BHRC. ....	56
Figura 11 - Mapa de formações geológicas da BHRC. ....	57
Figura 12 - Mapas de relevo da BHRC: hipsometria, declividade e geomorfologia.....	61
Figura 13 - Mapa de solos da BHRC.....	63
Figura 14 - Unidades Geoecológicas da BHRC. ....	66
Figura 15 – Registros dos trabalhos de campo; pontos visitados em fevereiro de 2020. ....	81
Figura 16 - Registro fotográfico de anfíbio (perereca) em 08/02/2020. ....	82
Figura 17 - Registro fotográfico de avifauna em 15/02/2020. ....	82
Figura 18 - Mapeamento de uso do solo da BHRC nos anos de 1988, 2000 e 2018. ....	83
Figura 19 – Uso do solo nas Unidades Geoecológicas da BHRC em 1988, 2000 e 2018. ....	87
Figura 20 – Métricas PLAND (Percentual da Classe) e NP (Número de Fragmentos). ....	90
Figura 21 – APP de nascente do rio Caldas com pastagem e sinal de livre acesso de gado. ...	93
Figura 22 – APP de nascente do Caldas com resíduos de construção, plantas invasoras e vegetação ruderal.....	93
Figura 23 – Métricas TCA (Total de Área Central) e TCAI (Índice de Área Central Total)...	93
Figura 24 – Métrica TE (Total de Bordas) para a BHRC e UGRs.....	95
Figura 25 – Métrica ENN-MN (Distância Média Euclidiana do Vizinho Mais Próximo).....	96
Figura 26 – Gráfico de correlação entre métricas, PC1 x PC2 e UGRs em 1988. ....	100
Figura 27 - Gráfico de correlação entre métricas, PC1 x PC2 e UGRs em 2000.....	101
Figura 28 - Gráfico de correlação entre métricas, PC1 x PC2 e UGRs em 2018.....	102
Figura 29 – Mapas de vulnerabilidade à erosão na BHRC e detalhamento das UGs.....	104
Figura 30 – Mapa de vulnerabilidade à perda de solos para os temas analisados. ....	106
Figura 31 – Mapa de validação dos critérios adotados: CA x NP de vegetação nativa. ....	113

Figura 32 – Mapa de aplicação dos critérios de seleção das APCAs (Áreas Prioritárias para Conservação Ambiental). .....	114
Figura 33 – Mapa de áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC. ....	116
Figura 34 – Mapa de proposição da revisão dos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado. ....	120

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Localização e dados de precipitação das estações pluviométricas selecionadas.....	45
Tabela 2 - Municípios da BHRC e respectivos percentuais relativos à BHRC.....	47
Tabela 3 - Evolução demográfica nos municípios da BHRC em 2000, 2010 e 2018. ....	51
Tabela 4 - Produto Interno Bruto dos municípios da BHRC.....	52
Tabela 5 – Métricas CA e PLAND para as classes de uso na BHRC em 1988, 2000 e 2018..	84
Tabela 6 – Autovalores e variâncias para cada Componente Principal (PC). ....	98
Tabela 7 – Evolução da correlação entre as métricas e os Principais Componentes.....	99
Tabela 8 – Percentuais de graus de vulnerabilidade para as temáticas em estudo. ....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização dos grupos de métricas de paisagem.....	34
Quadro 2 - Aspectos, dados e fontes utilizados para caracterização da BHRC. ....	44
Quadro 3 - Classes adotadas na compartimentação das unidades geoecológicas. ....	45
Quadro 4 - Descrição das formações geológicas presentes na BHRC. ....	58
Quadro 5 - Unidades Geoecológicas de Relevo Suave em Altas Altitudes (RS-AA).....	67
Quadro 6 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Altas Altitudes (RM-AA). .....	68
Quadro 7 - Unidades Geoecológicas de Relevo Suave em Médias Altitudes (RS-MA).....	70
Quadro 8 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Médias Altitudes (RM-MA). .....	71
Quadro 9 - Unidades Geoecológicas de Relevo Suave em Baixas Altitudes (RS-BA). ....	72
Quadro 10 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Baixas Altitudes (RM-BA). .....	73
Quadro 11 – Métricas utilizadas na metodologia de análise .....	77
Quadro 12 – Distâncias devidas ao efeito de borda, consideradas na matriz de fundo.....	78
Quadro 13 – Valores dos pesos de vulnerabilidade à erosão para as classes da BHRC. ....	80
Quadro 14 – Classes de legenda dos mapas de vulnerabilidade à erosão. ....	81
Quadro 15 – Características da UGs e dinâmica de uso e fragmentação em UGs mais significativas.....	88
Quadro 16 – Caracterização das APCAS da BHRC.....	117

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO I. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA.....	16
1.1. Bases teóricas da Geoecologia das Paisagens.....	16
1.2. Unidades geoecológicas e impactos ambientais .....	20
1.3. Planejamento da conservação das paisagens em bacias hidrográficas .....	25
1.4. Bases metodológicas do planejamento da paisagem da BHRC.....	30
1.5. Considerações quanto aos pressupostos teóricos e metodológicos.....	41
CAPÍTULO II. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS E COMPARTIMENTAÇÃO DE UNIDADES GEOECOLÓGICAS .....	42
2.1. Procedimentos metodológicos das fases de organização, inventário e análise.....	43
2.2. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Caldas.....	47
2.2.1. Localização geográfica da BHRC .....	47
2.2.2. Histórico e aspectos socioculturais dos municípios da BHRC.....	48
2.2.3. Demografia e atividades socioeconômicas.....	51
2.2.4. Classificação climática e distribuição da precipitação .....	54
2.2.5. Rede de drenagem e sub-bacias hidrográficas.....	55
2.2.6. Tipologia das formações geológicas.....	57
2.2.7. Processos geomorfológicos e caracterização do relevo.....	59
2.2.8. Pedologia e caracterização dos solos.....	62
2.2.9. Formações de Cerrado e aspectos faunísticos .....	64
2.3. Compartimentação e caracterização das Unidades Geoecológicas.....	65
2.3.1. UG de Relevo Suave em Altas Altitudes (RS-AA).....	67
2.3.2. UG de Relevo Movimentado em Altas Altitudes (RM-AA).....	68
2.3.3. UG de Relevo Suave em Médias Altitudes (RS-MA).....	69
2.3.4. UG de Relevo Movimentado em Médias Altitudes (RM-MA).....	70
2.3.5. UG de Relevo Suave em Baixas Altitudes (RS-BA).....	71

2.3.6. UG de Relevô Movimentado em Baixas Altitudes (RM-BA).....	73
2.4. Considerações sobre a paisagem da BHRC .....	74
CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NAS UNIDADES GEOECOLÓGICAS DA BHRC: FRAGMENTAÇÃO E PERDAS DE SOLO .....	75
3.1. Procedimentos metodológicos para diagnóstico dos impactos ambientais.....	76
3.2. Dinâmica de uso do solo na BHRC .....	81
3.3. Fragmentação da paisagem nas Unidades Geoecológicas da BHRC .....	86
3.3.1. Análise estatística da fragmentação.....	98
3.4. Vulnerabilidade à perda de solos nas Unidades Geoecológicas da BHRC .....	103
3.5. Considerações sobre o diagnóstico de impactos ambientais na BHRC .....	108
CAPÍTULO IV. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DA BHRC .....	110
4.1. Procedimentos metodológicos para seleção de áreas para conservação ambiental .	111
4.2. Proposição de áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC .....	112
4.3. Considerações sobre as áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC ..	121
CONCLUSÕES GERAIS.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	124

## INTRODUÇÃO

A contemplação, a transformação e o estudo das paisagens estão historicamente inseridos no cotidiano humano. Atualmente, a caracterização e conservação da paisagem são temáticas de estudo de diversas áreas científicas, devido à necessidade de se planejar e disciplinar o uso dos espaços naturais, para a manutenção de sistemas ambientais saudáveis.

Quer esteja localizada em meio urbano ou rural, a paisagem é considerada um mosaico complexo que está sujeito a transformações, mesmo em uma escala espaço-temporal curta (BERTRAND, 2004), que ocorrem tanto de forma natural quanto por influências humanas. Com o desenvolvimento da Ecologia da Paisagem e, posteriormente, com a análise integrada proporcionada pela Geocologia de Paisagens – foram concebidas novas formas de compreensão das modificações espaciais da paisagem (BENNETT; SAUNDERS, 2010; TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017) que auxiliam no estudo das dinâmicas das distintas paisagens brasileiras.

No bioma Cerrado – segundo maior bioma do Brasil em área e savana tropical com maior biodiversidade do planeta, com grande variedade de habitats e espécies (KLINK; MACHADO, 2005) – a interação entre diversos aspectos ambientais e influências antrópicas são fatores determinantes para a formação da estrutura da vegetação, bem como para o funcionamento de processos ecológicos e serviços ecossistêmicos (DURIGAN et al., 2018).

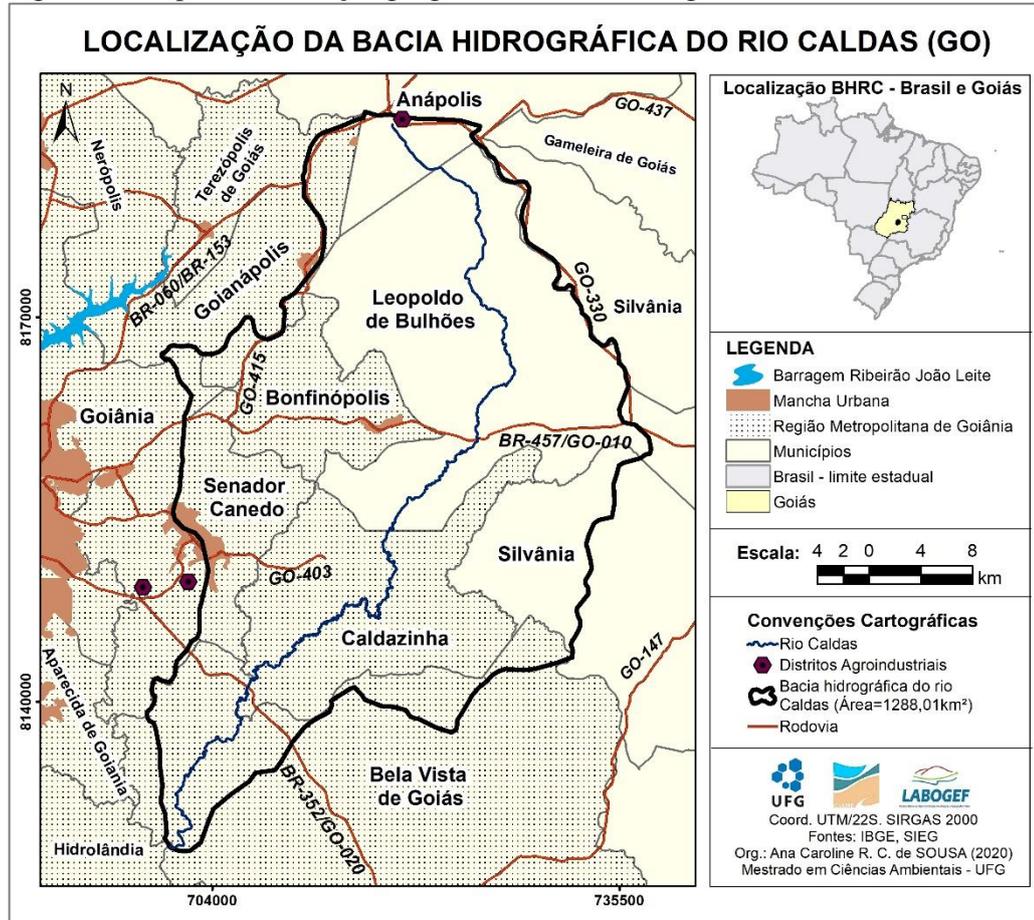
Sabe-se que o Cerrado é formado por uma vasta heterogeneidade ambiental, que inclui sistemas relativamente resistentes a transformações e outros expressivamente sensíveis às mudanças de cunho antrópico. Grandes áreas desse mosaico de árvores nativas e pastos naturais existente no Cerrado já foram transformadas em pastagens plantadas e áreas agrícolas, com taxa de perda de vegetação nativa percentualmente mais alta do que as taxas do bioma Amazônico (KLINK; MOREIRA, 2002; SANO et al., 2019).

Em consequência disso, as alterações nas paisagens do Cerrado resultam em ameaças à sua biodiversidade de sistemas ambientais, sendo as mais evidenciadas a degradação dos solos e dos ecossistemas nativos, a fragmentação de habitats e a dispersão de espécies exóticas (KLINK; MOREIRA, 2002; KLINK; MACHADO, 2005).

Situada no contexto do Cerrado goiano, a bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC) é uma das sub-bacias da Bacia do Rio Meia Ponte, um dos principais mananciais do estado de Goiás. A BHRC está localizada junto à Região Metropolitana de Goiânia (RMG), sendo que oito de seus onze municípios pertencem à RMG.

Entre os municípios abrangidos pela BHRC se encontram Goiânia, Anápolis e Senador Canedo, cidades mais populosas de Goiás, detentoras dos maiores Produtos Internos Brutos e de importantes Distritos Agroindustriais do Estado. Além desses, pertencem à BHRC os municípios de Caldazinha, Bonfinópolis e Leopoldo de Bulhões, e parte dos municípios de Goianápolis, Bela Vista de Goiás, Silvânia, Terezópolis de Goiás e Hidrolândia (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC).



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

A Saneamento de Goiás (SANEAGO) anunciou em 2019<sup>1</sup> a contratação de um estudo hidrológico para seleção de futuros mananciais que venham a suprir às demandas da população da RMG e ainda do município de Anápolis. Esse planejamento de décadas à frente considera o fato de que o sistema de reservação mais recentemente projetado para atender à RMG possui horizonte de atendimento apenas até o ano de 2025 (PASQUALETTO et al., 2005).

Além de ser o manancial que já abastece parte do município de Anápolis, o rio Caldas é o principal curso d'água cotado para abastecimento da RMG em caso de aumento nas

<sup>1</sup> Divulgado em jornais da região, como O Popular, e em revistas da área ambiental, como a Revista TAE.

demandas ou de deterioração da qualidade das águas dos atuais mananciais de abastecimento público da região, o que é justificado por sua alta vazão e proximidade da capital (PASQUALETTO et al., 2005; BARROS; MENEZES, 2010; SILVA NETO et al., 2015).

A BHRC tem sofrido modificações crescentes no tempo, assim como ocorre nas demais regiões do Cerrado brasileiro. Alguns estudos recentes apontaram grande percentual de áreas utilizadas com pastagem nessa bacia, sendo mais de 40% da área (SANTOS et al., 2019; SOUSA; OLIVEIRA; MACHADO, 2019), o que pode impulsionar o aumento nos índices de fragmentação e de perdas de solo, além de afetar a fauna e a disponibilidade de recursos ambientais para as atividades humanas.

Quanto à situação ambiental da BHRC, a SANEAGO (2019, p. 2) afirma que essa região se encontra “consideravelmente antropizada, com sinais de degradação do solo e da vegetação ciliar, principalmente próximo as nascentes”.

A despeito disso, não são muitos os estudos que se dedicam a analisar os impactos já existentes na bacia hidrográfica do rio Caldas e a propor cenários para a conservação da região, semelhantes a pesquisas que ocorrem em regiões próximas. Na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite, que faz limite com a BHRC e possui um manancial que abastece a população da RMG, estudos de impactos ambientais perpassam a redução de vegetação nativa, perda de solos e degradação dos recursos naturais, verificadas em Santos, Griebeler e Oliveira (2010), Oliveira e Ferreira (2015) e Silva et al. (2017).

No contexto de análise integrada da paisagem, a Geoecologia de Paisagens se apresenta como um modelo teórico e metodológico adequado para o planejamento ambiental da paisagem em bacias hidrográficas (RODRIGUEZ; SILVA, 2013), visto que integra o estudo de aspectos ecológicos, geográficos e antrópicos.

Por meio das etapas de Organização e Inventário, Análise, Diagnóstico, Projeção e Execução, a Geoecologia das Paisagens se propõe a caracterizar as paisagens de modo integrado, identificar os principais impactos atuantes, projetar cenários de ordenamento do uso dos sistemas ambientais e viabilizar a execução do planejamento (RODRIGUEZ; SILVA, 2013).

Especialmente na fase de projeção de cenários, a política ambiental (materializada na forma de legislações) é um importante instrumento para a promoção do correto disciplinamento do uso do solo e para o auxílio na seleção de áreas prioritárias a serem conservadas.

No contexto da BHRC, a hipótese levantada neste trabalho é que mesmo diante das transformações do uso do solo ocorridas nas últimas décadas, ainda existem áreas

remanescentes nesta bacia que abrigam um maior potencial de conservação da biodiversidade, dos solos e dos recursos hídricos e, devido a isso, necessitam de estratégias de proteção mais específicas.

Portanto, esse trabalho tem o objetivo de propor áreas prioritárias para a conservação ambiental das paisagens da BHRC, sob abordagem geocológica, com vistas à mitigação dos processos de fragmentação da vegetação nativa e de perda de solos.

São considerados objetivos específicos:

- Caracterizar os componentes socioambientais da BHRC;
- Compartimentar e caracterizar as unidades geocológicas;
- Diagnosticar a dinâmica do uso e cobertura do solo, de fragmentação da vegetação nativa e da vulnerabilidade às perdas de solo;
- Propor áreas prioritárias para conservação ambiental da paisagem.

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho foi estruturado em quatro capítulos.

O “CAPÍTULO I. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA” apresenta o embasamento teórico e metodológico utilizado no trabalho, referente às abordagens da Geocologia das Paisagens, das unidades geocológicas e impactos ambientais, do planejamento e conservação da paisagem em bacias hidrográficas e das bases metodológicas para o planejamento da paisagem na BHRC.

O “CAPÍTULO II. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS E COMPARTIMENTAÇÃO DE UNIDADES GEOECOLÓGICAS” apresenta as fases de Organização e Inventário e de Análise, com a caracterização dos principais aspectos socioambientais observados na BHRC e a compartimentação e caracterização das unidades geocológicas da bacia.

O “CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NAS UNIDADES GEOECOLÓGICAS DA BHRC: FRAGMENTAÇÃO E PERDAS DE SOLO” apresenta a fase de Diagnóstico, com os mapeamentos e análises da dinâmica de uso do solo, da fragmentação da paisagem e da vulnerabilidade erosiva entre os anos de 1988, 2000 e 2018.

O “CAPÍTULO IV. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DA BHRC” apresenta a fase de Projeção, com a proposição de áreas para conservação ambiental da BHRC, baseada nos resultados da Análise e Diagnóstico e em critérios gerais de conservação.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA**

Este capítulo expõe as principais abordagens teóricas e metodológicas englobadas no trabalho, apresentando: o histórico e as características das principais abordagens da Ecologia e Geoecologia das Paisagens; os conceitos referentes às unidades da paisagem e aos impactos ambientais provenientes de suas transformações; os fundamentos conceituais do planejamento das paisagens, da bacia hidrográfica como objeto de estudo e dos principais modos de prevenção e mitigação dos impactos ambientais por meio da conservação da paisagem; e os principais métodos e instrumentos utilizados na caracterização, análise e planejamento das paisagens.

### **1.1. Bases teóricas da Geoecologia das Paisagens**

O mundo em que vivemos é repleto de paisagens. O termo paisagem (do inglês, *landscape*), em sua definição etimológica, remete a algo: que pode ser uma cobertura, que pode ser descrito, que pode ser reunido em conjuntos ou classificado, ou que é passível de mudanças ou alterações (MARTINS et al., 2004a).

Historicamente, pode-se dizer que o processo de transformação de paisagens não é recente, apesar de ter ocupado uma escala cada vez maior com o passar dos anos e atingido, hoje em dia, uma posição sem precedentes na História no que diz respeito ao potencial e à dinâmica das alterações de sua cobertura (OLIVEIRA; MONTEZUMA, 2010).

Por sua relevância, as paisagens começaram a serem representadas e estudadas. Inicialmente, foram os artistas que as utilizaram em suas representações, abordando seu aspecto visual, por volta do século XV. Algum tempo depois, no século XIX, a paisagem passou a ser percebida como uma forma de estudo do espaço geográfico e, desde então, algumas linhas de pesquisa foram desenvolvidas nesse estudo, sendo que cada uma delas tratou de estabelecer suas definições, conceitos e métodos (MAXIMIANO, 2004).

O estudo da paisagem apresentou perspectivas distintas nas regiões em que foi-se desenvolvendo sua definição. Autores como Teixeira, Silva e Farias (2017) e Moura e Simões (2010), analisaram a evolução do estudo da ecologia de paisagem e sugerem que há uma relação entre as abordagens de paisagem e as nacionalidades dos pesquisadores que fizeram parte da história do conceito. Segundo os autores, os alemães - representados principalmente por geógrafos e tendo como referências os nomes de Humboldt, Ratzel, Richtofen, Passarge e Carl Troll – deram enfoque às interações do ser humano com a paisagem, com visão mais humanista.

Por sua vez, os russos - também majoritariamente geógrafos, com os principais nomes de Dokoutchaev, Berg e Sotchava – decidiram por uma abordagem que atinge um campo mais relacionado à geografia física e às interações entre fatores físicos na paisagem, cabendo a exceção de Sotchava, que propõe um conceito sistêmico e interdisciplinar (MOURA; SIMÕES, 2010; TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017).

Os norte-americanos, grupo formado principalmente por biólogos e ecólogos, adotaram uma abordagem com maior ênfase nos processos ecossistêmicos. Por fim, por volta da década de 1960 e 1970, os países latinos receberam uma grande influência do geógrafo francês Georges Bertrand, seguidor do russo Sotchava, que disseminou o estudo da paisagem sob a perspectiva geossistêmica (MOURA; SIMÕES, 2010; TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017).

A paisagem como objeto de estudo perpassou pelos conceitos e saberes de pesquisadores como: Ratzel (fim do século XIX), com ideias sobre a natureza e suas relações causais; Dokoutchaev, que identificou as estruturas naturais com a definição de Complexo Natural Territorial; Carl Sauer (1925), que propôs o conceito de paisagens culturais e abordou o aspecto dinâmico da paisagem, entendendo que esta possui uma forma, estrutura, funcionamento e posição; Carl Troll (1930), com a elaboração da ecologia da paisagem, integrando a abordagem geográfica e a ecologia, mais tarde conhecida como geoecologia de paisagens; e Sotchava (década de 1960), com a formulação da classificação de paisagens como geossistemas (MAXIMIANO, 2004).

Metzger (2001) faz uma definição das duas abordagens principais utilizadas na ecologia da paisagem: a abordagem geográfica, que abrange as ciências sociais, a geografia física e as ciências biológicas e é voltada para a compreensão e gestão do território; e a abordagem ecológica, que se interessa primordialmente pela conservação de biodiversidade e a gestão de recursos naturais.

Apesar de ter sido categorizada sob as abordagens de diversas áreas de estudo e disciplinas (principalmente as abordagens ecológica e geográfica) entende-se ser mais coerente conceituar a ecologia de paisagem sob um ponto de vista interdisciplinar do que como uma disciplina separada ou um ramo da ecologia, evitando a disputa entre áreas de pesquisa sobre quem é a “detentora” dos saberes referentes à paisagem (RISSER; KARR; FORMAN, 1984).

Nesse sentido, em 1983, um grupo de pesquisadores de áreas diversas (biologia, geologia e estudos ambientais) se reuniu em uma tentativa de compilar os termos e questões mais relevantes para a “*landscape ecology*” (ecologia de paisagens). Como resultado deste encontro, foi gerado um documento conjunto explicitando algumas abordagens e direções

consideradas relevantes, entendendo-se que o enfoque da ecologia de paisagem deve ser “a) a heterogeneidade espacial, b) os fluxos de distribuição entre os elementos de paisagem, e c) as ações humanas como respostas às influências recíprocas sobre os processos ecológicos” (RISSER; KARR; FORMAN, 1984, p. 7).

Lang e Blaschke (2009) sintetizam que os três fundamentos básicos para uma análise baseada em ecologia de paisagens são a estrutura, função e mudança. A estrutura vertical é entendida como aquela formada pela atuação simultânea dos vários elementos da paisagem sobre uma unidade espacial, formando compartimentos homogêneos; já a estrutura horizontal correspondente ao padrão de ordenamento das unidades homogêneas.

Metzger (2001) define a paisagem como um mosaico composto por manchas homogêneas (grandes ou pequenas), corredores e uma matriz, propondo os seguintes conceitos: mancha (ou fragmento) é uma área homogênea (dependente da escala), diferente das áreas vizinhas e com extensão espacial reduzida e não-linear; corredor é uma área homogênea que possui extensão espacial linear; matriz é a unidade que recobre a maioria da área da paisagem ou que possui maior conexão que as outras áreas; e *stepping stones* – também conhecidos como pontos de ligação ou trampolins ecológicos – são pequenas manchas de habitat espaçadas na matriz, sem contato direto com outros fragmentos.

O conceito de paisagem envolvendo mosaicos que interagem entre si também é utilizado por outros autores. Para Forman (1995), a paisagem (*landscape*) pode ser definida como um mosaico que abrange um grupo de ecossistemas locais cujos padrões se repetem de maneira semelhante, em uma área extensa (mais de quilômetros).

Maximiano (2004) entende que a paisagem envolve tanto elementos naturais quanto interações humanas em um espaço, sendo que estes se organizam de forma dinâmica e dependente do tempo e do espaço e, de acordo com o observador, a organização de paisagem será mais detalhada ou mais ampla, enfatizando a importância da escala nos estudos de paisagem. Além da dependência de uma escala de observação, Metzger (2001) considera como características fundamentais da paisagem a heterogeneidade, a interação entre unidades de paisagem e a dependência de um observador.

Tratando das paisagens como objeto de estudo, a análise que consiste em interpretar a realidade a partir de termos e conceitos utilizados por várias ciências é denominada análise sistêmica e visa à agregação das ferramentas de várias disciplinas para gerar um produto comum que é o estudo da realidade de modo integrado (RODRIGUEZ; SILVA, 2013).

A análise sistêmica surgiu por volta da década de 1950, quando o pesquisador austríaco Ludwig von Bertalanffy sistematizou a existência de uma interação complexa entre as várias áreas do conhecimento, denominando os “conjuntos de elementos em interação” como “sistemas” (LIMBERGER, 2006). Bertalanffy sugeriu a existência de uma categoria singular de sistemas abertos e organizados de acordo com hierarquias, à qual denominou geossistemas (BERTALANFFY, 1973, *apud* Sotchava, 1977), conceito posteriormente utilizado e estudado por Sotchava.

Para Sotchava (1977), os geossistemas são fenômenos naturais dinâmicos e em transformação, situados em um espaço terrestre definido, e influenciados (de forma episódica ou contínua) por fatores econômicos e sociais. Em comparação com os ecossistemas, o autor afirma que os geossistemas também integram os complexos biológicos, porém sua organização sistêmica é mais complicada, o que se deve ao fato de englobarem os próprios ecossistemas como componentes de análise.

O geossistema é um sistema complexo e dinâmico que engloba a combinação entre a geomorfologia, o clima e a hidrologia, como potencial ecológico; o solo, a vegetação e a fauna, como potencial biológico; e a ação antrópica (CHRISTOFOLETTI, 1999). Os sistemas complexos são caracterizados por apresentarem uma variedade de componentes atuantes, trocadores de informações com o meio do entorno e cuja estrutura interna é adaptável a alterações (LIMBERGER, 2006), ou seja, são sistemas capazes de estabelecer sua própria organização, sem se esgotar totalmente (RODRIGUEZ; SILVA, 2013).

Devido à grande complexidade dos geossistemas, Sotchava (1977) entende que para seu estudo é necessário realizar um desmembramento entre os sistemas que os compõem para, posteriormente, integrá-los à análise.

Compreendendo a complexidade dos sistemas ambientais e utilizando as bases teóricas geossistêmicas, a Geoecologia das Paisagens se apresenta como uma metodologia que contribui para a compreensão dos aspectos naturais, socioeconômicos e culturais que envolvem as inter-relações entre a sociedade humana e a natureza, bem como a transformação das paisagens por meio dessas interações (TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017) e vai além da proposição metodológica e teórica proposta pela Ecologia da Paisagem.

Rodriguez, Silva e Leal (2011) afirmam que a abordagem geoecológica das paisagens utiliza como fundamentos três momentos básicos: a) o modo de formação e ordenamento da natureza sobre a superfície da Terra, b) a imposição de atividades humanas, de acordo com

lógicas humanas, e c) a concepção da natureza pelo ser humano, que perpassa seus sistemas de representação, imagens, identidades e cultura.

Teixeira, Silva e Farias (2017, p. 156) apontam que a Geoecologia de Paisagens inicia com uma etapa de “análise integrada das condições ambientais, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas, hidrológicas e fitogeográficas, bem como socioeconômicas” para, então, proceder com o diagnóstico dos modos de utilização da paisagem, suas limitações e potencialidades e problemas ambientais.

Portanto, conforme será exposto nos itens seguintes, a geoecologia das paisagens se apresenta como uma base teórica e metodológica útil para a caracterização da paisagem, de modo a possibilitar a análise integrada dos impactos ambientais resultantes das ações humanas sobre as unidades homogêneas da paisagem.

## **1.2. Unidades geoecológicas e impactos ambientais**

Bertrand (2004, p. 146) define que a paisagem é composta por porções do espaço que resultam de uma associação local e singular de aspectos naturais, como “sistema de declive, clima, rocha, manto de decomposição e hidrologia das vertentes”, e de uma dinâmica comum, ou seja, “mesma geomorfogênese, pedogênese idêntica, mesma degradação antrópica da vegetação”. Essas porções homogêneas são denominadas unidades de paisagem.

Também conhecidas como unidades geoecológicas, as unidades de paisagem normalmente se originam de processos semelhantes de degradação erosiva do relevo, de penetração da umidade nas rochas e em decorrência das atividades ecológicas de comunidades vegetais e faunísticas; essas unidades são homogêneas, interdependentes, e se relacionam entre si (RODRIGUEZ, 2008).

Em outras palavras, Lang e Blaschke (2009) afirmam que a estrutura da paisagem é formada por compartimentos, sendo esses os sistemas que compõem a estrutura da paisagem, tais como o relevo, a água, a fauna e flora.

Maximiano (2004) aborda a possibilidade de identificação dessas unidades de paisagem por meio do estabelecimento de parâmetros e de classificação de acordo com o nível de escala dos estudos. No estudo de paisagens a noção de escala é essencial, visto que os geossistemas são unidades geográficas que abrangem um espaço entre alguns km<sup>2</sup> e algumas centenas de km<sup>2</sup>, e é nesta escala que os fenômenos que interferem os elementos da paisagem se situam (BERTRAND, 2004).

Rodriguez (2008) afirma que as unidades de paisagem podem ser classificadas quanto à escala de análise em unidades regionais (que abrangem desde os continentes às grandes regiões geográficas) e unidades locais (de menores dimensões e se originam da interação entre fatores internos dos geossistemas).

Amorim (2016) entende que o mapeamento da paisagem dá apoio ao planejamento regional, pois facilita a compreensão da dinâmica e das sensibilidades naturais da paisagem, bem como pode auxiliar na mitigação de impactos ambientais advindos da transformação das terras.

Tendo em vista que o meio natural – já apresentado como dinâmico e complexo – sofre alterações decorrentes das ações humanas, entende-se que não é ideal que as análises da paisagem sejam limitadas às caracterizações fisiográficas, mas que também englobem o estudo de como as ações humanas interferem nas dinâmicas naturais (TRICART, 1977).

As ações humanas são elementos geradores de fortes modificações e alterações na estrutura da paisagem, sendo as formas de uso do solo a própria expressão da influência espacial humana (LANG; BLASCHKE, 2009).

A região abrangida pelo bioma Cerrado – na qual se situa a área de estudo deste trabalho – teve sua paisagem natural transformada em amplos campos de cultivo de soja e em pastagens, caracterizados por se tratar de um tipo de agropecuária intensiva, em larga escala, mecanizada, tecnológica e focada no capital (KLINK; MOREIRA, 2002).

Klink e Moreira (2002) assumem que no Cerrado os processos de expansões horizontais agrícolas levaram à transformação do uso do solo em larga escala, à degradação da diversidade biológica e de seus habitats, e a distúrbios nos ecossistemas naturais. Segundo os autores, a intensificação das atividades pecuárias pode impulsionar ainda a degradação dos solos, a poluição hídrica e a contaminação química.

Entre os impactos ambientais decorrentes das alterações nos sistemas geocológicos, encontra-se a fragmentação. Segundo Forman (1995), a fragmentação é um dos processos de transformação da superfície terrestre, definido como o “desmembramento de um habitat, ecossistema ou tipo de uso da terra em feições menores”.

A fragmentação também pode ser caracterizada como o processo de divisão de um habitat contínuo em fragmentos ou manchas isoladas, resultando como consequências ambientais o isolamento de porções de vegetação semelhantes, as influências da matriz, a diminuição de área de habitat favorável e o efeito de borda (MMA, 2003).

Fahrig (2003) define que a fragmentação pode ocasionar quatro tipos de efeitos nos padrões espaciais ocupados pela biodiversidade, sendo: a) redução da área de habitat, b) aumento no número de manchas de habitat, c) redução no tamanho das manchas de habitat, e d) aumento no isolamento das manchas.

Bennett e Saunders (2010) afirmam que algumas características da fragmentação incluem: a) redução na área total dos fragmentos; b) redução do tamanho de muitos fragmentos, com predominância de fragmentos pequenos; c) aumento no isolamento dos fragmentos similares; d) alteração no formato dos fragmentos, que passam a possuir bordas mais retilíneas, em comparação com os formatos curvilíneos naturais, como os de rios.

Portanto, a fragmentação deve ser analisada em conjunto com outros processos espaciais, sendo a perda de habitat e o isolamento os processos mais abrangentes (FORMAN, 1995).

Dos efeitos da fragmentação, resultam consequências ambientais como o efeito de borda, a perda de áreas de habitat e as interferências da matriz circundante. O chamado efeito de borda pode ser definido como as alterações abióticas (microclimáticas) e bióticas (fruto da dinâmica ecossistêmica) causadas pelas condições diferentes do habitat original que ocorrem nos limites da borda do fragmento (MMA, 2003).

Os estudos sobre o efeito de borda historicamente se originaram nos ambientes florestais, sendo o bioma Amazônico o berço do maior experimento em área e tempo de duração (desde 1979), estudado por autores como Laurance et al. (2002). Segundo os autores, algumas conclusões quanto à fragmentação em ambientes florestais são: a riqueza de espécies está correlacionada ao tamanho e à perturbação dos fragmentos, sendo maior nas maiores manchas e em ambientes de floresta intacta; os efeitos de borda e de extinções de espécies se manifestam mais rapidamente em fragmentos com áreas pequenas (até 100ha); e alguns processos fundamentais como as lacunas existentes nos dosséis florestais, a predação e o armazenamento de carbono poderão ser interrompidos ou alterados.

Já as fitofisionomias savânicas e campestres, cujo dossel é espaçado e naturalmente sujeito aos efeitos do vento e da incidência solar, foram contempladas mais recentemente por trabalhos semelhantes, em menores escalas. Estudos como o de Dodonov, Harper e Silva-Matos (2013) e Dodonov et al. (2019), que observaram alterações na estrutura e composição da vegetação existente nas bordas de fragmentos de cerrado, divergem dos resultados de autores como Mendonça et al. (2015) e Siqueira (2016), que não verificaram alterações significativas

entre a área core e a área de borda quando consideradas variáveis bióticas, abióticas e microclimáticas.

Outros estudos indicam que o efeito de borda nas fitofisionomias savânicas e campestres apresentam características como: representatividade de indivíduos arbóreos com dispersão zoocórica (realizada por animais) maior no interior dos fragmentos, em comparação com a área de borda; consequente redução da visitação de animais dispersores de sementes nas áreas de borda; proliferação de gramíneas exóticas invasoras, que passam a ser consideradas abundantes e conflitantes com as gramíneas nativas no fragmento (VIDAL et al., 2007; JARDIM; BATALHA, 2009; DODONOV; HARPER; SILVA-MATOS, 2013).

Ainda que não exista consenso no meio científico e pesquisas conclusivas quanto à expressividade do efeito de borda nas regiões típicas de Cerrado (AQUINO; MIRANDA, 2008), entende-se que as formações vegetacionais desse bioma não se encontram imunes a este impacto da fragmentação, podendo ser mais seguro considerar o efeito de borda no planejamento dessas paisagens do que subestimar suas consequências. Quanto à área de habitat disponível, determinada pela dimensão espacial dos fragmentos, sabe-se que paisagens com manchas menores geralmente são constituídas de apenas uma subcategoria das espécies encontradas nas paisagens com maiores áreas de habitat (FAHRIG, 2003).

A medida da ausência de áreas com vegetação nativa na paisagem do entorno de determinada mancha, denominada isolamento (FAHRIG, 2003), está fortemente relacionada aos tipos de atividades que formam a matriz da paisagem. Os fragmentos são altamente influenciados pela matriz que os circundam, o que afeta sua conectividade, a intensidade dos efeitos de borda, as invasões de espécies exóticas e a intensidade de distúrbios como tempestades e queimadas (LAURANCE et al., 2002).

Cabe destacar que nem sempre a existência de uma matriz antropizada será uma barreira à movimentação da fauna entre os fragmentos. Laurance et al. (2002) afirmam que alguns indivíduos (principalmente os que habitam as florestas) evitam as clareiras existentes na matriz; já outros conseguem transpor pequenas áreas de clareiras e evitam as áreas mais extensas.

Além da vegetação e da diversidade animal e vegetal, os solos também são impactados pelas transformações nos sistemas ambientais. Para Queiroz Neto (2011), o solo pode ser visto como o fator central das relações dinâmicas que ocorrem entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, de modo que sua utilização pode o degradar a ponto de não poder retornar ao seu estado anterior, provocando alterações consideráveis na dinâmica e comportamento da

paisagem. Os efeitos da degradação das terras devem ser analisados considerando os aspectos físicos (solos, relevo e clima) e os aspectos antrópicos (BEZERRA, 2013).

Sabe-se que as erosões são processos naturais que são intensificados pelas atividades humanas. Alguns solos apresentam maior suscetibilidade natural à erosão devido a sua natureza e composição, o que muitas vezes os tornam erodíveis quando expostos como primeira camada de solo, possibilitando o desenvolvimento de erosões superficiais (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Lima et al. (2017) compreendem as erosões hídricas superficiais como procedentes do escoamento da água sobre a superfície do solo. Esse tipo de erosão ocorre quando as gotas de chuva atingem o solo, destacando as partículas daquela superfície e, devido à força da água sobre o solo, desenvolve o carregamento de partículas e agregados; em ordem de progressão, as erosões tendem a iniciar com a erosão laminar, evoluindo para sulcos, ravinas e voçorocas.

A erosão laminar é resultante do escoamento da água que não consegue infiltrar devido a fatores interferentes como a intensidade da chuva, a proximidade do lençol freático, o nível de compactação e de porosidade do solo, a topografia e os tipos de cobertura de vegetação (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Considerada de difícil observação, a erosão laminar ocorre em longo período com a supressão da camada superficial de solo na extensão da vertente (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006). Apesar disso, os impactos experimentados se devem principalmente à perda e carreamento das partículas de solos e de nutrientes, motivo de estudos que relacionam as perdas de solo com custos financeiros e consideram a importância da adoção de práticas de conservação no meio agrícola, conforme observados por Dechen et al. (2015); Silva et al. (2020).

As principais consequências das erosões laminares são verificadas nas zonas rurais, como redução de nutrientes no solo, desestabilização de plantios, assoreamento de cursos d'água e de reservatórios de abastecimento (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006). Em geral, as maiores taxas de erosão do solo no Brasil ocorrem em áreas desmatadas sem a utilização de medidas de conservação (GUERRA et al., 2014), o que corrobora a influência da intensificação antrópica da erosão.

Os impactos ambientais, sociais e econômicos ocasionados pelas erosões laminares são ainda mais acentuados nas regiões tropicais devido às características de intemperização, erodibilidade dos solos e ao regime de chuvas torrencial, elas assumem grande relevância para

avaliação para fins de mitigação desses impactos com adoção de planejamento ambiental e o uso de técnicas de manejo apropriadas (LIMA et al., 2017).

Portanto, entendendo que os impactos ambientais supracitados impõem pressões às unidades geológicas, que reagem de modo singular, a compartimentação dessas unidades torna-se útil para análise hierarquizada de riscos e avaliação para mitigação dos impactos por meio da conservação das paisagens, conforme será abordado no item que segue.

### **1.3. Planejamento da conservação das paisagens em bacias hidrográficas**

O planejamento ambiental busca definir maneiras de se alcançar a estabilidade ambiental ou viabilizar as atividades de transformação em curso ou previstas para uma região, sem comprometer os potenciais e limites do meio natural, a fim de proporcionar qualidade de vida (CAVALCANTI, 2011). Por sua vez, a conservação ambiental é compreendida como a manutenção de boas condições – ou do equilíbrio – dos sistemas ambientais que participam do ambiente – ecossistemas, comunidades e espécies (PINHEIRO; KURY, 2008).

O planejamento da paisagem é uma proposta teórica e metodológica que propõe a organização espacial da paisagem baseada na conservação e sustentabilidade ambiental, tomando a paisagem natural como ponto inicial de partida (RODRIGUEZ; SILVA, 2013).

Margules e Pressey (2000) estabeleceram as bases mais utilizadas no chamado Planejamento Sistemático da Conservação (PSC), originário da biologia da conservação e que se baseia no conhecimento das espécies e comunidades que habitam determinadas paisagens. Com a ampliação dos bancos de dados ambientais ao longo dos últimos anos, o escopo dos estudos de PSC se tornou mais vasto e suas aplicações mais abrangentes (RIBEIRO; ATADEU, 2019), como a seleção de áreas para conservação a partir de questões ambientais integradas e complexas, sendo o trabalho de Cavalcante et al., (2020) um exemplo recente dessa aplicação.

No Brasil, o termo “áreas prioritárias para conservação da biodiversidade” como instrumentos de política pública geralmente é vinculado à Convenção da Diversidade Biológica (CDB), sugeridas no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO. Após seu mapeamento e seleção a partir de critérios biológicos e ecológicos, há possibilidade de serem instituídas como unidades de conservação (UCs) ou como áreas para pesquisa, inventário, recuperação de áreas degradadas e de espécies e repartição de benefícios da biodiversidade (BRASIL, 2004).

Por outro lado, partindo de análises mais integradas – que melhor atende a este trabalho, pelas particularidades de planejamento da BHRC – as áreas para conservação denominadas

UCs são diretamente instituídas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei nº 9.985/2000) e estabelecem objetivos que abrangem não apenas a preservação da biodiversidade, mas também a restauração dos ecossistemas naturais e dos degradados, o desenvolvimento sustentável, a beleza cênica, a diversidade geológica e geomorfológica, os recursos hídricos e edáficos, o monitoramento ambiental, o turismo ecológico e as populações tradicionais (BRASIL, 2000).

Em geral, para otimizar a eficácia do planejamento da paisagem, faz-se necessário “conhecer e entender as limitações, por meio de diagnósticos, potencialidades naturais do território, características físicas, naturais e as intervenções humanas nesse ambiente” (TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017, p. 151).

Uma forma de propor esse conhecimento é utilizar a bacia hidrográfica como objeto de estudo, permitindo que a bacia seja analisada como um todo e entendendo que as interações entre os fatores naturais e socioeconômicos existentes neste mosaico são complexas (RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2011).

As bacias hidrográficas são instituídas pela Lei nº 9.433/1997 como unidades territoriais de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Segundo Pires, Santos e Del Prette (2002), a utilização da bacia hidrográfica no contexto de conservação ambiental possibilita a avaliação do potencial de desenvolvimento de uma região, bem como de sua produtividade biológica, com o objetivo de estabelecer a melhor maneira de aproveitamento destes e a minimização dos impactos ambientais.

No contexto de bacias hidrográficas, é importante considerar o que preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos, em algumas de suas diretrizes gerais, quanto à integração da gestão dos recursos hídricos à gestão de outros aspectos:

II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País; III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo (BRASIL, 1997).

Rodriguez, Silva e Leal (2011, p. 36) defendem “a concepção geocológica como o enfoque preferencial para ser implementado no planejamento ambiental das bacias hidrográficas”. Em suma, o planejamento ambiental com base geocológica tem como intuito

principal a busca do equilíbrio entre a estabilidade natural das paisagens e a racionalidade de seu uso (RODRIGUEZ; SILVA, 2013)

Em resposta aos principais impactos ambientais explanados no item 1.2 – referentes a fragmentação e erosões laminares – observa-se a relevância dos estudos de planejamento da paisagem que levem em conta o equilíbrio entre seus sistemas e fluxos de interação.

Conforme Tricart (1977), os sistemas ambientais possuem dois níveis de equilíbrio opostos entre si, e uma transição entre um e outro: os meios estáveis, que possuem cobertura vegetal suficiente para conter impactos, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas; e os meios fortemente instáveis, que apresentam características como regime climático irregular, dissecação expressiva e solos rasos.

No Brasil, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) afirma que a recuperação da vegetação florestal pode permitir que os processos ecológicos sejam restabelecidos e os fragmentos reconectados, contribuindo para a conservação da biodiversidade, a mitigação e adaptação às mudanças climáticas e a melhoria na qualidade e quantidade de água (MMA, 2017).

O aumento da conectividade entre os fragmentos deve ser preconizado para contornar os efeitos da fragmentação, sendo a conectividade definida como resultante da relação entre a estrutura da paisagem (meio físico) e os processos dinâmicos que ocorrem na mesma (FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007).

Calabrese e Fagan (2004) apontam que a conectividade pode ser classificada em três tipos, referentes aos objetos de estudo: a) estrutural: baseada em atributos físicos da paisagem, como tamanho, forma e localização; b) potencial: baseada na combinação dos atributos físicos com a possibilidade de dispersão das espécies na paisagem; e c) atual: relacionada à real observação da dispersão das espécies na paisagem.

Forero-Medina e Vieira (2007) enfocam a importância de que se dê atenção tanto à conectividade estrutural (relações físicas entre os fragmentos) quanto à conectividade funcional (respostas dos organismos às distâncias entre fragmentos). Em outras palavras, “a conectividade depende da proximidade dos elementos de habitat, da densidade de corredores ecológicos e ‘stepping stones’, e da permeabilidade da matriz” (METZGER, 2001, p.7).

Villard e Metzger (2014) afirmam que apesar dos danos gerais da fragmentação, um número significativo de espécies é tolerante às mudanças na configuração da paisagem e conseguem sobreviver em paisagens fragmentadas. Os autores entendem que esse cenário positivo é estimulado quando empregado o planejamento da composição e configuração da

matriz por meio de métodos que facilitam a conectividade, como a criação de *stepping stones* e de corredores ecológicos e a melhoria da permeabilidade da matriz.

Quanto à conservação do solo, é consensual entre pesquisadores como Camapum de Carvalho et al. (2006), Libânio (2010) e Verdum, Vieira e Caneppele (2016), que as áreas com vegetação nativa possibilitam a redução do impacto das gotas de chuva sobre os solos e funcionam como barreiras para redução da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, das perdas de solo.

A cobertura vegetal atua de duas formas principais para mitigação da erosão hídrica: interceptando a água da chuva e fornecendo à superfície do solo resíduos de matéria vegetal que proporcionam o amortecimento da energia da precipitação (TRICART, 1977). Devido a isso, a vegetação é amplamente utilizada como método de conservação, recuperação de solos degradados e prevenção de erosão, sendo empregada como barreiras vivas (ex. cordões de vegetação permanentes) e em áreas de infiltração (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006; VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016).

Hackbart (2016) afirma que há uma dependência direta entre o percentual de cobertura florestal e sete tipos de serviços ecossistêmicos: pesca, água para uso humano, agricultura, potabilidade da água, controle de doenças, recreação e controle de erosão. Portanto, a presença de áreas com vegetação nativa em uma bacia hidrográfica é capaz de reduzir os impactos da erosão e, conseqüentemente, do assoreamento de corpos d'água, de modo que minimiza o carregamento de sedimentos, partículas e microrganismos aos corpos d'água (LIBÂNIO, 2010).

Mendonça e Marques (2011), ao analisarem os tipos de uso do solo e a qualidade da água em manancial de captação para abastecimento público, concluíram que as áreas com maior potencial de degradação devido aos tipos de uso se relacionam com as amostras de água com menor qualidade.

Quanto à conservação do solo, algumas iniciativas de conservação no Brasil foram listadas por Guerra et al. (2014), também relacionadas às manchas de vegetação, sendo: aumentar a extensão e densidade de cobertura vegetal; utilizar boas práticas de manejo dos solos; reflorestar e proteger a vegetação ciliar e os solos erodíveis; e manter vegetação excedente às bordas das áreas agrícolas. Percebe-se, portanto, que a conservação dos solos e da vegetação natural ocorre de forma relacionada.

Um estudo realizado pela organização internacional *World Resources Institute* aposta na utilização de infraestruturas naturais – ecossistemas manejados, restaurados ou conservados – como auxílio aos sistemas de abastecimento hídrico, considerando que estes ecossistemas são

fontes de serviços ambientais como “controle e filtragem de sedimentos, melhoria no fluxo hídrico, mitigação de risco de inundações e revitalização do meio rural” (FELTRAN-BARBIERI et al., 2018).

Ressalta-se que as ações de influência do ser humano sobre as paisagens naturais partem de decisão humana. Em outras palavras, “o homem conforma o seu habitat sob responsabilidade própria, não sendo comandado por instintos” (LANG; BLASCHKE, 2009, p. 108), entendendo que as decisões relacionadas à conservação ambiental devem passar pela mediação do Poder Público (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002) e as legislações ambientais vigentes estão entre os principais instrumentos utilizados para controle dos recursos naturais de uma região.

No Brasil, existem áreas sob proteção ambiental em todas as unidades federativas, sendo as duas principais legislações protecionistas o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e o SNUC (Lei nº 9.985/2000). O Código Florestal determina a obrigatoriedade de proteção de uma porção das áreas públicas e privadas em todo o território brasileiro, estabelecendo meios de controle como as Áreas Verdes Urbanas, Áreas de Uso Restrito e Áreas de Apicuns e Salgados, além das Áreas de Preservação Permanente (APP) e as Reservas Legais (RL).

Já o SNUC regulamenta a seleção de áreas “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, 2000). Essas áreas podem ser mais voltadas para a preservação dos ambientes naturais (UC de Proteção Integral) ou para o disciplinamento do desenvolvimento sustentável na região (UC de Uso Sustentável).

O Código Florestal e o SNUC recomendam que as áreas sejam alocadas de maneira a permitir sua conectividade, indicando a implantação, sempre que for conveniente, de corredores ecológicos definidos como “porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies” (BRASIL, 2000). Para a localização das áreas de RL deve-se levar em consideração a possibilidade de formarem corredores ecológicos com UCs, APP ou outra RL (BRASIL, 2012).

Com base no Código Florestal, as RL podem ser compensadas em locais definidos como “áreas prioritárias”, reconhecidas pela União ou pelos Estados e conceituadas como áreas que buscam “favorecer, entre outros, a recuperação de bacias hidrográficas excessivamente desmatadas, a criação de corredores ecológicos, a conservação de grandes áreas protegidas e a conservação ou recuperação de ecossistemas ou espécies ameaçados”. Apesar disso, grande

parte das áreas de APP e RL brasileiras sofrem com o não cumprimento de suas funções planejadas, resultado do desmatamento da vegetação nativa nesses locais e em seus entornos.

Para viabilizar o planejamento e conservação das paisagens, são utilizados instrumentos e métodos baseados em análises geocológicas e espaciais, cujas principais bases metodológicas são abordadas no próximo item.

#### **1.4. Bases metodológicas do planejamento da paisagem da BHRC**

A Geocologia das Paisagens é considerada uma base teórica e metodológica para planejamento da paisagem e com base nisso alguns autores descreveram padrões de etapas comuns aos planejamentos com base geocológica.

Cavalcanti et al (1997 apud RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2011) consideram etapas práticas que respondam a : a) identificação, delimitação e classificação das unidades espaciais que formam a bacia; b) estabelecimento de relações entre as paisagens naturais com as paisagens culturais e demais tipos de espaços; c) determinação dos potenciais dos serviços ecossistêmicos das distintas unidades da paisagem e da bacia como um todo; d) estabelecimento das funções socioecológicas; e) determinação dos problemas ambientais e do estado ambiental; f) esclarecimento dos fatores e motivos que levaram ao ordenamento ou à falta de ordem espacial e ambiental atuante; e g) indicação de propostas para disciplinar o ordenamento ambiental, espacial e territorial da bacia.

Por sua vez, Rodriguez e Silva (2013) resumem o processo metodológico do planejamento de paisagens em cinco fases (Figura 2), que serão utilizadas como base no trabalho neste trabalho devido a sua maior sintetização: 1. Fase de Organização e Inventário; 2. Fase de Análise; 3. Fase de Diagnóstico; 4. Fase de Projeção; 5. Fase de Execução.

Para todas as etapas e fases do planejamento de paisagens, é consensual que uma das ferramentas mais utilizadas e primordiais em análises e planejamentos que envolvem os processos ambientais sobre a superfície terrestre é o geoprocessamento (TROMBETA; LEAL, 2016; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Figura 2 – Fases da metodologia da Geoecologia de Paisagens para planejamento



Elaboração: A autora (SOUSA, 2021). Fonte: Rodriguez e Silva (2013).

Segundo Rosa (2005), o geoprocessamento é a ciência que se ocupa da coleta, processamento, análise e oferta de informações atreladas à superfície da Terra, fazendo uso de um sistema de coordenadas conhecido. Para isso, faz uso do sensoriamento remoto, uma técnica para captura de informações da superfície terrestre por meio de dados coletados por sensores remotos – sensores que não fazem contato direto com o objeto examinado.

Para o reconhecimento, a conservação, a transformação e a apresentação da informação georreferenciada – proveniente do sensoriamento remoto – foram desenvolvidos sistemas baseados em critérios técnicos e logarítmicos denominados Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que utilizam o enfoque sistêmico como base metodológica para obter e interpretar informações (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Os SIG são sistemas computacionais que processam dados espaciais georreferenciados por meio de uma interface visível para o usuário, permitindo a entrada, consulta, análise, visualização, plotagem, armazenamento e organização de dados espaciais, com a finalidade de mapear regiões, permitir a análise de fenômenos que ocorrem espacialmente e armazenar informações geográficas (DAVIS; CÂMARA, 2001).

Amorim (2016) afirma que com o desenvolvimento do geoprocessamento e, ainda, dos softwares de SIG, foi notório o aprimoramento da integração dos dados georreferenciados, que anteriormente eram analisados por meio de sobreposição de cartas temáticas.

Existem inúmeros Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que atendem a demandas de áreas como a geografia, agricultura, planejamento territorial e de recursos naturais. A essas

áreas, os SIG são úteis para coletar, processar, integrar e analisar dados espaciais, resultando em vantagens como a ampliação do conhecimento dos recursos naturais de uma região geográfica e o desenvolvimento de modelos dinâmicos para o planejamento, gestão e avaliação de estratégias (BOLFE; MATIAS; FERREIRA, 2008).

Em avaliação da paisagem na fase de Organização e Inventário devem ser delimitados os contextos do planejamento, a área de estudo e os inventários das características naturais da região, como a caracterização geocológica e as condições socioeconômicas e culturais; por sua vez, na fase de Análise se realiza o estudo sistêmico das propriedades das unidades de paisagem (naturais e socioambientais), bem como de sua estrutura, função, integração, qualidade e tendências de uso (RODRIGUEZ; SILVA, 2013). Nestas fases podem ser utilizadas as representações gráficas provenientes da cartografia (ou mapeamento) de paisagens por meio de SIG.

Segundo Chávez, Puebla e Trombeta (2019), os mapas podem ser utilizados para a delimitação, classificação e cartografia das unidades homogêneas da paisagem e apresentam grande importância para as análises espaciais.

Cavalcanti (2014) apresenta dois métodos de classificação cartográfica das unidades de paisagem: o de regionalização, que corresponde a paisagens específicas e que só existem naquele local; e o de tipologia, que é a identificação de tipos de paisagens com características semelhantes, mas não únicas, sendo possível que também sejam encontradas em outras regiões.

Abordando a tipologia como método de classificação, Braz et al. (2020) afirmam que por meio dela faz-se possível distinguir características dos geossistemas por meio de aspectos de repetição e de homogeneização, sendo esta uma metodologia de suma importância para o conhecimento das paisagens.

Cavalcanti (2014) afirma que dentro dos métodos de classificação, distinguem-se duas abordagens de identificação hierárquica das paisagens: a divisão lógica e o agrupamento. Segundo o autor, a primeira abordagem, também conhecida como *downscaling* ou *top-down*, se inicia com a delimitação das grandes unidades da paisagem e, em seguida, são definidas unidades menores a partir dos limites já pré-estabelecidos para as primeiras. Já a segunda (*upscaling* ou *bottom-up*) se inicia com a definição das menores unidades, para que depois estas sejam agrupadas conforme critérios especificados.

Alguns trabalhos que utilizaram como metodologia a cartografia das paisagens e seus respectivos aspectos temáticos para o mapeamento foram: Martins (2004), estudando as unidades de paisagem do Distrito Federal por meio da sobreposição de geologia, geomorfologia

e solos; Pedrosa e Souza (2014), analisando as unidades de paisagem no Cerrado do Triângulo Mineiro, com uso das tipologias de vegetação, macro-formas de relevo e uso do solo; Amorim (2016), mapeando a paisagem da Região Costa do Descobrimento (Bahia), com uso dos aspectos de geologia, solos, relevo, vegetação, clima, hidrografia, hipsometria e declividade; e Oliveira (2019), estudando a bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho (Goiás) com a sobreposição de litologia, precipitação, altitude, declividade e solos.

Dando sequência ao planejamento com base geoecológica, os problemas ou impactos ambientais são caracterizados na fase de Diagnóstico, momento em que ocorrem a análise do estado em que se encontram os sistemas ambientais, a avaliação do uso das paisagens e a análise dos impactos (RODRIGUEZ; SILVA, 2013), tais como a fragmentação e as erosões laminares.

Quanto à fragmentação, a quantificação de seu grau de atuação é realizada por meio da medição dos padrões da paisagem (FAHRIG, 2003), para a qual são utilizados índices espaciais conhecidos como métricas da paisagem.

Sendo majoritariamente originadas da teoria da percolação (que estuda o comportamento de conectividade de manchas diversas), da geometria fractal (que estuda as formas da natureza) e da teoria da informação (que estuda o armazenar, quantificar e comunicar de informações), as métricas tiveram seu uso expandido, testado e aplicado pelo aumento da disponibilidade de dados espaciais (CARDILLE; TURNER, 2017).

McGarigal e Marks (1995), autores que desenvolveram o software FRAGSTATS® para quantificar a estrutura da paisagem, apresentam cerca de 59 métricas de paisagem, agrupadas em oito classes, as quais estão dispostas no Quadro 1.

Em geral, as métricas mais simples enfocam a composição da paisagem, ou seja, quais e quantas categorias se fazem presentes no mosaico, enquanto outras métricas possuem enfoque mais específico na configuração da paisagem, envolvendo as manchas, bordas, probabilidade de adjacência, e contágio (CARDILLE; TURNER, 2017).

Fahrig (2003) afirma que a quantificação da fragmentação por meio das métricas varia em termos de quais efeitos da fragmentação estão sendo considerados, como a redução da área e do tamanho das manchas e o aumento no número de manchas e do isolamento. Em outras palavras, o autor entende que algumas métricas consideram apenas um dos efeitos, enquanto outras consideram mais de um, o que deve ser levado em conta nas análises e interpretação da paisagem. Esse entendimento é compartilhado por Villard e Metzger (2014).

Quadro 1 – Caracterização dos grupos de métricas de paisagem.

<b>GRUPO</b>	<b>DESCRIÇÃO DO GRUPO</b>	<b>EXEMPLOS DE MÉTRICAS</b>
<b>Métricas de área</b>	Consideradas geradoras das informações mais importantes no conhecimento da paisagem; utilizadas para caracterização da composição da paisagem	- Área de Classe (CA) - Porcentagem da Paisagem (%LAND) - Área Total (TA)
<b>Métricas de fragmentos, tamanhos e variabilidade</b>	Utilizadas para caracterizar os fragmentos; importantes para caracterização da configuração da paisagem	- Número de Fragmentos (NP) - Tamanho Médio dos Fragmentos (MPS) - Densidade de Fragmentos (PD)
<b>Métricas de bordas</b>	Medem a quantidade de bordas dos fragmentos; importantes para a interpretação de processos ecológicos e efeito de borda	- Perímetro (PERIM) - Total de Bordas (TE’’) - Densidade de Bordas (ED)
<b>Métricas de forma</b>	Quantificam a complexidade do formato dos fragmentos (mais retangulares ou circulares); importantes para interpretação de processos ecológicos e efeito de borda	- Índice de Forma (SHAPE) - Índice Médio de Forma (MSI) - Dimensão Fractal (FRACT)
<b>Métricas de área central</b>	Consideram a área dentro de um fragmento, a determinada distância da borda; utilizadas para interpretação de processos ecológicos e efeito de borda	- Número de Áreas Centrais (NCORE) - Total de Área Central (TCA) - Índice Médio de Áreas Centrais (MCAI)
<b>Métricas de vizinho mais próximo</b>	Consideradas a distância mais próxima entre as bordas de dois fragmentos de mesmo tipo; utilizadas para análise de isolamento ou conectividade	- Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo (ENN-MN) - Desvio Padrão do Vizinho Mais Próximo (NNSD) - Índice de Proximidade (PROXIM)
<b>Métricas de contágio</b>	Representam a intercalação ou justaposição das classes da paisagem; úteis para compreensão da configuração da paisagem	- Índice de Contágio (CONTAG) - Índice de Intercalação e Justaposição (IJI)
<b>Métricas de diversidade</b>	Medem a distribuição da diversidade na paisagem, influenciada pela riqueza e uniformidade de fragmentos; possuem maiores aplicações nas medições da biodiversidade animal e vegetal	- Índice de Diversidade de Shannon (SHDI) - Índice de Diversidade de Simpson’s (SIDI)

Elaboração: A autora (SOUSA, 2021). Adaptado de: McGarigal e Marks (1995).

Entende-se que algumas métricas da paisagem são interdependentes, sendo necessária para a análise da paisagem a seleção de uma quantidade de métricas considerada relevante para abranger os processos ambientais em estudo e apropriada para medir a heterogeneidade do mosaico (FARIA; SANTOS, 2016).

Alguns softwares computacionais possibilitam automatizar os cálculos das métricas, a partir de mapas de uso do solo previamente gerados. Em áreas de Cerrado, o software FRAGSTATS® já foi utilizado em diversos trabalhos como Castro e Ferreira (2009), Faria (2011), Faria e Santos (2016), Ponciano (2017) e Siqueira e Faria (2019), nos quais aparecem

como métricas recorrentes: Área da Classe, Percentual da Paisagem, Número de Fragmentos, Total de Área Central, Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo e Total de Bordas.

Hoje, as métricas apresentadas pelo FRAGSTATS<sup>®</sup> também podem ser geradas por meio de outros softwares, como o ArcGIS, que o faz por meio da extensão “Patch Analyst”, que possui a vantagem de poder realizar em uma única plataforma todos processamentos de imagens, as classificações de uso e as transformações de formato de arquivos, o que facilita o uso pelo pesquisador.

Além disso, no FRAGSTATS<sup>®</sup> os dados de entrada precisam ser desenvolvidos em softwares de SIG e os dados de saída já são formatados com intuito de facilitar a análise em outros programas de gestão de dados, segundo McGarigal e Marks (1995), o que corrobora o uso das extensões de SIG. Porém, independentemente do software utilizado, é certo que todas as métricas possuem algum tipo de aplicação quanto à estrutura da paisagem, sendo necessária sua correta interpretação estatística para tornar o entendimento mais prático, pois o software de métricas só se torna útil com a correta interpretação dos dados gerados (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

Ainda dentro da fase de Diagnóstico, as geotecnologias também podem ser associadas ao controle da erosão e, conforme De Maria (2010), elas fazem parte de uma quarta etapa da evolução da complexidade dos modelos de predição de erosões. Segundo De Maria (2010), as três etapas anteriores consistiram de experiências para conter a terra e a água, de experimentação para acúmulo de conhecimento e de elaboração de modelos físicos e aprimoramento do conhecimento técnico.

Dentre as modelagens existentes para avaliação de predição à ocorrência de erosão, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS ou USLE – *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida pelos integrantes do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Wischmeier e Smith (1978), e revisada por Renard et al. (1997) é o modelo mais utilizado no mundo para computar as perdas de massa de solo decorrentes das erosões laminares (BUENO; STEIN, 2004; CARVALHO; RIBEIRO; ROCHA, 2017) e pode ser aplicado aos SIG por meio de matemática de mapas.

Wischmeier e Smith (1978) consideraram na formulação da USLE variáveis naturais relacionadas a chuva, solo e terreno, além de atributos antrópicos relacionados às atividades humanas. A EUPS estima a perda de solo em uma região,  $A$  (ton/km<sup>2</sup>.ano) e seu cálculo utiliza as seguintes variáveis: fator de erosividade da chuva  $R$  (ton/km<sup>2</sup>.ano), fator de erodibilidade do solo  $K$  (ton.h/MJ.mm), fator de comprimento de rampa  $L$  (m), fator de declividade  $S$  (%), fator

de uso e manejo do solo C (adimensional), e fator de práticas conservacionistas P (adimensional), conforme Equação 1.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

A erosividade da chuva e a erodibilidade dos solos são fatores importantes que interferem na intensidade da erosão do solo (JACINTHO et al., 2006). A erosividade se dá na seguinte relação: quanto maior a intensidade da chuva, maior o tamanho da gota que impacta o solo e, conseqüentemente, maiores os efeitos da erosão (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

A pluviometria – que pode ser representada pela distribuição média anual das chuvas ao longo dos anos – é o elemento climático mais relevante no estudo da perda de solos e aponta a possibilidade de ocorrência de picos máximos (maior erosividade) e de períodos de deficiência hídrica (aparente estabilidade dos processos erosivos) (STEIN; PONÇANO; SAAD, 2003). Logo, os principais parâmetros considerados no fator de Erosividade (R) são as precipitações médias mensal e anual.

A erodibilidade, por outro lado, é um fator baseado nas propriedades naturais dos solos (JACINTHO et al., 2006). Para a determinação direta da erodibilidade dos solos, podem ser realizados experimentos específicos que simulam em detalhes as condições do solo em campo; porém, esses ensaios demandam altos custos e prazos maiores, não sendo viáveis para aplicações de curto prazo (SOUZA; GASPARETTO, 2010).

Diversos autores desenvolveram equações empíricas para estimativa do fator de erodibilidade com base apenas em parâmetros do solo como: porcentagem das frações granulométricas, permeabilidade e porcentagens de componentes químicos como óxidos de alumínio, de ferro e de silício (CHAVES et al., 2010).

Considerando a grande diversidade das propriedades de cada categoria de solo e que usualmente as bacias hidrográficas apresentam vários tipos pedológicos, muitas vezes até mesmo ensaios de granulometria e de composição química se tornam inviáveis. Nesses casos, são comumente utilizados valores de erodibilidade obtidos em outros trabalhos para os mesmos tipos de solo desejados, como observa-se em Silva et al. (2017) e Pereira, Santos e Sousa (2017).

Já os fatores de comprimento de rampa e de declividade são compreendidos como aspectos topográficos relacionados ao escoamento da água sobre a região em estudo que, para aplicações mais práticas, convêm que sejam interpretados conjuntamente, como um único fator topográfico (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator topográfico (LS) varia conforme o ângulo e o comprimento do declive (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e é calculado por meio de matemática de mapas em ambiente SIG, tendo um Modelo Digital de Elevação (MDE) como dado de entrada.

Os fatores de uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas são os parâmetros adimensionais que expressam a influência das ações antrópicas sobre a evolução das perdas de solo. Os valores de uso e manejo do solo consideram que cada classe de uso do solo reage diferentemente à erosão laminar, visto que possuem níveis de cobertura vegetal distintos (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Os valores referentes a práticas conservacionistas representam as técnicas aplicadas para reduzir os efeitos da erosão laminar, tais como o plantio em faixas de contorno, a alternância de capinas e o terraceamento (FARINASSO et al., 2006; SILVA et al., 2017). Muitas vezes, esse fator se torna de difícil obtenção devido à extensão das áreas em estudo, como visto em Bueno e Stein (2004) e Silva et al. (2017).

Um dos gargalos da Equação Universal de Perda de Solos refere-se ao fato de ter sido desenvolvida para as condições ambientais existentes nos Estados Unidos, sendo necessária a realização de adaptações dos parâmetros quando da utilização em outras regiões; além disso, os resultados da USLE não abrangem os processos de deposição dos sedimentos, a erosão nos canais fluviais e os efeitos de represamento (FLANAGAN; GILLEY; FRANTI, 2007; CARVALHO; RIBEIRO; ROCHA, 2017)

Para sanar as limitações da USLE, outros modelos de previsão de erosão foram desenvolvidos posteriormente, visando à otimização dos parâmetros da modelagem. A Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE - *Modified Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida por Williams (1975), é uma equação que considera o aporte de sedimentos, utilizada para medir o quantitativo de sedimentos resultante de um evento chuvoso específico.

A *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) foi criada para substituir a USLE, por apresentar uma abordagem abrangente que melhor compreende os processos envolvidos nas erosões, incluindo os conceitos de erosão em sulcos e entre sulcos (FLANAGAN; GILLEY; FRANTI, 2007). Porém, para a aplicação da WEPP, são solicitados numerosos e complexos parâmetros de entrada, dificultando seu uso em áreas com poucos dados (CARVALHO; RIBEIRO; ROCHA, 2017).

De Maria (2010) entende que apesar da evolução dos modelos, tornando-se cada vez mais complexos e podendo ser associados aos SIG, sua utilização deve ser precedida de um correto conhecimento de seus limites, equações básicas e dados de entrada e de saída – assim

como observado para as métricas de paisagem. Portanto, a USLE ainda se destaca como método mais utilizado para a modelagem de perdas de solo, devido à maior facilidade de obtenção dos parâmetros de entrada e devido à praticidade de seu uso (BUENO; STEIN, 2004; CARVALHO; RIBEIRO; ROCHA, 2017).

Ressalta-se que, nos casos de estudos regionais, o caráter das análises de perda de solos por meio da USLE se torna mais qualitativo (visando estimar o potencial, suscetibilidade ou vulnerabilidade à erosão laminar) do que quantitativo, de modo que os valores resultantes não devem ser considerados os reais volumes de sedimentos que efetivamente chegam aos corpos hídricos (FARINASSO et al., 2006; DE MARIA, 2010; BARBOSA et al., 2015).

Crepani et al. (2001) apresentam um método para mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo que considera graus de estabilidade ou vulnerabilidade em uma escala de 1 a 3, onde as unidades da paisagem mais estáveis são representadas pelo grau 1 e as mais vulneráveis pelo 3. Esse mapeamento é realizado por meio da média aritmética de índices adotados para as classes de quatro planos de informação (temas): geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação (intervenção antrópica) e se mostra útil como um modelo para caracterizar determinada área de estudo, mesmo de forma mais genérica por considerar um peso igual para todas as camadas de informação (CARVALHO et al., 2020).

Por fim, os ambientes de SIG permitem ainda a otimização da fase de Projeção, que trata da proposição de regimes e intensidades de usos da paisagem e de sua organização espacial (RODRIGUEZ; SILVA, 2013). Os procedimentos que envolvem o geoprocessamento auxiliam no planejamento de decisão quanto a áreas prioritárias para conservação e reduzem a subjetividade desse processo decisório (MMA, 2007).

Segundo o Planejamento Sistemático da Conservação (PSC), seis ações podem ser aplicadas no planejamento das paisagens: 1. Mensurar e mapear a biodiversidade; 2. Identificar os objetivos de conservação para a região de planejamento; 3. Levantar áreas protegidas já existentes; 4. Selecionar áreas de conservação adicionais; 5. Implementar ações de conservação; e 6. Gerenciar e monitorar as áreas protegidas (MARGULES; PRESSEY, 2000)

Gjorup et al. (2016) analisaram, entre os anos de 2006 e 2014, trabalhos que abordam a seleção de áreas prioritárias para conservação de serviços ambientais. Alguns dos principais critérios utilizados nos processos decisórios de gestão de recursos hídricos foram: importância da bacia para abastecimento; características físicas da bacia como o limiar de declividade, de gradiente altitudinal e de densidade de drenagem; índice de urbanização; suscetibilidade a

erosão; e potencial de redução de aporte de sedimentos mediante intervenção; tamanho mínimo de fragmentos, tamanho e distância de fragmentos; e potencial de conectividade.

Quanto aos métodos utilizados para a priorização de áreas para conservação, Gjorup et al. (2016) citam: atendimento a critérios de seleção pré-estabelecidos; aplicação de indicadores, como o de susceptibilidade à erosão; sobreposição de mapas; e abordagem multicritério em ambiente de SIG.

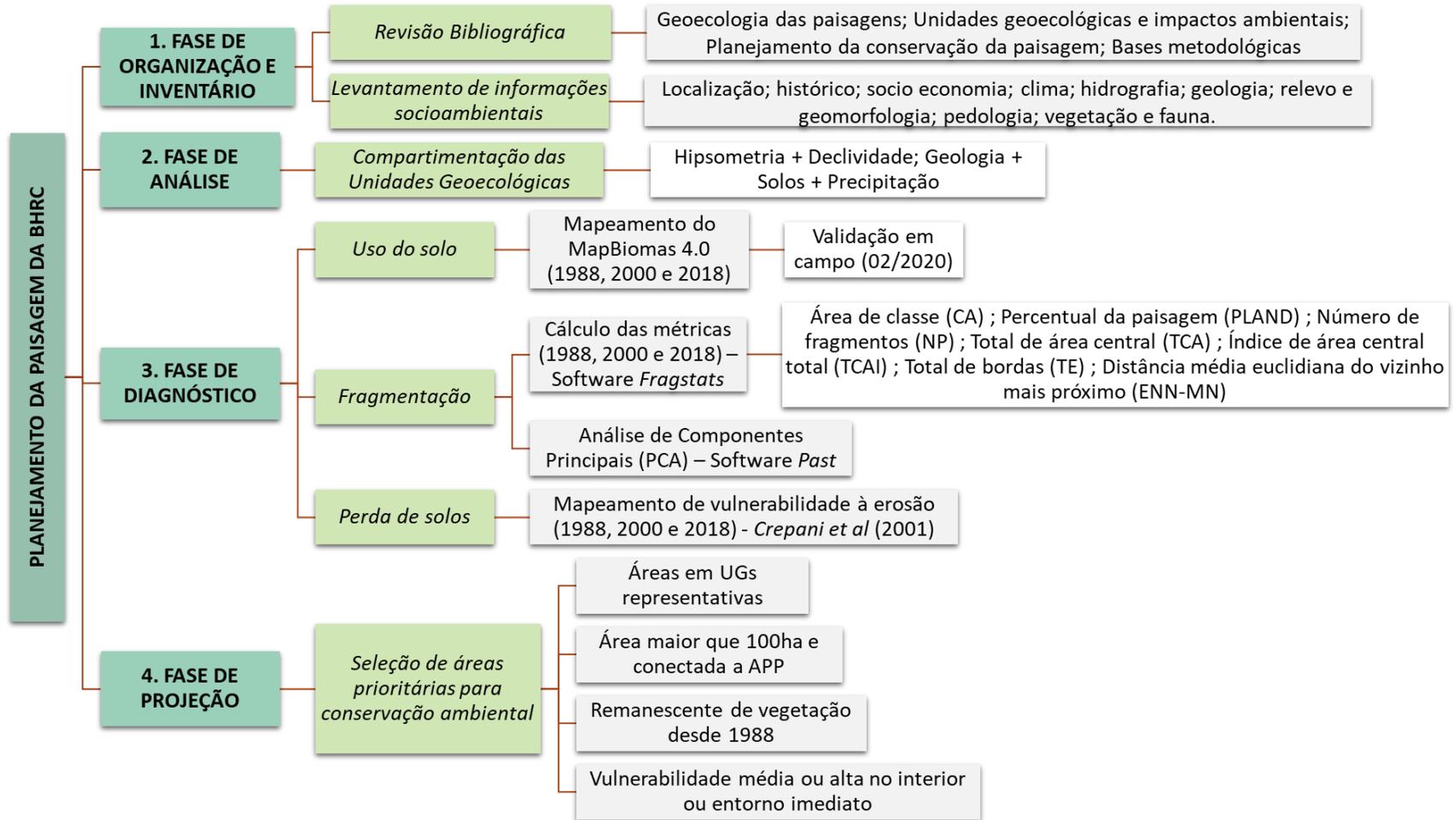
Trabalhos como Jorge et al. (2017) e Cavalcante et al. (2020) realizaram a seleção de áreas para conservação com base em critérios pré-estabelecidos como: atendimento às legislações (APP e RL), redução da perda de solos, tamanho dos fragmentos, conectividade, fragmentos em assentamentos, distância de estradas e quantidade e diversidade de unidades da paisagem.

Scipioni, Mezzomo e Corneli (2016) aplicaram a seleção de áreas prioritárias para conservação a partir de critérios como: tamanho e conectividade da cobertura vegetal, proximidade de UCs e outras áreas protegidas, matas ciliares e áreas mais declivosas.

Cabe ressaltar a importância dos estudos realizados pelas instituições acadêmicas, que enfocam propostas de zoneamento e planejamento ambiental de paisagens em escalas diversas, sendo utilizados como base científica para as ações do Poder Público (TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017), sendo este o consumidor do planejamento por meio da fase de Execução (implementação das ações propostas na fase anterior).

Utilizando das bases metodológicas explanadas, a Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho, considerando as quatro etapas do Planejamento de Paisagens – à exceção da fase de Execução, que é dependente do Poder Público. O geoprocessamento será aplicado em todas as fases do trabalho.

Figura 3 - Fluxograma metodológico adotado para o planejamento da paisagem da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

### 1.5. Considerações quanto aos pressupostos teóricos e metodológicos

Da revisão bibliográfica realizada, cabe ressaltar as seguintes considerações:

- A geoecologia das paisagens é compreendida como uma concepção teórica e metodológica, originada da ecologia de paisagens e da teoria geossistêmica, que tem como base a análise integrada dos sistemas ambientais e antrópicos;
- As unidades geoecológicas são porções homogêneas com características singulares, referentes ao meio físico e ecológico de determinada região com escala definida, e respondem diferentemente a interações antrópicas;
- Os impactos ambientais naturais, intensificados pelo uso e transformação das unidades de paisagem, resultam em consequências para o equilíbrio dos sistemas como as perdas de habitat, o isolamento entre manchas similares, as alterações nas relações ecológicas, a perda de nutrientes do solo e o assoreamento de corpos hídricos e de reservatórios de abastecimento;
- O planejamento de paisagens é uma forma de mitigar os impactos já existentes e reduzir a intensidade de impactos futuros; utilizando como base as unidades geoecológicas, é possível planejar usos específicos para as regiões de acordo com suas respostas naturais à ocorrência de impactos ambientais, tais como a fragmentação e a perda de solos;
- A análise da BHRC foi realizada com a aplicação de quatro das cinco etapas metodológicas da geoecologia das paisagens, sendo o geoprocessamento um instrumento para a caracterização, análise e planejamento da paisagem, com aplicação na cartografia das paisagens, no mapeamento de uso do solo, no cálculo de índices de paisagem para medição de fragmentação, na análise de vulnerabilidade à perda de solos e no planejamento de áreas para conservação ambiental.

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALDAS E COMPARTIMENTAÇÃO DE UNIDADES GEOECOLÓGICAS**

A caracterização da paisagem de bacias hidrográficas perpassa o conhecimento integrado dos aspectos histórico-culturais, socioeconômicos, físicos e ecológicos. A atmosfera, a litosfera, a hidrosfera, a biosfera e a antroposfera agem de forma dinâmica e possuem processos que interagem entre si, gerando um fluxo de influências mútuas (CONTI, 2001).

As unidades geoecológicas são caracterizadas pela homogeneidade de seus fatores naturais atuantes, por suas características estruturais e por sua função, sendo que os seis principais tipos de aspectos geoecológicos que influenciam na formação das paisagens são: geológicos, climáticos, geomorfológicos, hídricos, edáficos e bióticos (RODRIGUEZ, 2008).

Esses fatores formadores são capazes de influenciar na composição, estrutura, função e dinâmica da paisagem: as formas do relevo são responsáveis por “redistribuir o calor e a umidade provenientes dos fatores diferenciadores, controlando e determinando os padrões de formação e diferenciação dos componentes restantes”; os fatores hidrológicos e edáficos influenciam principalmente a composição substancial dos sistemas, pois garantem as bases hídricas e materiais concretas (VICENS; RODRIGUEZ; CRONEMBERGER, 2019).

A compartimentação da paisagem trata-se, portanto, de compreender como a estrutura das paisagens foi modificada e regulada pelas condições naturais de zonalidade, resultando no estado atual dos elementos paisagísticos que controlam os ciclos de energia, dos fluxos de substâncias, das propriedades dos solos, dos seres vivos e dos processos de produção realizados pelas sociedades humanas (VICENS; RODRIGUEZ; CRONEMBERGER, 2019).

A cartografia das unidades de paisagem é considerada um instrumento que proporciona uma melhor qualidade ao planejamento ambiental, auxiliando em atividades relacionadas à análise e preservação do meio ambiente natural (AUGUSTO, 2016). Além disso, o enfoque sistêmico e sustentável da cartografia de paisagens pode ser utilizado como base para a gestão de recursos naturais e humanos dentro de regiões com características diversas (TROMBETA; CHÁVEZ; LEAL, 2017).

É consensual afirmar a relevância da cartografia (ou mapeamento) de paisagens para a compreensão das análises espaciais, visto que essa é uma forma de espacializar as unidades da paisagem com a finalidade de realizar sua delimitação, classificação e mapeamento (CHÁVEZ; PUEBLA; TROMBETA, 2019).

Uma vez que as porções homogêneas do espaço respondem de forma singular às pressões antrópicas, entende-se que o espaço que um objeto ocupa na superfície terrestre e a transformação operada pelo homem no tempo são duas categorias que não devem ser dissociadas em uma análise integrada (CONTI, 2001; CREPANI et al., 2001).

Apesar da grande diversidade de enfoques sobre a paisagem, cabe a cada estudo definir os elementos básicos ou comuns a serem analisados e, a partir de um método definido, deve considerar algum dos elementos como tema central para classificação, de acordo com os objetivos pretendidos (MAXIMIANO, 2004).

Sabendo que o ordenamento do território (e, por consequência, da paisagem) deve ser precedido de um conhecimento preliminar da região, os principais aspectos que devem ser considerados nessa caracterização diagnóstica são: a definição do quadro regional, que engloba as regiões climáticas e morfoestruturais; a análise morfodinâmica, que considera os aspectos da geomorfologia como sistemas dinâmicos e não estáticos; os recursos ecológicos, que devem abranger, dentre outros, os recursos hídricos e os solos; e os problemas da gestão do território, relacionados aos fatores humanos e econômicos (TRICART, 1977).

Portanto, o objetivo deste capítulo é proceder com as Fases de Organização e Inventário e de Análise, respondendo à seguinte pergunta: quais são as principais características geoecológicas da bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC) e como elas interagem entre si nas unidades homogêneas? Será realizada a caracterização da BHRC e, a partir disso, a delimitação de unidades geoecológicas que sejam representativas da gênese e dinâmica dos aspectos naturais nessa região.

## **2.1. Procedimentos metodológicos das fases de organização, inventário e análise**

Para a caracterização ambiental, foram utilizados dados numéricos, textuais e tabelados de órgãos oficiais, tais como: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Ministério de Meio Ambiente (MMA), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Também foram utilizados dados de órgãos estaduais, como a Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Serviços (SIC), o Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), o Instituto Mauro Borges (IMB), a Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER) e a Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural, e Pesquisa Agropecuária (Emater), além de dados do Macrozoneamento Agroecológico

e Econômico do Estado de Goiás (MacroZAEE). O Quadro 2 apresenta para cada um dos aspectos analisados, os dados de análise e as fontes dos dados utilizados para caracterização.

Quadro 2 - Aspectos, dados e fontes utilizados para caracterização da BHRC.

ASPECTO	DADOS	BASE DE DADOS (FONTES)	ACESSO AOS DADOS
<b>Localização</b>	Mapa de Otto bacias hidrográficas de Goiás – escala 1:250.000	SIEG (SIC)	<a href="http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4408">http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4408</a>
<b>História e cultura</b>	Histórico dos municípios	IBGE Cidades	<a href="https://cidades.ibge.gov.br/">https://cidades.ibge.gov.br/</a>
<b>Socioeconomia</b>	Demografia e cultivo agrícola	IMB	<a href="http://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=91&amp;Itemid=219">http://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=91&amp;Itemid=219</a>
<b>Precipitação</b>	Séries históricas de precipitação	ANA Hidroweb	<a href="http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas">http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas</a>
<b>Clima</b>	Mapa climático de Koppen – Brasil (2013)	IPEF	<a href="https://www.ipef.br/geodatabase/">https://www.ipef.br/geodatabase/</a>
<b>Rede de drenagem</b>	Mapa da hidrografia do estado de Goiás - escala 1:100.000	SIEG (SIC; MacroZAEE)	<a href="http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4404">http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4404</a>
<b>Sub-bacias da BHRC</b>	Modelo Digital de Elevação (MDE) – SRTM 30m	INPE (Projeto Topodata)	<a href="http://www.dsr.inpe.br/topodata/">http://www.dsr.inpe.br/topodata/</a>
<b>Captações</b>	Mapa de pontos de captação de água	ANA	<a href="http://dadosabertos.ana.gov.br/">http://dadosabertos.ana.gov.br/</a>
<b>Formação geológica</b>	Mapa de geologia – escala 1:250.000	SIEG (MacroZAEE)	<a href="http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4427">http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4427</a>
<b>Hipsometria</b>	Modelo Digital de Elevação (MDE) – SRTM 30m	INPE (Projeto Topodata)	<a href="http://www.dsr.inpe.br/topodata/">http://www.dsr.inpe.br/topodata/</a>
<b>Declividade</b>	Modelo Digital de Elevação (MDE) – SRTM 30m	INPE (Projeto Topodata)	<a href="http://www.dsr.inpe.br/topodata/">http://www.dsr.inpe.br/topodata/</a>
<b>Geomorfologia</b>	Mapa de geomorfologia – escala 1:250.000	IBGE (Projeto RADAM Brasil e geração de novos dados)	<a href="ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/">ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/</a>
<b>Pedologia</b>	Mapa de solos - escala 1:250.000	SIEG (Emater)	<a href="http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4715">http://www.sieg.go.gov.br/produosIMB.asp?cod=4715</a>
<b>Vegetação</b>	<i>Shapefile</i> de vegetação – Escala 1:250.000	IBGE	<a href="http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2018/">http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2018/</a>

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

As sub-bacias da BHRC foram geradas a partir do MDE, por meio da extensão *SWAT* (ArcGIS), enquanto a média de precipitações foi elaborada considerando dados médios de oito estações pluviométricas próximas à região (Tabela 1). A partir dos dados compilados de precipitação média anual apresentados, foi realizada interpolação, utilizando como método a *Krigagem*, para geração do mapa de precipitação.

Tabela 1 - Localização e dados de precipitação das estações pluviométricas selecionadas.

<b>ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA</b>	<b>CÓDIGO (ANA)</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)</b>
<b>CCTA (Sec. Agric. - EMGOPA)</b>	1649002	-16,7011	-49,0947	1588,21
<b>Goianápolis</b>	1649004	-16,5164	-49,0203	1532,32
<b>Goiânia</b>	1649013	-16,6736	-49,2639	1559,57
<b>Anápolis</b>	1648006	-16,3333	-48,9667	1176,04
<b>Goiânia - Agronomia</b>	1649005	-16,6667	-49,2667	1565,20
<b>Goiânia - SUREG/GO</b>	1649022	-16,6950	-49,2589	1488,05
<b>Fazenda Bonita de Baixo</b>	1649003	-16,9572	-49,0764	1375,86
<b>Vianópolis</b>	1648002	-16,7478	-48,5264	1766,90

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Em uma segunda etapa, a compartimentação das Unidades Geológicas (UGs) foi realizada em software de SIG, utilizando uma sobreposição de dados temáticos baseada nos aspectos geológicos pré-selecionados: declividade, hipsometria, precipitação, geologia e pedologia, semelhante ao proposto por Oliveira (2019). Para cada um dos aspectos, foram delimitadas classes significativas para posterior análise comparativa (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes adotadas na compartimentação das unidades geológicas.

<b>Aspecto geológico</b>	<b>Classes para compartimentação</b>
<b>Precipitação</b>	1300 mm – 1400 mm 1400 mm – 1500 mm 1500 mm – 1600 mm
<b>Geologia</b>	Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu Grupo Araxá Sequência Metavulcanossedimentar Silvânia Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba Suíte Jurubatuba
<b>Hipsometria</b>	650 m – 820 m (baixas altitudes) 820 m – 1000 m (médias altitudes) 1000 m – 1160 m (altas altitudes)
<b>Declividade</b>	0 % a 20 % - Relevo Suave 20 % a 75 % - Relevo Movimentado
<b>Solos</b>	Cambissolo Háplico Latosolo Vermelho Argissolo Vermelho-Amarelo

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Se fazem necessárias algumas considerações quanto às classes selecionadas para compartimentação das unidades geológicas. A declividade foi dividida em duas classes,

sendo que uma caracteriza um relevo mais suave – indo do plano (0% a 3%) ao ondulado (8% a 20%) – e a outra expõe as áreas de relevo movimentado – indo do forte ondulado (20% a 45%) ao montanhoso (45% a 75%).

A precipitação e a hipsometria foram divididas em classes com amplitudes distribuídas de acordo com valores viáveis para análise. Já para a classificação da geologia, foram considerados apenas os grupos de formação, não fazendo distinção entre subclasses ou litotipos; portanto, foram agrupados os subgrupos “ortogranulitos” e “supracrustais”, pertencentes ao Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, e os subgrupos Unidade “A” e “B”, do Grupo Araxá.

Da mesma forma, os solos do tipo Latossolo Vermelho foram agrupados, considerando uma só categoria para os pertencentes ao tipo “ácrico” e “distrófico”. A classificação da pedologia considerou apenas três tipos de solos, sendo descartado o “Grupamento Urbano”, tendo em vista que não se trata de um tipo de solo e, ainda, que esse aspecto será considerado, posteriormente, na análise de uso do solo. Para essa classe, foi considerada a legenda “Não Identificado” e foi então incorporada às unidades adjacentes com características semelhantes.

Após a etapa de seleção, todos os dados das classes supracitadas foram transformados em dados matriciais para proceder com a sobreposição de classes de informações. Em seguida, os dados matriciais foram sobrepostos utilizando a função “Combine”, resultando na base da compartimentação das U.G.

Para prosseguir com a cartografia das unidades da paisagem, foi utilizada a abordagem hierárquica de identificação denominada *downscaling*, *top-down* ou topo-base, que, apesar de suas limitações – como a dependência que as unidades menores apresentam quanto aos limites espaciais das maiores – é a abordagem indicada para grandes áreas (CAVALCANTI, 2014).

Foram realizados os seguintes procedimentos: 1) vetorização das unidades geológicas de 1º nível (relevo): relevo suave em altas altitudes, relevo movimentado em altas altitudes, relevo suave em médias altitudes, relevo movimentado em médias altitudes, relevo suave em baixas altitudes e relevo movimentado em baixas altitudes; 2) vetorização das unidades geológicas de 2º nível, considerando a geologia, a pedologia e a precipitação.

As informações das U.G. geradas foram compiladas em um quadro-resumo. As U.G. foram nomeadas considerando como aspecto principal o dado de relevo (declividade e hipsometria) e como segundo aspecto principal a geologia e pedologia; as unidades com mesmo relevo, geologia e pedologia, mas precipitação distinta foram consideradas parte da mesma unidade, adicionando uma identificação textual (a, b, c) para diferenciá-las. Sempre que

possível, as análises foram embasadas em trabalhos científicos que já discutiram essas temáticas na BHRC ou em outras regiões similares.

## 2.2. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Caldas

Visando a uma caracterização sistêmica da Bacia Hidrográfica do Rio Caldas (BHRC), a área de estudo será apresentada e, então, serão exploradas temáticas referentes a aspectos antrópicos, aspectos de meio físico e aspectos ecológicos.

### 2.2.1. Localização geográfica da BHRC

A BHRC está localizada no estado de Goiás, com coordenadas extremas 16,40° S e 16,92° S, 49,13° W e 48,77° W e faz limite com as microrregiões de Goiânia, de Anápolis e de Pires do Rio, na mesorregião do Centro Goiano, abrangendo um total de 11 municípios. Essa bacia hidrográfica possui 1.288,01km<sup>2</sup> e, desta área, pouco mais da metade (54,13%) se encontra dentro dos limites da Região Metropolitana de Goiânia, o que permite inferir quanto às influências que esta bacia recebe das dinâmicas que ocorrem na capital Goiânia.

Dos 11 municípios inseridos na BHRC, Leopoldo de Bulhões e Caldazinha representam juntos cerca de 53% da área total dessa bacia, enquanto Bela Vista de Goiás ocupa o terceiro lugar em percentual de área da BHRC ocupada pelo município (Tabela 2).

Tabela 2 - Municípios da BHRC e respectivos percentuais relativos à BHRC.

MUNICÍPIO	ÁREA DO MUNICÍPIO NA BHRC (km <sup>2</sup> )	PERCENTUAL DA ÁREA DA BHRC OCUPADA PELO MUNICÍPIO	PERCENTUAL DA ÁREA DO MUNICÍPIO INTERNA À BHRC
Leopoldo de Bulhões	429,82	33,37%	90,26%
Caldazinha	252,31	19,59%	100,00%
Bela Vista de Goiás	152,6	11,85%	11,95%
Bonfinópolis	121,22	9,41%	99,87%
Silvânia	110,82	8,60%	4,72%
Senador Canedo	109,92	8,53%	44,81%
Anápolis	50,27	3,90%	5,37%
Goianópolis	47,9	3,72%	28,72%
Goiânia	10,61	0,82%	1,44%
Terezópolis de Goiás	2,42	0,19%	2,24%
Hidrolândia	0,12	0,01%	0,01%
<b>TOTAL</b>	1288,01	100%	-

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Apenas os municípios de Caldazinha, Bonfinópolis e Leopoldo de Bulhões possuem seu limite municipal com mais de 90% de área interna à BHRC, enquanto Senador Canedo

apresenta cerca de metade (44,81%) de sua área abrangida por essa bacia e os demais municípios dispõem de menores percentuais, indo de 28,72% em Goianápolis, 1,44% na capital Goiânia e 0,01% em Hidrolândia.

Para possibilitar a interligação entre municípios e, ainda, com a capital Goiânia, a BHRC dispõe de uma infraestrutura rodoviária – BR 153, BR 457/GO 010, BR 352/GO 020 e GO 403 – e ferroviária – ferrovia Centro-Atlântica, que corta a bacia de leste a oeste.

### 2.2.2. Histórico e aspectos socioculturais dos municípios da BHRC

A bacia hidrográfica do rio Caldas, devido às características de seu rio principal e de seus afluentes, e ainda por razão de sua localização no território goiano, possui uma posição estratégica relacionada aos múltiplos usos que já foram empreendidos neste espaço (VILELA; OLIVEIRA, 2009).

Faz-se importante apresentar o histórico de ocupação dos municípios da BHRC. Conforme dados do IBGE (2018a), quando se observa o histórico dos municípios pertencentes à BHRC verifica-se que seu processo de povoamento se iniciou por volta dos anos 1770, com a descoberta de minas de ouro na região do povoado de Bonfim (hoje município de Silvânia) e Santana (hoje município de Anápolis). Neste período, a imigração foi incentivada, tendo objetivo de exploração das terras.

Em anos seguintes, foram dispostas estruturas de apoio aos tropeiros e mineiros que se haviam instalado, como ranchos, vilas e capelas religiosas, que, com o passar do tempo, se tornaram conjuntos de fazendas, casas e comércios. Algumas destas estruturas estavam localizadas nas vilas e distritos próximos às minas, e com a evolução das atividades se tornaram grandes e autônomos o suficiente para terem declarada sua independência (IBGE, 2018).

Pelo histórico apresentado, observa-se que o desenvolvimento da região se deu principalmente às margens de seus rios (principais e afluentes) e as principais atividades exercidas foram a mineração, as atividades agrícolas e pecuárias e a imigração devida à construção da Estrada de Ferro.

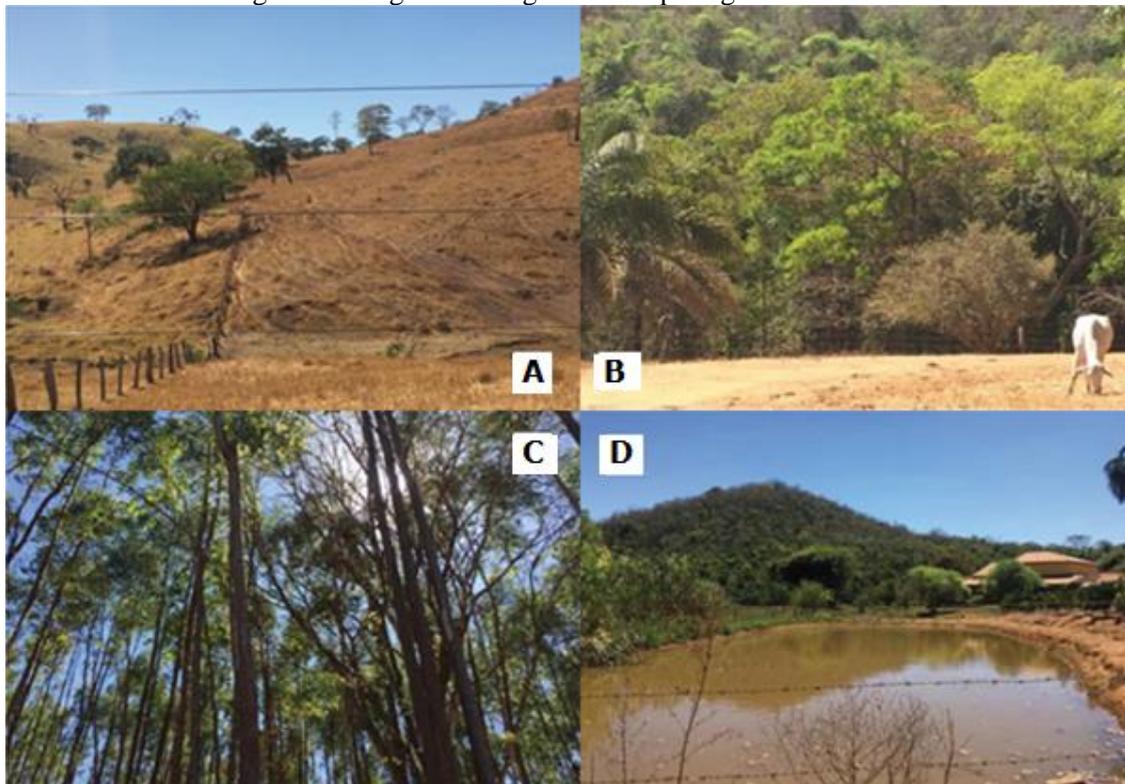
Segundo Rodriguez (2011), as cidades goianas contempladas pela antiga “Estrada de Ferro Goiás” e atual Ferrovia Centro-Atlântica, como Leopoldo de Bulhões, Anápolis, Senador Canedo e Goiânia, se tornaram centros comerciais de referência no Estado, por volta de 1915. Portanto, percebe-se a importância histórica destas atividades na BHRC.

Corroborando essa análise, Vilela (2009, p. 64) entende que a BHRC passou por um momento de tensão, fase que foi retratada em suas observações baseadas em pesquisas de

campo. O autor apresenta sua percepção quanto ao avanço das tendências de ocupação relacionadas principalmente a “lavouras de soja, milho, tomate, fazendas de criação de gado de corte, gado leiteiro, granjas, confinamentos em detrimento da produção da agricultura familiar”.

Esses padrões de ocupação também foram retratados em campo por Sousa, Oliveira e Machado (2019), quase dez anos depois (dados de 2017), que enfocaram (Figura 4) a predominância das pastagens e das lavouras, além de constatarem a presença de exploração florestal de eucalipto, granjas, criações de porcos, piscicultura, atividade de mineração, linha férrea e dutos de petróleo enterrados.

Figura 4 – Registros fotográficos de paisagens da BHRC.



Fonte: Sousa, Oliveira e Machado (2019). Legenda: A) registro de pastagens; B) pastagem próxima a vegetação nativa; C) exploração florestal de eucalipto; D) atividade de piscicultura.

Apesar da intensidade das atividades agropecuárias na BHRC, Vilela (2009) pontua ainda que nas áreas mais centrais da BHRC e próximo de sua foz, ocorre um processo de apropriação do território em que:

(...) uma quantidade significativa de sujeitos que sobrevive mantendo práticas tradicionais, por meio da pecuária e agricultura, baseadas no jeito simples de cultivar a terra e tirar o sustento, seja pela roças-de-tôco, ordenha manual de leite, seja pela produção artesanal de farinha, rapadura, entre outros (VILELA, 2009, p. 69).

As atividades de agricultura familiar também foram verificadas em campo por Sousa, Oliveira e Machado (2019) (Figura 5).

Figura 5 – Registro de agricultura familiar (plantação de tomate) na BHRC.



Fonte: Sousa, Oliveira e Machado (2019).

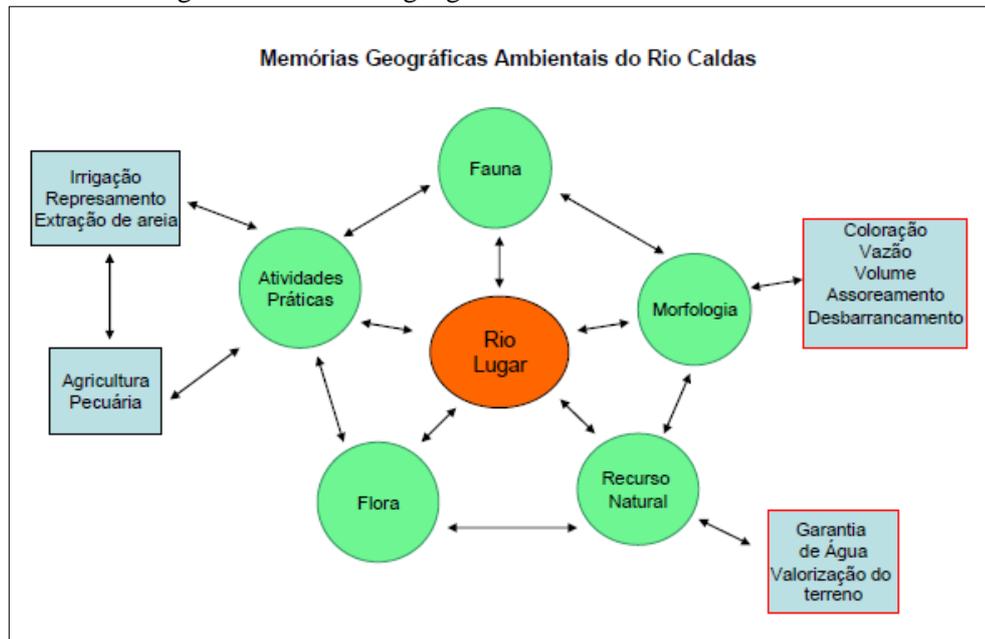
Com base nas transformações culturais e sociais, Martins et al. (2004a) entendem que os fluxos de matéria e de energia das paisagens culturais regionais, que antigamente aconteciam em escala local - entre os centros urbanos, os consumidores e os produtores rurais -, hoje se estabelecem em nível inter-regional e, até transcontinental, enfatizando que as atividades humanas transformam o território habitado e, conseqüentemente, são transformadas por estes.

Em uma análise cultural da identidade histórica da BHRC, autores como Vilela (2009), Vilela e Oliveira (2009) e Alexandre (2010), em pesquisas qualitativas, abordaram as memórias geográficas ambientais que residentes da região experimentaram historicamente quanto ao rio Caldas e seu entorno.

Alexandre (2010) sintetiza que os principais temas citados pelos moradores quando questionados sobre o rio Caldas e seus entornos, em entrevistas pessoais, foram: fauna e flora presentes na região; características do rio (coloração, vazão, volume de água, assoreamentos e desbarrancamentos); o rio como recurso natural (produção de água e valorização das terras); e as atividades humanas realizadas no local, como a irrigação, o represamento, a extração de areia, a agricultura e pecuária (Figura 6).

Portanto, o cenário da BHRC é composto por uma paisagem com usos diversos pela população, que possui um conjunto de geossistemas passíveis de mudanças e em constantes transformações antrópicas, físicas e bióticas.

Figura 6 - Memórias geográficas ambientais do rio Caldas.



Fonte: Alexandre (2010).

### 2.2.3. Demografia e atividades socioeconômicas

A demografia de uma região é fator importante para sua caracterização; logo, a Tabela 3 apresenta a evolução demográfica dos municípios da BHRC entre os anos 2000 e 2018. Em geral, essa bacia apresentou aumento populacional de 38,4% no período em análise.

Tabela 3 - Evolução demográfica nos municípios da BHRC em 2000, 2010 e 2018.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO CENSITÁRIA 2000 (hab)	POPULAÇÃO CENSITÁRIA 2010 (hab)	POPULAÇÃO ESTIMADA 2018 (hab)	PERCENTUAL DE MUDANÇA (2000-2018)
<b>Goiânia</b>	1.093.007	1.302.001	1.495.705	+36,8%
<b>Anápolis</b>	288.085	334.613	381.970	+32,6%
<b>Senador Canedo</b>	53.105	84.443	112.224	+111,3%
<b>Silvânia</b>	20.339	19.089	20.573	+1,2%
<b>Bela Vista de Goiás</b>	19.210	24.554	29.448	+53,3%
<b>Hidrolândia</b>	13.086	17.398	21.278	+62,6%
<b>Goianápolis</b>	10.671	10.695	11.239	+5,3%
<b>Leopoldo de Bulhões</b>	7.766	7.882	7.643	-1,6%
<b>Bonfinópolis</b>	5.353	7.536	9.488	+77,2%
<b>Terezópolis de Goiás</b>	5.083	6.561	7.897	+55,4%
<b>Caldazinha</b>	2.859	3.325	3.759	+31,5%
<b>TOTAL</b>	1.518.564	1.818.097	2.101.224	+38,4%

Elaboração: A autora (SOUSA, 2021) Fonte dos dados: IMB (2020).

O maior crescimento absoluto ocorreu no município de Senador Canedo, cuja população alcançou em 2018 mais do que o dobro do quantitativo do ano 2000, enquanto em Bonfinópolis, Hidrolândia, Terezópolis e Bela Vista a população aumentou mais de 50% no mesmo período.

Observa-se que apenas o município de Leopoldo de Bulhões apresentou estimativa de decréscimo populacional entre 2010 e 2018, o que pode ter ocorrido devido ao êxodo rural de pequenos produtores que vendem suas terras para as grandes monoculturas e partem em busca de melhores condições de vida nas cidades, fato observado por Vilela (2009).

Em casos como o de Goiânia e Anápolis, que apresentam grande aumento populacional e pequena área ocupando a região da bacia hidrográfica, deve-se considerar que este valor pode não corresponder à realidade da BHRC integralmente, pois o crescimento pode ter se dado mais expressivamente em outras regiões dos municípios, fora da bacia.

Ainda assim, é possível perceber a importância dos municípios de Anápolis, Senador Canedo e Goiânia para a BHRC, tendo em vista que possuem, além dos maiores aumentos populacionais na última década, também alguns dos maiores valores de Produto Interno Bruto (PIB) per capita da região (IMB, 2020). Estes municípios são os maiores produtores de bens e serviços nas proximidades da BHRC, com PIB acima da média de Goiás (Tabela 4).

Tabela 4 - Produto Interno Bruto dos municípios da BHRC.

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>PIB PER CAPITA 2010 (R\$)</b>	<b>PIB PER CAPITA 2016 (R\$)</b>	<b>PERCENTUAL DE MUDANÇA (2000-2018)</b>
<b>Anápolis</b>	33.013,34	35.372,45	+7,15%
<b>Goiânia</b>	22.304,47	32.209,01	+44,41%
<b>Bela Vista de Goiás</b>	15.808,39	28.950,93	+83,14%
<b>Silvânia</b>	15.605,31	30.457,89	+95,18%
<b>Hidrolândia</b>	14.476,69	36.399,81	+151,44%
<b>Leopoldo de Bulhões</b>	14.107,70	23.784,36	+68,59%
<b>Terezópolis de Goiás</b>	13.023,09	24.369,39	+87,12%
<b>Senador Canedo</b>	11.961,48	33.136,31	+177,03%
<b>Caldazinha</b>	8.007,96	12.144,12	+51,65%
<b>Goianápolis</b>	7.976,00	14.700,31	+84,31%
<b>Bonfinópolis</b>	6.387,74	8.096,93	+26,76%
<b>TOTAL</b>	162.672,17	279.621,51	+71,89%

Elaboração: A autora (SOUSA, 2021). Fonte dos dados: IMB, 2020.

Observa-se que cinco municípios apresentam em 2018 PIB per capita acima de R\$30.000: Anápolis, Goiânia, Silvânia, Hidrolândia e Senador Canedo, sendo que nestes dois últimos a arrecadação per capita foi maior do que o dobro do valor do ano 2000, o que provavelmente foi motivado pelas atividades relacionadas à expansão urbana e pela conurbação e proximidade de Goiânia.

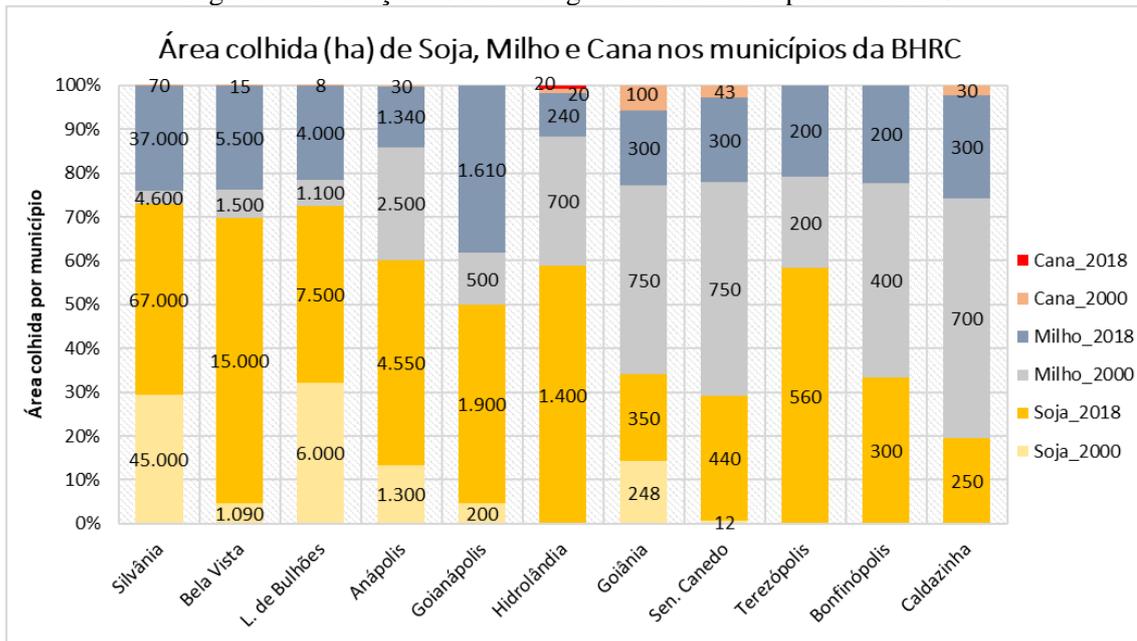
Em parte dos municípios com maior PIB da BHRC, é notada a relevância da atividade agroindustrial, observada pela presença de seus distritos agroindustriais. Em Anápolis, próximo à nascente do rio Caldas, está localizado o Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA), criado em 1976 e interligado diretamente ao Porto de Santos pela Ferrovia Centro-Atlântica. De acordo com o sítio eletrônico da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Goiás (CODEGO,

2020), no DAIA estão presentes desde empresas de adubos e alimentos até indústrias farmacêuticas e metalúrgicas, entre outras.

A CODEGO (2020) atribui ao município de Senador Canedo dois distritos, sendo um industrial (DISC) e um agroindustrial (DASC); ambos se localizam próximos aos limites da BHRC e estrategicamente próximos à Ferrovia Centro Atlântica (antigamente denominada “Estrada de Ferro”), que é parte relevante da história da região e hoje funciona como um relevante porto seco nacional, transportando produtos como derivados de petróleo. Goiânia, por sua vez, apesar de ter pouca área dentro da BHRC, ressalta-se naturalmente por ser a capital do Estado, centro de atenção das atividades produtivas e de serviços.

Quanto às atividades agropecuárias, segundo o IMB (2018), as principais culturas agrícolas do estado de Goiás são a cana-de-açúcar (cerca de 76.082.607t produzidas em 2018), a soja (cerca de 11.369.134 t) e o milho (cerca de 8.691.532 t). A fim de compilação das características agrícolas da BHRC, a Figura 7 apresenta a quantidade de área colhida, em hectares, das culturas anuais de soja, milho e cana-de-açúcar.

Figura 7 - Evolução do cultivo agrícola nos municípios da BHRC.



Elaboração: A autora (SOUSA, 2021). Fonte dos dados: IMB (2020).

Observa-se que o município de Silvânia ocupa proeminência em maiores quantidades de área colhida de milho e soja. Em razão disso, entende-se que esse município deve receber especial atenção quanto às posteriores análises de impacto do uso das terras sobre a fragmentação e a perdas de solo.

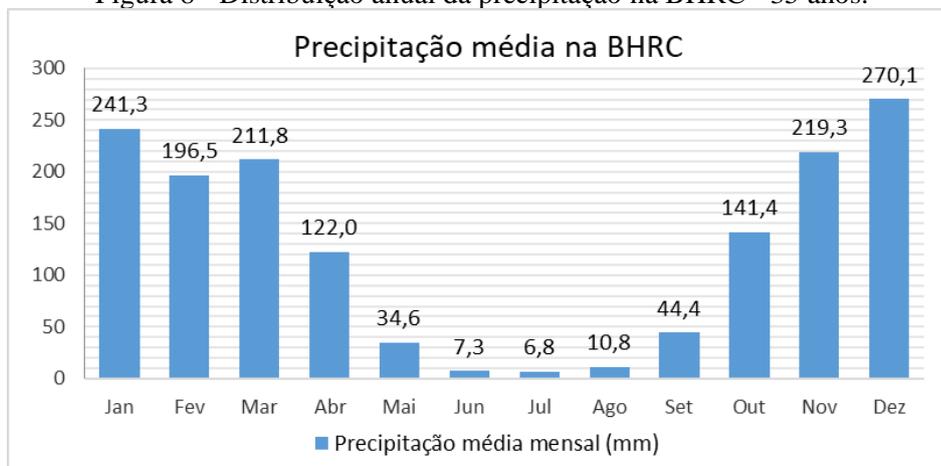
Ressalta-se que atualmente a produção de cana-de-açúcar na BHRC se limita apenas ao município de Hidrolândia (20 ha, em 2018). Apesar disso, cabe notar que no ano de 2010, à exceção dos municípios de Bonfinópolis, Goianópolis e Terezópolis de Goiás, os oito municípios restantes possuíam áreas de cultivo de cana-de-açúcar (IMB, 2020), que foram substituídas por outro tipo de uso, visto não mais apresentarem essas áreas em 2018.

#### 2.2.4. Classificação climática e distribuição da precipitação

O clima de uma região pode ser compreendido por meio de uma série de elementos, como a temperatura e a precipitação. No caso da BHRC, para atender aos objetivos de análise optou-se pela utilização apenas de dados de precipitação.

Os valores médios anuais de precipitação, quando gerados a partir de uma série de dados de mais de três décadas, são de grande relevância para os estudos ambientais, visto que apresentam o padrão médio de precipitação esperada para determinada região. Na BHRC, a partir da compilação dos dados das oito estações pluviométricas localizadas nas proximidades, foi gerado o gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Distribuição anual da precipitação na BHRC - 35 anos.



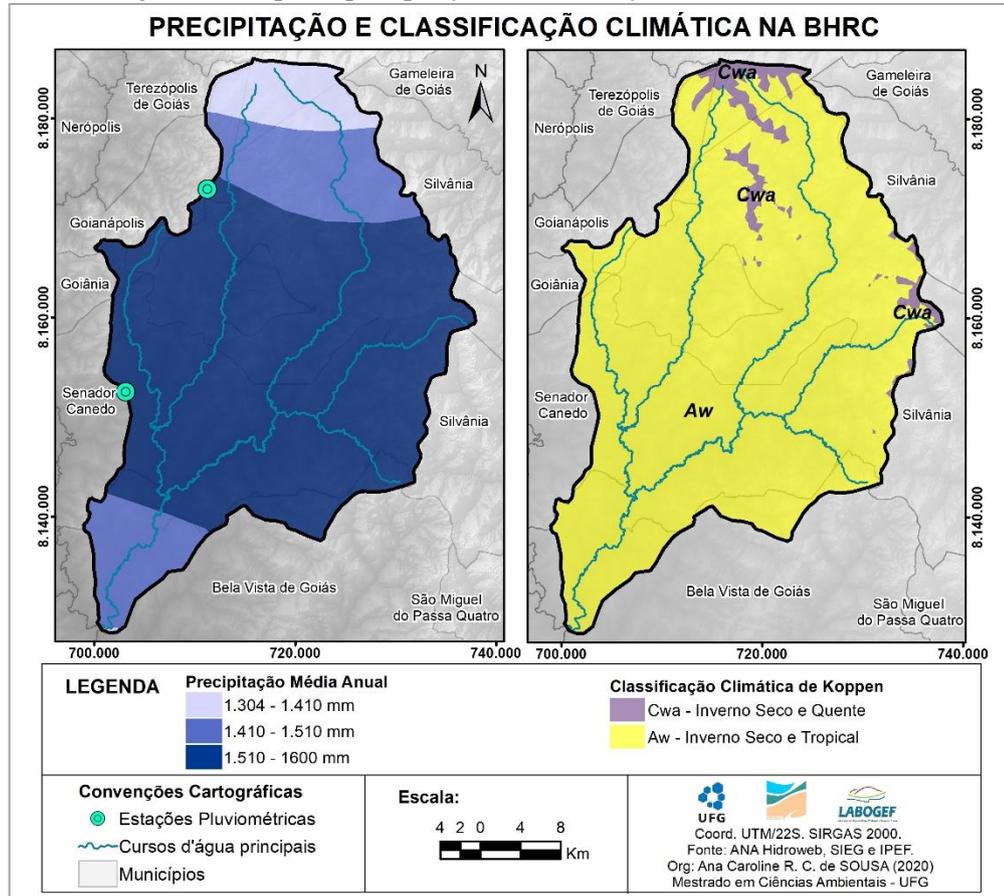
Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Do gráfico, nota-se que as variações dos valores médios de precipitação ao longo do ano seguem próximos ao padrão climático do Cerrado, que apresenta período chuvoso entre os meses de outubro e março e estiagem de abril a setembro.

O mapa de precipitação média anual e a representação espacial da classificação climática de Köppen para a BHRC estão apresentados na Figura 9. Observa-se que o intervalo entre a máxima e a mínima precipitação na área dessa bacia não é muito expressivo, ficando

em torno de 300 mm, e que região central da BHRC recebe influências de maiores níveis de precipitação (de 1.500 mm a 1.600 mm); esses valores diminuem nas extremidades norte e sul.

Figura 9 - Mapa de precipitação e classificação climática na BHRC.



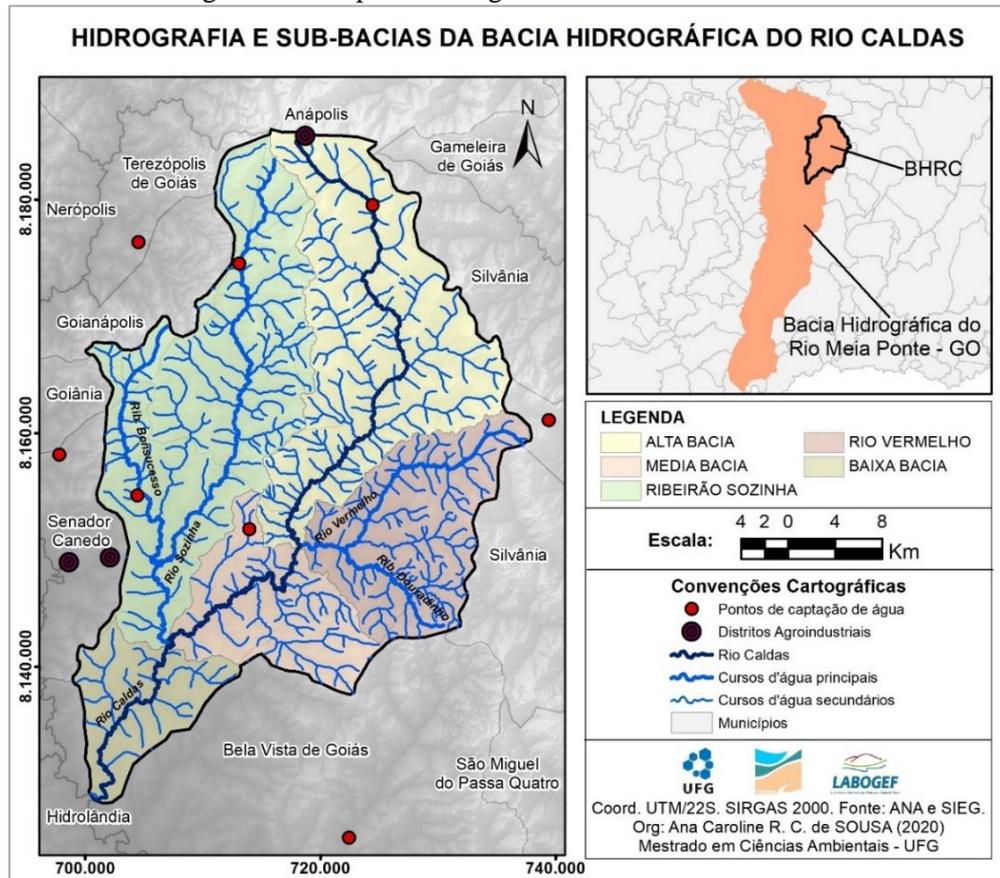
Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

A classificação climática da BHRC aponta a predominância do clima de Inverno Seco e Tropical (Aw), com algumas áreas de Inverno Seco e Quente (Cwa). Segundo Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), esses são também os dois tipos de clima predominantes no Estado de Goiás, sendo Aw um clima tropical, com característica de inverno seco, e Cwa um clima temperado (ou subtropical) úmido, com característica de inverno seco e verão quente.

### 2.2.5. Rede de drenagem e sub-bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica do rio Caldas (BHRC) é uma das sete sub-bacias inseridas na circunscrição da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (Figura 10), juntamente com as otobacias do ribeirão João Leite, ribeirão Cachoeira, ribeirão Capivara, ribeirão Capoeirão, ribeirão Inhumas e rio Dourados. Dentre estes, o rio Caldas é o de maior vazão (cerca de 6,72 m<sup>3</sup>/s) e um dos principais afluentes do rio Meia Ponte (PASQUALETTO et al., 2005).

Figura 10 - Mapa de hidrografia e sub-bacias da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

O rio Caldas é o curso d'água principal que dá nome à bacia, porém, a ele se unem rios importantes para a região, tais como o ribeirão Sozinha, ribeirão Bonsucesso, rio Vermelho e o ribeirão Douradinho. Utilizando como base esses cursos d'água, foi possível definir as sub-bacias que dividem a BHRC (Figura 10): Alta Bacia (porção nordeste, que engloba as nascentes do rio Caldas); Média Bacia (porção central da BHRC, cujos afluentes são córregos de menor porte); Baixa Bacia (porção sul, que engloba a foz do rio Caldas); Sub-bacia do Rio Sozinha (engloba o ribeirão Sozinha e seus afluentes - inclusive o ribeirão Bonsucesso); e Sub-bacia do Rio Vermelho (engloba o Rio Vermelho e seus afluentes - inclusive o ribeirão Douradinho).

Quanto à utilização dos mananciais, observa-se na Figura 10 a existência de quatro pontos de captação de água para abastecimento na BHRC: um no alto rio Caldas, cuja captação e tratamento são realizados pela CODEGO-DAIA, devido às demandas agroindustriais, e a distribuição é desempenhada pela SANEAGO – que atende com esse ponto de captação cerca de 20% do município de Anápolis; um no córrego Milho Inteiro, afluente ao rio Caldas em sua Média Bacia, que abastece o município de Caldazinha; um na porção mais superior da Sub-

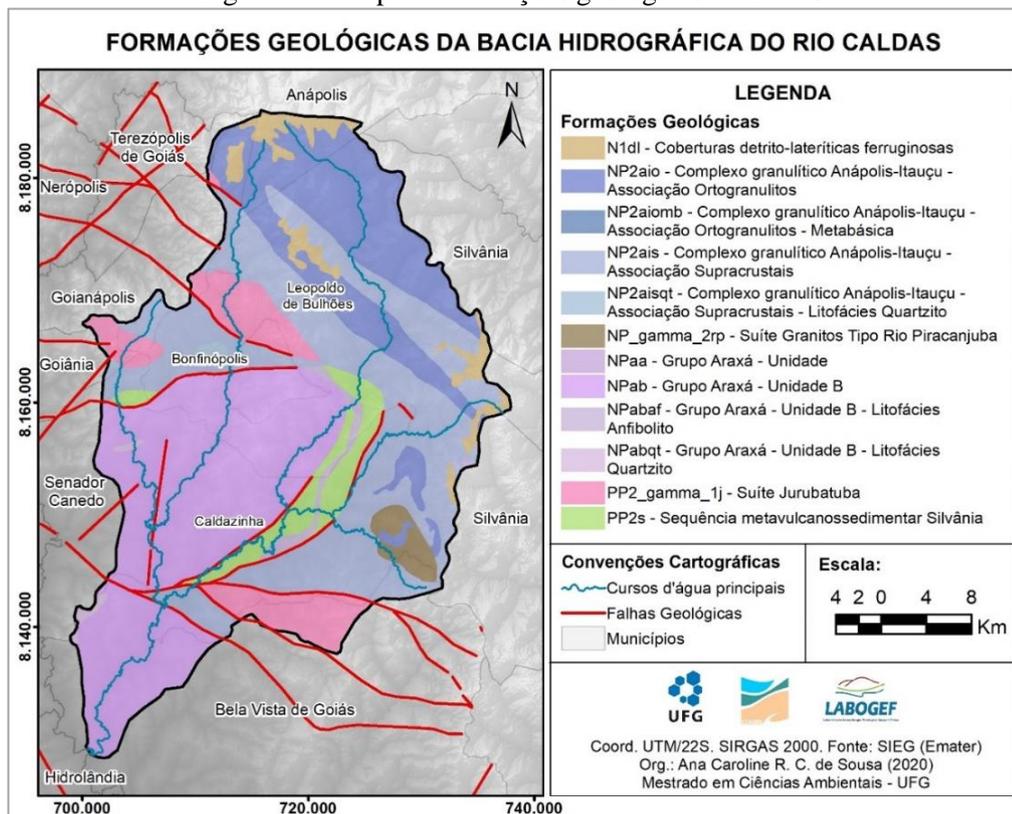
bacia do rio Sozinha, que abastece a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Goianópolis; e um no ribeirão Bonsucesso, que abastece grande parte do município de Senador Canedo por meio de do Sistema Bonsucesso (UFG, 2017; SANEAGO, 2019).

Além disso, cabe ressaltar que a barragem do Ribeirão João Leite, importante manancial de captação de água na RMG, está localizada a cerca de 4,5 km da BHRC, o que pode indicar possibilidades para um planejamento conjunto e complementar entre essas bacias hidrográficas, caso seja mantida a proposta de reservatório de captação para a RMG no rio Caldas.

### 2.2.6. Tipologia das formações geológicas

Segundo o IBGE (2009), as formações geológicas são unidades de fundamental importância para descrever e interpretar a distribuição espacial dos aspectos naturais de uma região. A geologia da BHRC foi analisada com base em suas formações geológicas, sendo um total de seis tipos de unidades geológicas, subdivididas de acordo com características de cada formação, como as associações e as litofácies (Figura 11).

Figura 11 - Mapa de formações geológicas da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

As formações geológicas da BHRC se agrupam em seis grandes grupos: Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu (48,3%), Grupo Araxá (33,1%), Coberturas Detrito-lateríticas

Ferruginosas (3,8%), Suíte Jurubatuba (8,4%), Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba (1,6%) e Sequência Metavulcanossedimentar Silvânia (4,9%). O Quadro 4 apresenta a caracterização destas formações, contendo as principais características de cada grupo.

Quadro 4 - Descrição das formações geológicas presentes na BHRC.

GEOCRONOLOGIA			FORMAÇÃO GEOLÓGICA	DEFINIÇÃO
ÉON	ERA	PERÍODO		
PROTEROZÓICO	Neoproterozóico	Criogeniano	<b>Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu</b> (48,3%)	Coloração esverdeada, bandamento e textura fina a média; às vezes encontram-se intensamente milonitizadas, associadas com processos retrometamórficos, envolvendo lentes de granulitos anfibolitizados em meio às faixas granulíticas, e imbricadas tectonicamente com os metassedimentos do Grupo Araxá.
		Toniano	<b>Grupo Araxá</b> (33,1%)	Sequência de metamorfitos, composta por metassedimentos, caracterizada por variação litológica e metamórfica, com estruturação de imbricamento tectônico e empurrões de baixo ângulo, com vergência para leste em direção ao Cráton São Francisco.
		Ediacarano		
	Paleoproterozóico	Riaciano	<b>Suíte Jurubatuba</b> (8,4%)	Características vulcano-sedimentares, altamente migmatizada e granitizada. Formado por ortognaisses de composição granítica, granodiorítica e tonalítica.
			<b>Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia</b> (4,9%)	Faixa metavulcanossedimentar, descontínua, estreita e alongada, representada pelas unidades: metavulcânica, mista e sedimentar.
FANEROZÓICO	Cenozóico	Neogeno	<b>Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas</b> (3,8%)	Sedimentos aluviais ou coluviais, distribuídos geralmente na Serra de Caldas, Chapada das Covas e a nordeste da cidade de Catalão. As concreções ferruginosas ocorrem como blocos, matações e lajedos.
PROTEROZÓICO	Neoproterozóico	Ediacarano	<b>Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba</b> (1,6%)	Série de granitóides crustais porfiríticos, de composição granítica a tonalítica, leuco a mesocráticos, de filiação cálcio-alcálica, distribuídos na porção centro-sul do estado; na maioria das vezes, há bandamento gnáissico.
		Toniano		

Organização: A autora (SOUSA, 2021). Fonte dos dados: CPRM, (1999); Fischel et al. (2001); Quirino; Clementino; Casaroli (2017).

As formações geológicas que predominam na BHRC são o Grupo Araxá e o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu. Ressalta-se duas características comuns a essas formações: ambas são relacionadas por imbricamento tectônico e datam da Era Neoproterozóica, entre cerca de 1,0 bilhão de anos e 542 milhões de anos atrás, apesar de constarem de períodos distintos.

As duas últimas formações apresentam similaridades quanto à descrição, visto que são formadas por rochas altamente deformadas, com foliação no sentido noroeste-sudeste, padrão comum das regiões mais centrais do Brasil (FISCHEL et al., 2001).

Ressalta-se que a BHRC também abrange falhas geológicas, existentes principalmente entre as formações: Grupo Araxá, Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, Suíte Jurubatuba e parte da formação Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia.

#### 2.2.7. Processos geomorfológicos e caracterização do relevo

Os processos geomorfológicos são considerados resultantes da inter-relação e evolução no tempo das variáveis climáticas, geológicas e morfológicas (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Três dos aspectos topológicos principais que caracterizam a topografia de uma região – hipsometria, declividade e formações geomorfológicas – podem ser interpretados conjuntamente. A hipsometria é definida pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009) como uma representação da altimetria de um terreno, que pode se basear em modelos digitais de elevação (MDE), de curvas de nível e de perfis topográficos, conforme os objetivos de estudo.

O relevo pode ser classificado quanto à declividade segundo o sistema de classificação de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), que possibilita a inferência quanto ao uso de mecanização nas atividades agrícolas e quanto à maior ou menor suscetibilidade dos solos à ocorrência de processos erosivos.

Nessa classificação, considera-se que: o relevo plano apresenta pequenos desníveis (0% a 3%); o relevo suave ondulado apresenta superfície pouco movimentada e desníveis suaves (3% a 8%); o ondulado possui superfície pouco movimentada, com desníveis moderados (8% a 20%); o fortemente ondulado possui superfície movimentada, presença de morros e desníveis expressivos (20% a 45%); o montanhoso é formado predominantemente por superfície acidentada, como morros e montanhas e desníveis fortes a muito fortes (45% a 75%); e o escarpado possui predominantemente superfície acidentada com formas abruptas, com desníveis maiores que 75% (EMBRAPA, 2018).

Quanto à classificação geomorfológica, o relevo das regiões que pertencem ao estado de Goiás pode ser analisado fazendo uso das metodologias de mapeamento geomorfológico de Latrubesse e Carvalho (2006) e do IBGE (2009). Ambas consideram uma organização genética ou hierárquica de fatores geomorfológicos, porém apresentam distinções.

Latrubesse e Carvalho (2006) consideram como critério de classificação das categorias geomorfológicas a dominância das geofomas identificadas no processo de mapeamento, ou seja, se elas tratam de geofomas denudacionais (erosivas) ou agradacionais (de deposição), não considerando determinantes na classificação os fatores que envolvem vegetação, clima e solos.

Os níveis geomorfológicos definidos pelo IBGE (2009) foram classificados em função de parâmetros como natureza estrutural do relevo, litologia, pedologia, clima e morfodinâmica. Além disso, como base teórica foram utilizados os trabalhos e abordagens de Jean Tricart, que propõe uma análise integrada do meio ambiente, e visa à realização de estudos ambientais e à compreensão da relação homem-natureza. Portanto, devido ao caráter mais integrado da classificação, foi adotada a metodologia do IBGE, que classifica as formas de relevo em cinco grupos: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009).

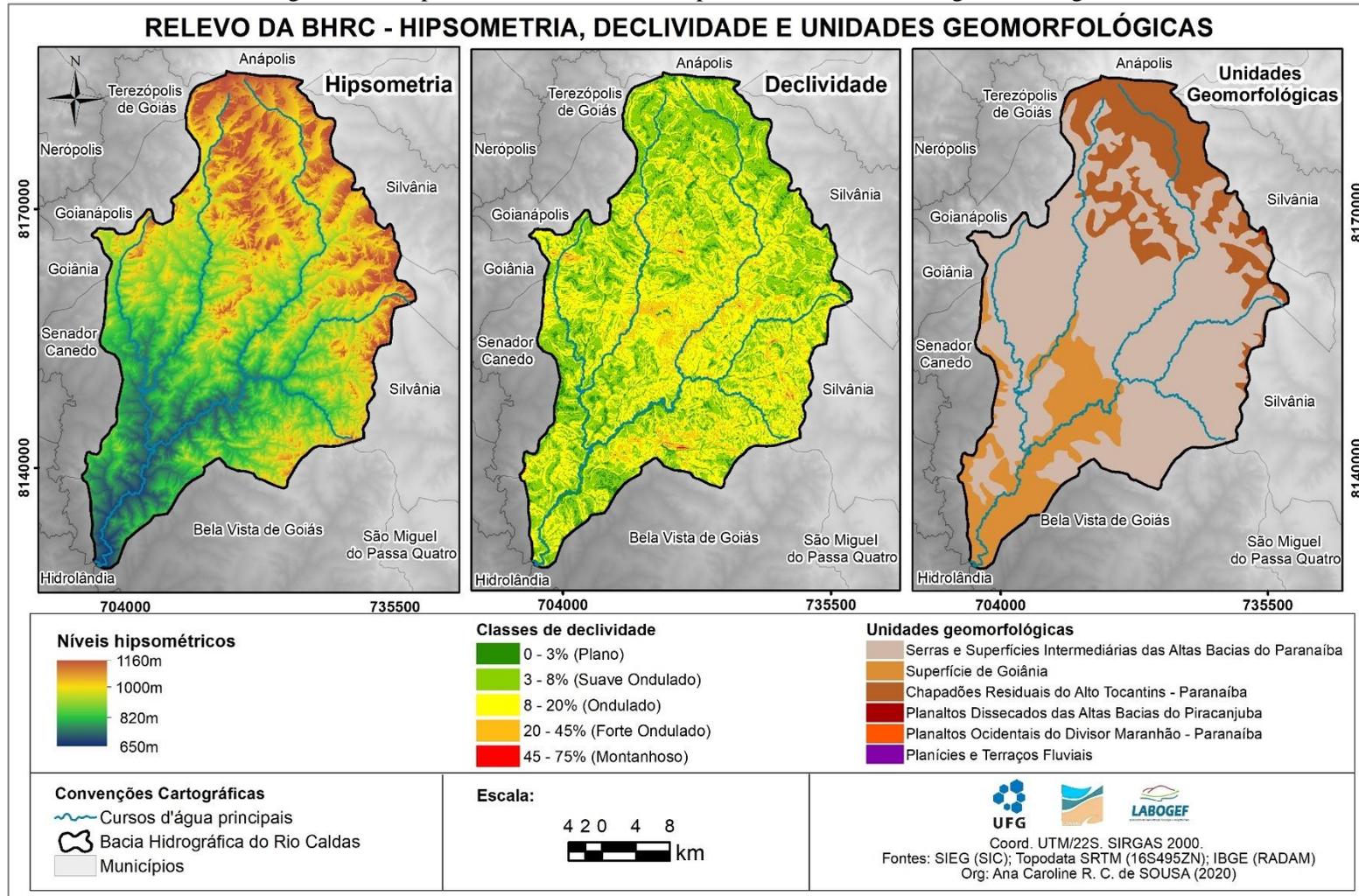
Partindo dos critérios supracitados quanto a hipsometria, declividade e formações geomorfológicas, o mapa de aspectos topográficos da BHRC está apresentado na Figura 12, onde é possível observar que a amplitude altitudinal da BHRC é de 508,7 m e que as altitudes não chegam próximas a 1800 m, valor considerado pelo Código Florestal Brasileiro como Área de Preservação Permanente (APP).

É notável que esta bacia hidrográfica apresenta poucas e isoladas áreas com relevo montanhoso (0,1%), ao contrário das áreas de relevo ondulado (44,8%) e suave ondulado (40,1%), que são predominantes na região e não apresentam correspondência direta com um tipo específico de unidade geomorfológica.

Observa-se que os Chapadões Residuais do Alto Tocantins – Paranaíba (17,2%) coincidem com áreas de relevo plano (9,2%) e com regiões de maiores altitudes. O relevo do tipo fortemente ondulado representa 5,8% do total e possui áreas expressivas na região central da bacia, que coincidem com regiões de altas altitudes. Além disso, grande parte do relevo mais movimentado está localizado na região das Serras e Superfícies Intermediárias das Altas Bacias do Paranaíba (67,2%), sendo característica natural desse tipo de formação geomorfológica.

Ressalta-se que as demais unidades geomorfológicas estão presentes em pequenas e isoladas áreas (com menos de 1% de percentual), localizadas nos divisores de águas da bacia.

Figura 12 - Mapas de relevo da BHRC: hipsometria, declividade e geomorfologia.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Outra constatação é que grande parte das áreas com relevo mais movimentado se encontra no limite entre municípios, o que pode demandar uma proteção ambiental compartilhada entre municípios em caso de danos ambientais decorrentes dessa característica.

Por fim, quanto aos modelados do relevo, segundo o IBGE (2009), há predominância de dissecação, não sendo diferenciados os dissecados homogêneos, estruturais e em ravinas; já na porção norte e nordeste da bacia, são observados modelados de aplanamento, relacionado a superfícies mais planas. Ainda, junto à foz do rio Caldas há presença de pequena área de modelado de acumulação, sendo possivelmente de origem fluvial.

#### 2.2.8. Pedologia e caracterização dos solos

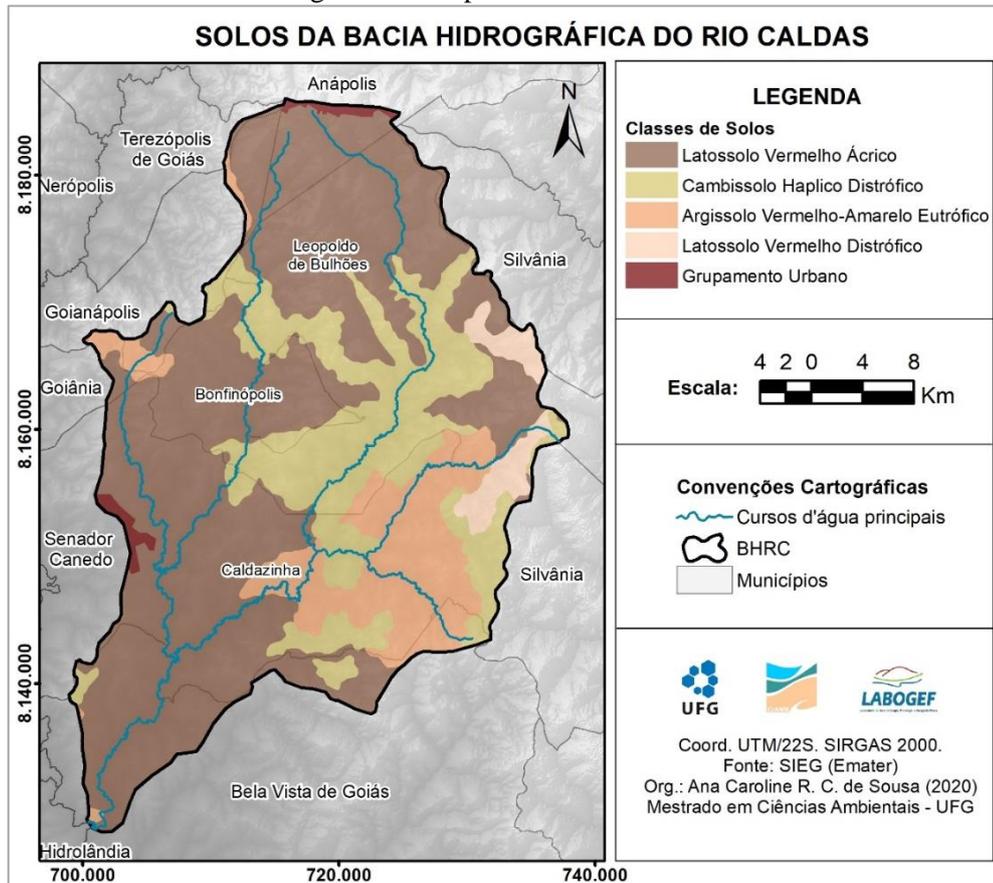
A formação dos solos é resultado da interação entre seu material de origem, relevo, clima, organismos e tempo (JENNY, 1994), logo, a pedologia é um importante aspecto de estudo da paisagem. Nesse entendimento, os solos da BHRC foram mapeados e constam na Figura 13.

O Latossolo Vermelho Ácrico (59,8%) é predominante na BHRC, seguido pelo Cambissolo Háplico Distrófico (22,6%), pelo Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (13,6%) e, em menores áreas, pelo Latossolo Vermelho Distrófico (3,0%). Além desses, a classificação da Emater considera como “Grupamento Urbano” os solos localizados nas manchas urbanas dos municípios, que representam 1% da área da bacia.

Sabe-se que os Latossolos são solos altamente intemperizados e desenvolvidos, normalmente profundos, ácidos e bem drenados, formados por alta concentração de argilominerais resistentes e por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio; resultam de um processo intensivo de latolização, ou ferratização (EMBRAPA, 2018). São considerados solos estáveis e, em geral, muito permeáveis, o que justifica sua intensiva utilização para atividades agrícolas como cultivos, pastagens e reflorestamento (KER, 1997).

Os Latossolos Vermelho Ácrico e Vermelho Distrófico se diferenciam pelas seguintes características: os primeiros possuem horizonte B latossólico e caráter ácrico em pelo menos um horizonte, e os segundos possuem baixa saturação por bases (<50%) na maior parte do início do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Figura 13 - Mapa de solos da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Já os Cambissolos são solos pouco desenvolvidos, com lenta pedogênese, caracterizados pela vasta heterogeneidade de seu material de origem, bem como de formas de relevo e condições climáticas; portanto, não apresentam um padrão generalizado de drenagem, profundidade dos solos e cor. Os Cambissolos Háplicos Distróficos, presentes na BHRC, possuem horizonte B incipiente, argila com baixa atividade e baixa saturação por bases (<50%) (EMBRAPA, 2018).

Por sua vez, os Argissolos são solos com alta evolução, mas com a latolização incompleta; possuem profundidade variável e sua textura pode ser arenosa ou argilosa. Os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos apresentam B textural e alta saturação por bases ( $\geq 50\%$ ) na maior parte do início do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Observa-se que mais da metade da BHRC apresenta solos com alto grau de intemperismo, indicando solos bem desenvolvidos e pouco erodíveis. Porém, cerca de 22,6% dos solos são pouco desenvolvidos e, conseqüentemente, mais sujeitos a erosões.

### 2.2.9. Formações de Cerrado e aspectos faunísticos

A BHRC está inserida dentro dos limites do bioma Cerrado. Segundo Ribeiro e Walter (2008), que realizaram uma classificação regional da vegetação, o Cerrado é um complexo vegetacional localizado no Planalto Central do Brasil, cujas principais fitofisionomias são baseadas em seu formato, gerado pela estrutura, pelos tipos de crescimento e por mudanças estacionais. Nesse sentido, as principais fitofisionomias de Cerrado são as formações florestais, savânicas e campestres.

Os mapeamentos realizados pelo Projeto MapBiomas, na versão 4.0 (mapas de 1985 a 2018), indicam a presença dos três tipos de formação de Cerrado na BHRC (florestas, savanas e campos nativos), além de feições vegetacionais antrópicas, como pastagens, agricultura anual e perene, agricultura semi-perene e floresta plantada, e de outras coberturas predominantemente não vegetacionais, como manchas urbanas, mineração, áreas não vegetadas e corpos d'água (MAPBIOMAS, 2019). Esses mapas serão apresentados detalhadamente na fase de Diagnóstico deste trabalho, no Capítulo III.

Sabendo da existência das feições supracitadas, é possível inferir que a BHRC é grandemente influenciada por atividades agropecuárias, que são tipos de uso do solo recorrentes na região segundo autores como Sousa, Oliveira e Machado (2019) e Santos et al. (2019). Para especificar mais detalhadamente as feições de Cerrado e os demais usos vegetacionais e conflitos antrópicos na BHRC, no Capítulo III será realizada a análise de uso do solo.

Dado que até o momento desse trabalho não foram publicados dados de caracterização ou levantamentos faunísticos para toda a região da BHRC, foram considerados como pertencentes à região os espécimes da fauna nativa levantados pelo Plano de Manejo da única unidade de conservação presente nessa bacia, a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Parque Botânico dos Kaiapós<sup>2</sup>, elaborado por Mathias, Mendonça e Mello (2016).

A RPPN Parque Botânico dos Kaiapós (80,37 ha) foi criada em julho de 2013 e está localizada em área de formação florestal e savânica entre os municípios de Caldazinha, Senador Canedo e Bela Vista de Goiás (integralmente dentro da BHRC), conforme ICMBIO (2020).

Dentro dos limites desta RPPN foram listadas espécies de avifauna, herpetofauna e mastofauna, entre as quais se encontram: *Cariama cristata* (seriema), *Colaptes campestris* (pica-pau-do-campo), *Crotophaga ani* (anu-preto), *Ramphastos toco* (tucanuçu), *Furnarius rufus* (joão-de-barro) e *Eupetomena macroura* (beija-flor-tesoura); *Ameiva ameiva* (bico-doce),

---

<sup>2</sup> A alocação e espacialização da RPPN se encontra apresentada no Capítulo IV deste trabalho.

família *Hylidae* (perereca) e *Boa constrictor* (jiboia); *Leopardus pardalis* (jaguatirica), *Tamandua tetradactyla* (tamanduá-mirim), *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará), *Euphractus sexcinctus* (tatu-peba), *Mazama gouazoubira* (veado-catingueiro), *Myrmecophaga tridactyla* (tamanduá-bandeira), *Nasua nasua* (quati) e *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) (MATHIAS; MENDONÇA; MELLO, 2016).

Segundo o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBIO, 2018), o lobo-guará e o tamanduá-bandeira são espécies vulneráveis à extinção, enquanto as demais espécies supracitadas são de menor grau preocupação.

### **2.3. Compartimentação e caracterização das Unidades Geoecológicas**

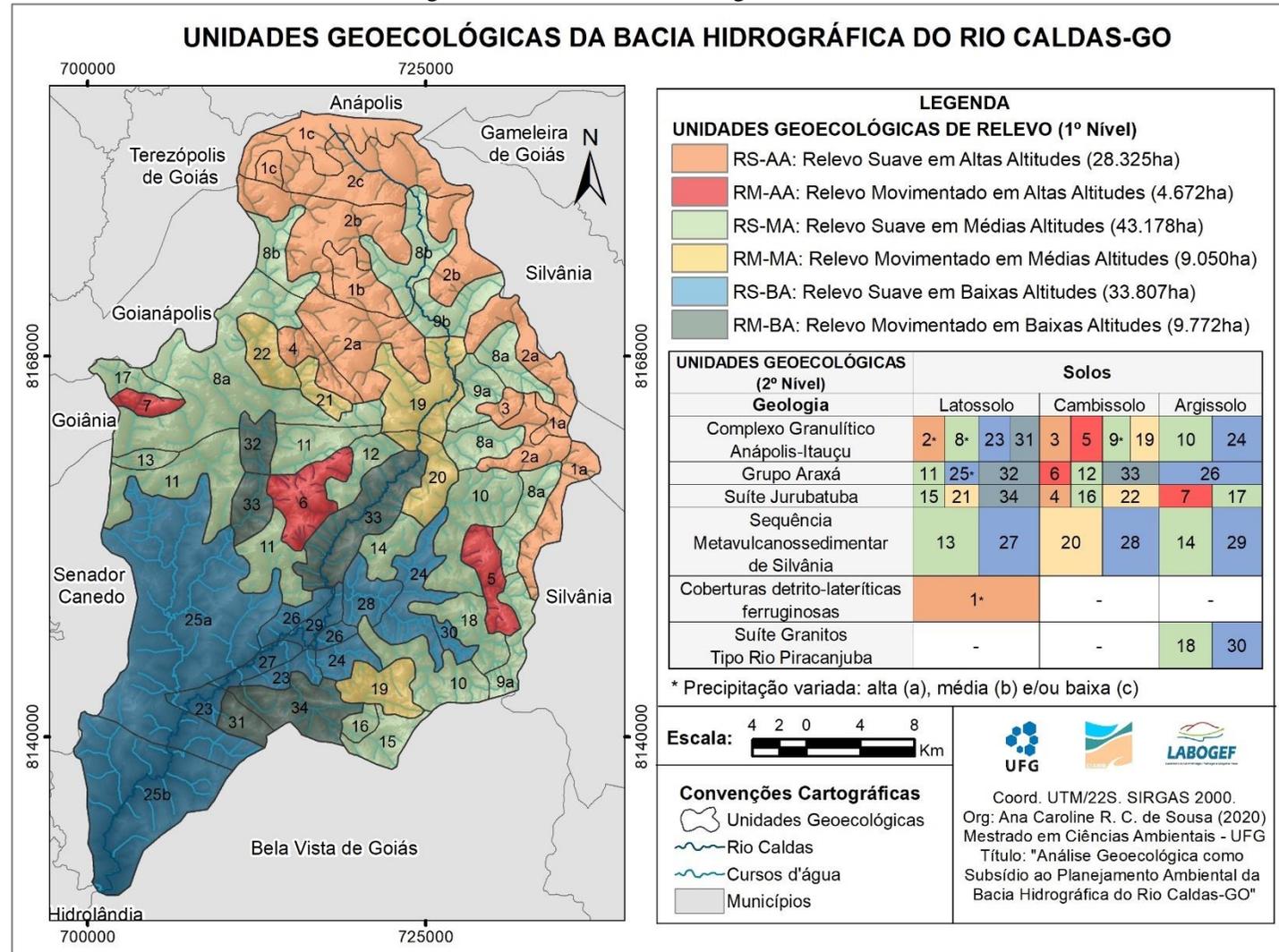
A compartimentação da BHRC conforme os aspectos de relevo, geologia, solos e precipitação resultou na tipologia de cinco grandes classes de Unidades Geoecológicas de Relevo (UGRs), subdivididas em 34 Unidades Geoecológicas (UGs) (Figura 13).

A UGR com maior área (43.178 ha) é a de Relevo Suave em Médias Altitudes, além de possuir a maior quantidade de UGs (11 no total). Já a menor UGR é a de Relevo Movimentado em Altas Altitudes, com 4.672 ha e três UGs.

Ressalta-se que as UGs cujo único fator de distinção foi a precipitação, ou seja, aquelas com relevo, geologia e solos iguais, mas padrão de precipitação distinto, foram consideradas subgrupos das UGs de 2º nível, sendo adicionado a essas um fator de identificação: a, b ou c.

Considerando a escala de compartimentação, cabe destacar que na compartimentação das UGRs foi utilizada como base as características majoritárias do relevo, portanto, nas áreas ocupadas por cada UGR pode haver presença de outras tipologias de relevo menos expressivas.

Figura 14 - Unidades Geocológicas da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

### 2.3.1. UG de Relevo Suave em Altas Altitudes (RS-AA)

A UG RS-AA está predominantemente localizada na região norte, com algumas manchas no extremo leste da BHRC. Essa UGR apresenta os três padrões de precipitação, três tipos geológicos e dois tipos de solos, ocupando uma área de 28.325 ha, e é formada por quatro grupos de UGs de 2º nível, com três subgrupos de precipitação (Quadro 5).

Quadro 5 - Unidades Geoecológicas de Relevo Suave em Altas Altitudes (RS-AA).

UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)	UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)	GEOLOGIA	SOLOS	PRECIPITAÇÃO
Relevo Suave em Altas Altitudes (RS-AA)  28.325 ha	1a	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	1b			1400 - 1500 mm
	1c			1300 - 1400 mm
	2a	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	2b			1400 - 1500 mm
	2c			1300 - 1400 mm
	3		Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	4	Suíte Jurubatuba	Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Grande parte desta UGR é formada por Latossolo Vermelho, entretanto, em regiões de altas precipitações, há presença de Cambissolo Háplico, resultando em maiores vulnerabilidades à erosão laminar (CREPANI et al., 2001), como é o caso das UGs 3 e 4.

É relevante notar que nesta UGR, mais especificamente na UG 1c, se localizam as nascentes do rio Caldas, sendo uma área onde predominam as Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas, os Latossolos Vermelhos e as baixas precipitações, combinação que não gera grande suscetibilidade erosiva, segundo os parâmetros de Crepani et al. (2001).

Em geral, o relevo suave e a grande facilidade de acesso, inclusive com a existência de ferrovia e rodovias estaduais e federais na região, tornam esta UGR propícia a mais intensas transformações da vegetação nativa e, conseqüentemente, maior fragmentação (REZZADORI; HARTMANN; HARTMANN, 2016).

Considerando as características naturais e tomando como base os pesos e denominações utilizados por Alves, Pereira e Valerio-Filho (2013), pode-se inferir que, nesta UGR, a UG 1a é a que apresenta maior potencial de infiltração, devido a seu relevo suave, solos bem drenados e profundos e precipitações mais altas. Nota-se ainda que a UG 1a está localizada próximo aos

divisores de águas da BHRC na porção leste, o que ressalta a importância da conservação dessa unidade que tende a ser útil para a recarga hídrica de afluentes ao rio Caldas.

### 2.3.2. UG de Relevo Movimentado em Altas Altitudes (RM-AA)

A UG RM-AA é a que ocupa menor área na BHRC ( $A=4.672$  ha), composta por três UGs, com três tipos de geologias, dois tipos de solos, e um padrão de precipitação (Quadro 6).

Quadro 6 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Altas Altitudes (RM-AA).

<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)</b>	<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>SOLOS</b>	<b>PRECIPITAÇÃO</b>
Relevo Movimentado em Altas Altitudes (RM-AA) 4.672 ha	5	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu	Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	6	Grupo Araxá	Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	7	Suíte Jurubatuba	Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

A principal característica da UGR RM-AA é a existência de morros ou serras mais elevados do que as demais áreas da BHRC, formando cabeceiras de drenagens importantes para a bacia, onde se espera haver maior proteção da vegetação nativa e menor fragmentação devido ao difícil acesso às atividades antrópicas.

Em RM-AA, todas as UGs fazem limite com UGRs de médias ou baixas altitudes, sendo parte de relevo plano a ondulado e parte fortemente ondulado a montanhoso. A geologia é representada pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, Grupo Araxá e Suíte Jurubatuba, que fazem composição junto com Cambissolo Háplico e Argissolo em uma região da BHRC com precipitações mais altas. Essa combinação de relevo movimentado em altas altitudes, com solos que apresentam maiores tendências erosivas e taxas de precipitação mais altas (maior erosividade) resulta em características de maior suscetibilidade natural à erosão nas três UGS (5, 6 e 7), com base em Crepani et al. (2001).

Stein, Ponçano e Saad (2003) afirmam que o potencial natural à erosão está associado às características do relevo (fatores topográficos), de modo que as áreas que apresentam maior potencialidade erosiva tendem a ser os altos vales e as cabeceiras de drenagem, enquanto as áreas com tendência aos menores potenciais são os planaltos e terraços.

Além de alta vulnerabilidade à erosão da UG 6, em seu entorno se localizam a mancha urbana do município de Caldazinha; a rodovia BR-457/GO-010, que corta a BHRC de leste a oeste; o Ramal de Goiânia da Ferrovia Centro-Atlântica; e em seu interior há presença de cerca

de 20 nascentes. Ainda, ao comparar com o mapa de sub-bacias da BHRC, verifica-se que esta UG 6 é cortada de norte a sul pelo divisor de águas de duas sub-bacias (Ribeirão Sozinha e Alta Bacia), o que enfatiza a importância da preservação de sua vegetação tanto para conservação dos solos mais vulneráveis quanto para manutenção hídrica.

A UG 7 é formada por uma combinação entre Suíte Jurubatuba, Argissolos e altas precipitações, faz limite com a Área de Proteção Ambiental (APA) do ribeirão João Leite (atual reservatório de abastecimento da RMG) e através da UG 17 (RS-MA) pode ser conectada ao Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP).

Apesar das altas precipitações nas três UGs, as características de potencial de infiltração são, em geral, pouco expressivas quando analisados integralmente o relevo movimentado – que aumenta as velocidades de escoamento, reduzindo a infiltração –, os solos mais rasos e à geologia mais resistente aos intemperismos (ALVES; PEREIRA; VALERIO-FILHO, 2013).

### 2.3.3. UG de Relevo Suave em Médias Altitudes (RS-MA)

A UG RS-MA está predominantemente localizada na faixa central da BHRC e ocupa 43.178ha. É a maior UGR – com 11 UGs – e de maior geodiversidade (cinco tipos de geologia). Apresenta todos os tipos de solo presentes na bacia e dois padrões de precipitação (Quadro 7).

O tipo de geologia predominante é o Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu. Os Argissolos se encontram, em geral, distribuídos mais na porção leste, os Cambissolos na região central e os Latossolos na porção oeste.

Devido ao relevo suave, há menor vulnerabilidade ao arraste de sólidos e nutrientes do solo, principalmente onde os solos são mais resistentes; nos demais, como as UGs 9a, 12 e 16, é importante o monitoramento, principalmente se a vegetação nativa for transformada em usos antrópicos, resultando no isolamento dos fragmentos e em maior exposição do solo.

Na UG 8b está localizado o ponto de captação de água da Estação de Tratamento de Água da CODEGO, que fornece água tratada para o DAIA e para distribuição – pela SANEAGO – em cerca de 20% do município de Anápolis. Apesar de não possuir grande vulnerabilidade à erosão, a UG 8b apresenta boas características de disponibilidade hídrica e necessidade de intensificação da proteção ambiental, visto que em 2019 houve redução na vazão do rio Caldas na região, que foi motivo de um plano de racionamento de abastecimento em quase 50 bairros da porção sul de Anápolis (SANEAGO, 2019).

Quadro 7 - Unidades Geocológicas de Relevo Suave em Médias Altitudes (RS-MA).

UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)	UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)	GEOLOGIA	SOLOS	PRECIPITAÇÃO
Relevo Suave em Médias Altitudes (RS-MA)  43.178 ha	8a	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	8b			1400 - 1500 mm
	9a		Cambissolo Háptico	1500 -1600 mm
	9b			1400 - 1500 mm
	10		Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm
	11	Grupo Araxá	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	12		Cambissolo Háptico	1500 -1600 mm
	13	Sequência	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	14	Metavulcanossedimentar Silvânia	Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm
	15	Suíte Jurubatuba	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	16		Cambissolo Háptico	1500 -1600 mm
	17		Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm
	18	Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba	Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

A UG 17 faz limite com o PEAMP, localizado na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite, que possui instrumentos de conservação definidos. Além disso, essa UG conecta a UG 7 da RM-AA (com relevo elevado) ao PEAMP, o que ressalta a importância do disciplinamento das atividades nessa região, de forma que os divisores de águas também possam atuar como conectores entre as paisagens das duas bacias.

#### 2.3.4. UG de Relevo Movimentado em Médias Altitudes (RM-MA)

A UG RM-MA ocupa 9.050ha e é composta por quatro UGs de 2º nível. Nessa UGR há presença de três geologias, dois tipos de solos e um único padrão de precipitação (Quadro 8).

O relevo movimentado não é predominante nesta região, mas a UGR se diferencia de RS-MA pela existência de quantidade expressiva de pequenas feições com relevo fortemente ondulado, garantindo uma característica que se aproxima mais do relevo adotado como movimentado.

Quadro 8 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Médias Altitudes (RM-MA).

<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)</b>	<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>SOLOS</b>	<b>PRECIPITAÇÃO</b>
Relevo Movimentado em Médias Altitudes (RM-MA)  9.050 ha	19	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu	Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	20	Sequência Metavulcanossedimentar Silvânia	Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	21	Suíte Jurubatuba	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	22		Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Das quatro UGs de RM-MA, três apresentam o solo do tipo Cambissolo Háplico (nº 19, 20 e 22) e uma do tipo Latossolo Vermelho, sendo predominantes os solos mais vulneráveis nessas regiões que possuem traços de relevo movimentado com maiores precipitações, o que implica em maior vulnerabilidade à erosão (CREPANI et al., 2001).

Esta UGR não apresenta UGs com expressivo potencial à disponibilidade hídrica devido ao relevo movimentado, solos rasos e geologias pouco permeáveis por definição (ALVES; PEREIRA; VALERIO-FILHO, 2013).

#### 2.3.5. UG de Relevo Suave em Baixas Altitudes (RS-BA)

A UG RS-BA está localizada na região mais inferior da BHRC, com 33.807 ha, e é composta por oito UGs interligadas, apresentando quatro tipos de formações geológicas, três tipos de solos e dois tipos de padrões de precipitação (Quadro 9).

A geologia predominante é o Grupo Araxá, que se faz presente tanto na região de médias precipitações (25b) quanto em altas precipitações, tendo as duas regiões separadas por falhas geológicas – que também dividem as áreas de baixas e médias altitudes, no limite nordeste da UGR. Em menores feições, há presença do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, no extremo nordeste da UGR, e da Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia.

As UGs 27 e 29 possuem áreas pequenas, mas conectadas, que estão relacionadas preponderantemente a regiões com influência direta do curso do rio Caldas e também estão associadas à mesma formação geológica, a Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia e solos distintos, sendo uma topossequência que vai do Argissolo ao Latossolo. É legalmente prevista pelo Código Florestal (BRASIL, 2012) a existência de vegetação nativa em grande

parte dessas UGs, visto que as matas ciliares são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP).

Quadro 9 - Unidades Geocológicas de Relevo Suave em Baixas Altitudes (RS-BA).

UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)	UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)	GEOLOGIA	SOLOS	PRECIPITAÇÃO
Relevo Suave em Baixas Altitudes (RS-BA)  33.807 ha	23	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	24		Argissolo Vermelho-Amarelo	
	25a	Grupo Araxá	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	25b			1400 - 1500 mm
	26		Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm
	27	Sequência Metavulcanossedimentar Silvânia	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	28		Cambissolo Háplico	
	29		Argissolo Vermelho-Amarelo	
	30	Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba	Argissolo Vermelho-Amarelo	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

A UG 25b coincide com os limites da baixa bacia do rio Caldas, onde também se localiza sua foz e é uma região com solo resistente (Latossolo) e especulada para a construção de futuro reservatório de captação de água para a RMG. Como pode ser observado, trata de uma porção do leito do rio Caldas com grande proximidade da capital e com relevo mais estável, critérios considerados por Tucci e Mendes (2013) como importantes para localização de reservatório para captação. Além disso, entrevistas com autoridades da SANEAGO apontam como região mais propícia à implantação do reservatório o trecho entre Bela Vista de Goiás e Goiânia<sup>3</sup>. Portanto, nas UGs de RS-BA, especialmente na 25b, será dada ênfase nos usos pretendidos para abastecimento público.

Oliveira e Ribeiro (2017) apontam como principais impactos nas áreas de implantação de reservatório: alteração, substituição e até extinção da fauna; transformação de fitofisionomias não-riparias em ripárias; alteração na umidade do solo; e erosão dos solos. Além disso, os autores citam a dificuldade de recuperação das novas APP nas regiões próximas ao reservatório, visto que o novo ambiente formado pela alteração do lençol freático e do nível da

<sup>3</sup> Divulgado em jornais da região como O Popular

água é distinto dos ambientes ripários naturais quanto à pedogênese e aos aspectos microclimáticos, edáficos e biológicos.

Portanto, deve-se aplicar atenção à conservação dos remanescentes de Cerrado da UG 25b, visto que a dificuldade de recuperação das APPs em um futuro próximo poderá levar a um maior grau de fragmentação nessa região.

### 2.3.6. UG de Relevo Movimentado em Baixas Altitudes (RM-BA)

A UG RM-BA possui sua característica principal relacionada à proximidade de cursos d'água, com relevo de fundo de vale, e ocupa 9.772ha. É composta por quatro UGs, com três tipos de geologias, dois tipos de solos e um padrão de precipitação (Quadro 10).

Quadro 10 - Unidades Geoecológicas de Relevo Movimentado em Baixas Altitudes (RM-BA).

<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS DE RELEVO - UGR (1º Nível)</b>	<b>UNIDADES GEOECOLÓGICAS (2º Nível)</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>SOLOS</b>	<b>PRECIPITAÇÃO</b>
Relevo Movimentado em Baixas Altitudes (RM-BA) 9.772 ha	31	Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	32	Grupo Araxá	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm
	33		Cambissolo Háplico	1500 -1600 mm
	34	Suíte Jurubatuba	Latossolo Vermelho	1500 -1600 mm

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Apesar de abranger maior quantidade de áreas com relevo suave em baixas altitudes, estas UGs são formadas por um mosaico complexo composto por feições de relevo movimentado em médias e baixas altitudes e relevo plano em médias altitudes, sendo, portanto, a característica distintiva encontrada nessas feições a grande variação do relevo e a predominância das baixas altitudes.

Por estarem predominantemente relacionadas aos cursos d'água, espera-se que boa parte da vegetação nativa esteja preservada nestas UGs, por ser legalmente definida como área protegida (APP), o que pode resultar em menores índices de fragmentação. Porém, deve-se considerar ainda que a proximidade do recurso hídrico, que é utilizado em diversas atividades econômicas, pode levar ao uso indevido das áreas ciliares, ocorrendo a fragmentação.

Quanto à vulnerabilidade à erosão, a UG 33 se apresenta como a mais suscetível dentre as demais, devido à junção entre Cambissolo e Grupo Araxá, assim como também é a UG com menor disponibilidade à infiltração hídrica, devido à baixa drenagem dos solos e menor permeabilidade da formação geológica. Considerando que essas UGs se localizam em fundos

de vales, a vulnerabilidade ao arraste de partículas de solos pode levar ao assoreamento dos cursos d'água.

#### **2.4. Considerações sobre a paisagem da BHRC**

Das fases de Organização e Inventário e de Análise, realizadas neste Capítulo 2, resultaram as considerações que seguem:

- A bacia hidrográfica do rio Caldas possui mais da metade de sua área localizada na Região Metropolitana de Goiânia e aspectos histórico-culturais vinculados à mineração e agropecuária; a socioeconomia possui fortes influências da agricultura, dos Distritos Agroindustriais de Anápolis e Senador Canedo e da Ferrovia Centro-Atlântica.
- Seu clima é predominantemente de Inverno Seco e Tropical (Aw), com algumas áreas de Inverno Seco e Quente (Cwa); a precipitação apresenta padrão de distribuição anual típico do Cerrado e taxas médias anuais que vão de 1.304 mm a 1.608 mm; a hidrografia pode ser dividida em cinco sub-bacias, sendo a maior delas a do Ribeirão Sozinha.
- Apresenta seis tipos de formações geológicas, mas são predominantes o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu e o Grupo Araxá, limitados por falhas geológicas.
- A hipsometria varia entre 650,1 m e 1158,8 m, com predominância de relevo ondulado e suave ondulado e, apesar da presença de seis unidades geomorfológicas, as Serras e Superfícies Intermediárias das Altas Bacias do Paranaíba são mais da metade da BHRC.
- Dos quatro tipos de solos, o Latossolo Vermelho Ácrico é predominante, seguido pelo Cambissolo Háplico Distrófico, e quanto à vegetação, apresenta fitofisionomias naturais de formações florestais, savânicas e campestres, cuja fauna característica inclui alguns animais vulneráveis à extinção.
- A BHRC foi compartimentada em seis Unidades Geoecológicas de 1º nível e 34 de 2º nível – sendo, em geral, as UGs de relevo movimentado (RM) as mais suscetíveis a erosões, menos suscetíveis à fragmentação e de menor potencial de infiltração e as UGs de relevo suave (RS) mais vulneráveis à fragmentação devido à intervenção antrópica, mas com maior disponibilidade hídrica quando em solos profundos.
- A Fase de Organização e Inventário e de Análise foi realizada com êxito e, no próximo Capítulo, as previsões quanto ao estado atual das UGs frente às ações antrópicas serão verificadas na Fase de Diagnóstico.

### **CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NAS UNIDADES GEOECOLÓGICAS DA BHRC: FRAGMENTAÇÃO E PERDAS DE SOLO**

A temática de transformações no uso do solo é relevante a todas as questões humanas que envolvem as terras. Nesse sentido, os conhecimentos florestais, econômicos, de conservação da biodiversidade, de agricultura, biologia e ciência do solo, bem como os demais, se deparam com um uso do solo que é dinâmico (FORMAN, 1995).

Sabe-se que a transformação da paisagem do Cerrado em larga escala pode resultar na fragmentação de habitats ou até mesmo na extinção da fauna endêmica. De outro lado, a presença de maquinários mecanizados em áreas de monocultura resulta em solos expostos, desprotegidos e compactados, mais sujeitos às erosões (KLINK; MOREIRA, 2002).

Entre os anos de 2002 e 2013, o Cerrado apresentou uma taxa de perda de vegetação nativa de 0,41% por ano, mais alta que a taxa de 0,29% para o bioma Amazônico, no mesmo período. As maiores mudanças no uso do solo no Cerrado brasileiro são referentes à transformação de vegetação nativa em pastos cultivados e áreas agrícolas, e, ainda, de pastos cultivados em áreas agrícolas (SANO et al., 2019) e esse processo de conversão gera fragmentação da vegetação.

Quantificar o nível de fragmentação de uma região requer a medição dos padrões espaciais das paisagens que a formam (FAHRIG, 2003). Para isso, as métricas de paisagem são consideradas relevantes para análises que envolvem objetivos como: descrever como uma paisagem foi transformada ao longo do tempo; realizar previsões futuras quanto às mudanças da paisagem; determinar como os padrões de paisagens distintas diferem uns dos outros; analisar estratégias de gestão do uso da terra; e determinar se um padrão espacial específico provoca alterações na movimentação dos organismos e distúrbios na distribuição de nutrientes (CARDILLE; TURNER, 2017).

De mesmo modo, a previsão dos riscos de surgimento de erosões futuras se faz tão necessária quanto a análise e controle das erosões existentes, visto que as erosões (incluindo as laminares) são influenciadas por aspectos como clima, geologia, geomorfologia, hidrologia, pedologia, cobertura da superfície do solo e antropização (JACINTHO et al., 2006).

Entende-se que a análise da vulnerabilidade de uma região permite a interpretação da paisagem de modo integrado e a observação de interferências antrópicas como desmatamentos, intensificação das erosões, degradação dos cursos d'água e uso inapropriado do solo (ALMEIDA et al., 2017).

Portanto, este capítulo engloba a Fase de Diagnóstico e, nesse intuito, buscou-se compreender a seguinte questão: como ocorreu a dinâmica espaço-temporal do uso do solo na BHRC e, em decorrência dessa dinâmica, qual é o estado da fragmentação da paisagem natural e das perdas de solo em suas unidades geoecológicas?

### **3.1. Procedimentos metodológicos para diagnóstico dos impactos ambientais**

Para análise de uso do solo da BHRC, foram utilizados os mapeamentos realizados pelo projeto multi-institucional e colaborativo MapBiomias, que disponibiliza gratuitamente mapas de uso desde 1985 até 2018 em sua versão 4.0. Os mapas do MapBiomias são gerados por classificação pixel a pixel, com base em mosaicos de 30 m de resolução de imagens Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ e Landsat 8 OLI, de períodos do ano com melhor qualidade dos pixels; os mosaicos são processados por algoritmos de aprendizagem de máquina na plataforma do Google Earth Engine, treinados pelo método de árvore de decisões (ALENCAR et al., 2020).

Para a análise, foram selecionados três anos distintos: 1988, 2000 e 2018, pois em 1988 e 2000 foram constatadas, em análise prévia, sensíveis alterações de uso do solo na região e 2018 apresenta o mapeamento mais recente disponível até a finalização desta etapa do trabalho.

Para a região da BHRC, os tipos de uso do solo classificados pelo MapBiomias são: Formação Florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Outra Formação Natural Não Florestal, Pastagem, Cultura Anual e Perene, Cultura Semi Perene, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana, Mineração, Não Identificado, Outra Área Não Vegetada e Corpos d'água.

Para validação do mapa de uso do solo e levantamento de informações para as posteriores análises de fragmentação, foram realizados dois trabalhos de campo em fevereiro de 2020. Nesse momento foram visitados locais pré-selecionados, onde há presença de fragmentos remanescentes de vegetação nativa. Nestes pontos, foram analisadas características como a classe de uso do solo, a fitofisionomia de Cerrado dos fragmentos, a matriz existente em seu entorno e possíveis avistamentos de fauna. Além desses pontos, foram utilizados na validação do mapa de uso referente a 2018 os 68 pontos georreferenciados coletados em outubro de 2017 por Sousa, Oliveira e Machado (2019).

Tendo disponíveis os mapas de uso do solo validados, foram calculadas as métricas de paisagem por meio do *software Fragstats*<sup>®</sup>. Para isso, os vetores foram convertidos para o formato matricial e, em seguida, para ASCII para serem processados no *Fragstats*<sup>®</sup>.

As métricas sob análise foram selecionadas com base em seus significados e de modo a permitir comparações com outras pesquisas desenvolvidas no Cerrado goiano, como na bacia do rio Araguaia e na microrregião Vão do Paranã. Visando analisar os impactos sobre tamanho dos fragmentos, conectividade e efeito de borda, foram selecionadas as métricas: Área de Classe (CA), Percentual de Classe (PLAND), Número de Fragmentos (NP), Total de Área Central (TCA), Índice de Área Central Total (TCAI), Total de Bordas (TE) e ENN-MN (Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo) (Quadro 11).

Quadro 11 – Métricas utilizadas na metodologia de análise

MÉTRICA	GRUPO	FÓRMULA	INTERPRETAÇÃO DA FÓRMULA
Área de Classe (CA)	Métricas de área	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{1}{10,000} \right)$	Soma das áreas (m <sup>2</sup> ) de todas as feições de mesma classe, dividida por 10.000 (conversão para ha)
Percentual da Classe (PLAND ou %LAND)	Métricas de área	$\%LAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	Soma das áreas de todas as feições de mesma classe, dividida pela área total da paisagem, multiplicado por 100 (conversão para porcentagem)
Número de Fragmentos (NP)	Métricas de fragmentos, tamanhos e variabilidade	$NP = n_i$	Total do número de fragmentos de cada classe (adimensional)
Total de Área Central (TCA)	Métricas de área central	$TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left( \frac{1}{10,000} \right)$	Soma de todas as áreas centrais de cada classe, considerando a distância de borda, dividido por 10.000 (conversão para ha)
Índice de Área Central Total (TCAI)	Métricas de área central	$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} (100)$	Soma das áreas centrais de todas as feições de mesma classe, dividida pela área total da mesma classe, multiplicado por 100 (conversão para porcentagem)
Total de Bordas (TE)	Métricas de bordas	$TE = \sum_{k=1}^{m'} e_{ik}$	Soma dos comprimentos (m) de todas as bordas que envolvem as feições de cada classe
Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo (ENN-MN)	Métricas de vizinho mais próximo	$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i}$	Soma da distância (m) até o vizinho mais próximo da mesma classe, baseada na distância borda-a-borda, dividida pelo número de fragmentos do mesmo tipo

Elaboração: A autora (SOUSA, 2021). Fonte: McGarigal e Marks (1995).

Para as métricas de área central, de bordas e de vizinho mais próximo, que consideram apenas a área nuclear dos fragmentos, em virtude do efeito de borda, foi inserido um dado de

entrada denominado “matriz de fundo”, contendo as distâncias atribuídas ao efeito de borda em cada feição de vegetação nativa – florestal, savânica e campestre (Quadro 12).

Quadro 12 – Distâncias devidas ao efeito de borda, consideradas na matriz de fundo.

Classe influenciada	Distância do efeito de borda considerado (m)					
	Pastagem	Cultura Anual e Perene	Cultura Semi Perene	Floresta Plantada	Infraestrutura Urbana	Mineração
Formação Florestal	60	60	60	30	30	30
Formação Savânica	90	60	60	30	60	30
Formação Campestre	90	60	60	30	60	30

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

As distâncias apresentadas no Quadro 12 foram atribuídas com base em critérios como a invasão de espécies exóticas decorrentes da agricultura e pecuária, o deslocamento de pessoas dentro das manchas de vegetação nativa com fins de lazer em meio rural e outros usos como descarte de resíduos em meio urbano, e questões ecológicas como o deslocamento de animais silvestres apenas na área central. Após o processamento, as métricas foram geradas para cada unidade geocológica, considerando cada ano em estudo (1988, 2000 e 2018).

Tendo em vista que a análise da fragmentação envolve diversas métricas, sendo estas consideradas variáveis, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* - PCA), assim como utilizado em Lamine et al. (2017). Esta análise multivariada foi realizada com base nos procedimentos metodológicos apresentados por Hongyu, Sandanielo e Oliveira Júnior (2016), com a finalidade de compreender quais métricas apresentam correlação entre si, quais componentes mais se destacam na análise de fragmentação das UGR e quais UGR e formações de Cerrado são mais afetadas pela fragmentação na BHRC.

Para a PCA, foram consideradas as métricas CA, NP, TCA, TE, ENN-MN. As variáveis PLAND e TCAI não foram incluídas visando evitar a redundância de dados, dado que correspondem a um percentual de CA e TCA, respectivamente.

As variáveis foram organizadas em quinze categorias, de acordo com a UGR e o tipo de formação de Cerrado: RM-AA (Florestal), RM-AA (Savânica), RM-AA (Campestre), RS-AA (F), RS-AA (S), RS-AA (C), RS-BA (F), RS-BA (S), RS-BA (C), RM-MA (F), RM-MA (S), RM-MA (C), RS-MA (F), RS-MA (S), RS-MA (C).

Para possibilitar a análise entre variáveis de unidades de medida diferentes (hectare, metros e adimensional), os dados originais das métricas foram padronizados utilizando a média e o desvio padrão, ou seja, cada valor original foi transformado em um índice que subtrai do

valor original a média e divide este resultado pelo desvio padrão de todos os valores daquela variável para cada uma das quinze categorias.

A partir das métricas padronizadas, a PCA foi realizada utilizando o software Past 4.03, com a ferramenta “*Multivariate*”, opções “*Ordination*” e “*Principal Components (PCA)*”. Neste, os dados de entrada foram as quinze linhas com os valores padronizados de cada categoria. Os dados gerados foram os valores de variância e autovalores para cada componente e cada categoria, além do gráfico em que foram plotadas as categorias em função das principais componentes, sendo a primeira no eixo X e a segunda no eixo Y. Ressalta-se que para cada ano foi realizado um processamento, resultando em três gráficos distintos para comparação.

Para diagnóstico da Vulnerabilidade à perda de solos (V) foi utilizada a metodologia de Crepani et al (2001), sendo adaptada para a bacia do rio Caldas na adoção dos pesos.

Os temas utilizados para o cálculo dos pesos de vulnerabilidade foram geologia (G), solos (S), geomorfologia (R), clima (C) e vegetação (Vg), aplicados à Equação 1, que representa a média entre todos os temas supracitados.

$$V = \frac{(G+S+R+C+Vg)}{5} \quad (1)$$

Dentro dos temas de cálculo, foram adotados parâmetros expressivamente relacionados ao desenvolvimento dos processos morfodinâmicos (CREPANI et al., 2001): a litologia das rochas, o tipo de solo, a declividade do terreno, a distribuição de precipitação e o uso do solo.

Os pesos utilizados para cada classe desses parâmetros estão apresentados no Quadro 13 e foram aplicados aos mapas de cada tema através do ArcGIS 10.5 por meio da tabela de atributos dos arquivos *shapefile* ou da ferramenta de reclassificação para os arquivos *raster*. Em seguida, tendo convertido todos os arquivos para o formato *raster*, a Equação 1 foi aplicada pela ferramenta Calculadora *Raster*, gerando os mapas finais de vulnerabilidade à erosão.

Para uma análise temporal da vulnerabilidade à perda de solos, o tema de vegetação foi considerado para todo o recorte temporal em estudo neste trabalho (1988, 2000 e 2018) possibilitando a comparação entre os anos. Considera-se importante também a análise temporal da vulnerabilidade à perda de solos, pois a variável cobertura vegetal é temporal, influenciando a interação com as outras variáveis inseridas na análise de vulnerabilidade. A vulnerabilidade à erosão foi então relacionada a cada tema, aos anos e às unidades geocológicas de 1º e 2º níveis. As legendas de todos os mapas de vulnerabilidade à erosão foram classificadas utilizando uma adaptação da escala apresentada por Crepani et al. (2001) (Quadro 14), onde quanto mais estável a paisagem, menos vulnerável será e, quanto mais instável, mais vulnerável.

Quadro 13 – Valores dos pesos de vulnerabilidade à erosão para as classes da BHRC.

<b>Tema</b>	<b>Classe</b>	<b>Vulnerabilidade*</b>
<b>Geologia</b>	Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas - N1dl (Aglomerado, Laterita, Argila, Areia / Depósitos de silte, Depósitos de areia, Depósitos de argila)	2,5
	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu - Associação Ortogranulitos - NP2aio (Charnockito, Serpentinó, Talco xisto, Metanorito, Metapiroxenito, Metagabro)	1,7
	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu - Associação Ortogranulitos - Metabásica - NP2aiomb (Metabásica)	1,3
	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu - Associação Supracrustais - NP2ais (Rocha calcissilicática, Gondito, Gnaiss, Mármore)	1,8
	Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu - Associação Supracrustais - Litofácies Quartzito - NP2aisqt (Litofácies Quartzito)	1
	Grupo Araxá - Unidade A – Npaa (Clorita xisto, Muscovita-biotita xisto / Quartzito ferruginoso, Grafita xisto, Talco xisto, Hornblenda gnaiss, Metacalcário, Muscovita quartzito)	1,7
	Grupo Araxá - Unidade B – Npab (Xisto, Clorita xisto, Muscovita biotita xisto / Sericita xisto, Muscovita quartzito)	1,7
	Grupo Araxá - Unidade B - Litofácies Anfibólito – Npabaf (Litofácies Anfibólito)	1,8
	Grupo Araxá - Unidade B - Litofácies Quartzito – Npabqt (Litofácies Quartzito)	1
	Sequência Metavulcanossedimentar Silvânia - PP2s (Xisto / Clorita xisto, Grafita xisto, Metachert, Metatufo, Metadacito)	2
	Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba - NP_gamma_2rp (Granodiorito, Álcali-feldspato granito / Metatonalito)	1,2
	Suíte Jurubatuba - PP2_gamma_1j (Metatonalito, Metagranito)	1
<b>Solos</b>	Argissolo Vermelho-Amarelo	2
	Cambissolo Háplico	2,5
	Latossolo Vermelho	1
	Grupamento Urbano	3
	Corpo d'água	1
<b>Clima</b>	100 – 125 mm/mês	1,3
	125 – 150 mm/mês	1,4
<b>Relevo</b>	<3%	1
	3 a 8%	1,5
	8 a 20%	2
	20 a 45%	2,5
	45 a 75%	3
<b>Vegetação</b>	Formação Florestal	1,2
	Formação Savânica	2,2
	Formação Campestre	2,7
	Floresta Plantada	1,7
	Pastagem	2,8
	Agricultura	3
	Infraestrutura Urbana	3
	Mineração	3
	Outra Área Não Vegetada	2,2
	Não Identificado	2,8
Corpo d'água	1	

Fonte: A autora (SOUSA, 2021). \*Valores adotados conforme Crepani et al. (2001).

Quadro 14 – Classes de legenda dos mapas de vulnerabilidade à erosão.

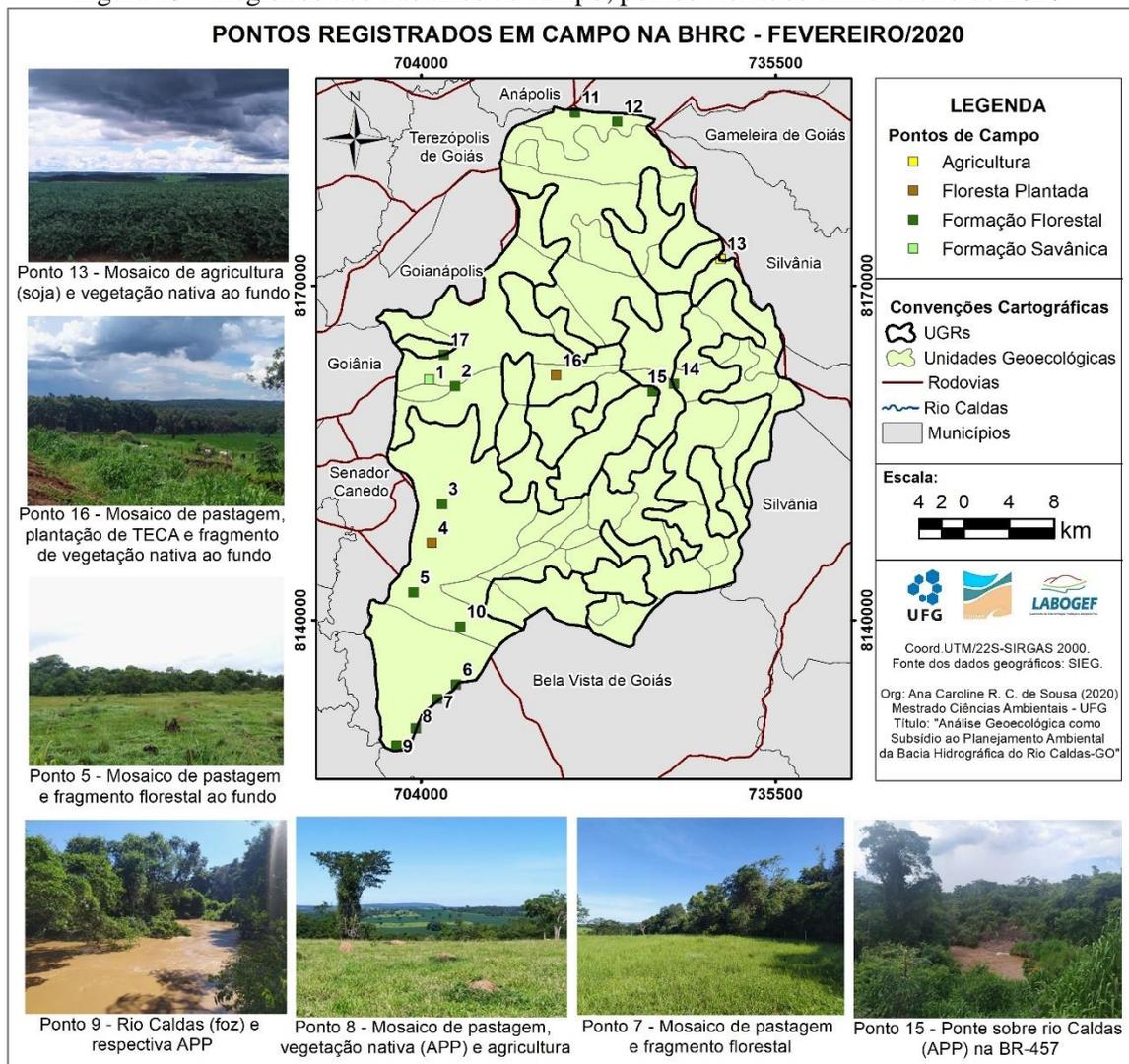
Vulnerabilidade ----->																				
Muito Baixa (Estável)				Baixa (Moderadamente Estável)				Média (Medianamente vulnerável)				Alta (Moderadamente Vulnerável)				Muito Alta (Vulnerável)				
1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3

Fonte: Adaptado de Crepani et al (2001). Organizado pela Autora.

### 3.2. Dinâmica de uso do solo na BHRC

Em visitas de campo realizadas em fevereiro de 2020, foram identificadas as classes de uso de 17 feições. Todos os pontos amostrais estão apresentados na Figura 15, contendo fotografias representativas de alguns setores da BHRC, tais como a nascente e a foz do rio Caldas e alguns dos principais mosaicos observados na região.

Figura 15 – Registros dos trabalhos de campo; pontos visitados em fevereiro de 2020.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Do total dos 84 pontos para validação considerados – 17 pontos do campo de 2020 e 67 de 2018 (SOUSA; OLIVEIRA; MACHADO, 2019) – cerca de 94% apresentou consistência com o uso do solo de 2018 do MapBiomas, enquanto cinco feições foram alteradas no mapa.

Quanto à caracterização de campo, no ponto 12 referente à vegetação de uma das nascentes do Caldas, foram constatados indícios de fragmentação, tais como a presença de *Ricinus communis* (mamona) e de vegetação ruderal, além de resíduos sólidos como entulhos e outros resíduos urbanos, aspecto que não era esperado, pois a nascente se encontra em região industrial, que em geral não exerce muita influência antrópica sobre áreas de vegetação natural.

Na APP do rio Caldas (ponto 15), foi possível observar manchas de vegetação nativa preservada na região, o que pode ser atribuído ao relevo movimentado (limite entre RM-BA e RM-MA). Nesse ponto, foi identificado um afloramento rochoso que pode estar relacionado ao Grupo Araxá ou à Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia, entre as UGs 33 e 20.

Já no ponto 8, localizado próximo à foz do rio Caldas, foram observadas áreas de cultivo agrícola de soja nas proximidades do rio Caldas, além de cultivo de cítricos, pecuária bovina e de propriedades rurais de pequeno porte com objetivo recreativo – chácaras e áreas de lazer.

Entre as regiões registradas no trabalho de campo, predominam UGRs com relevo pouco movimentado, em áreas de altas, médias e baixas altitudes. Além dos pontos identificados em campo, foram realizados registros fotográficos da fauna local (Figura 16 e Figura 17), ressaltando a presença de anfíbios e avifauna, já citados no item 2.2.9.

Figura 16 - Registro fotográfico de anfíbio (perereca) em 08/02/2020.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

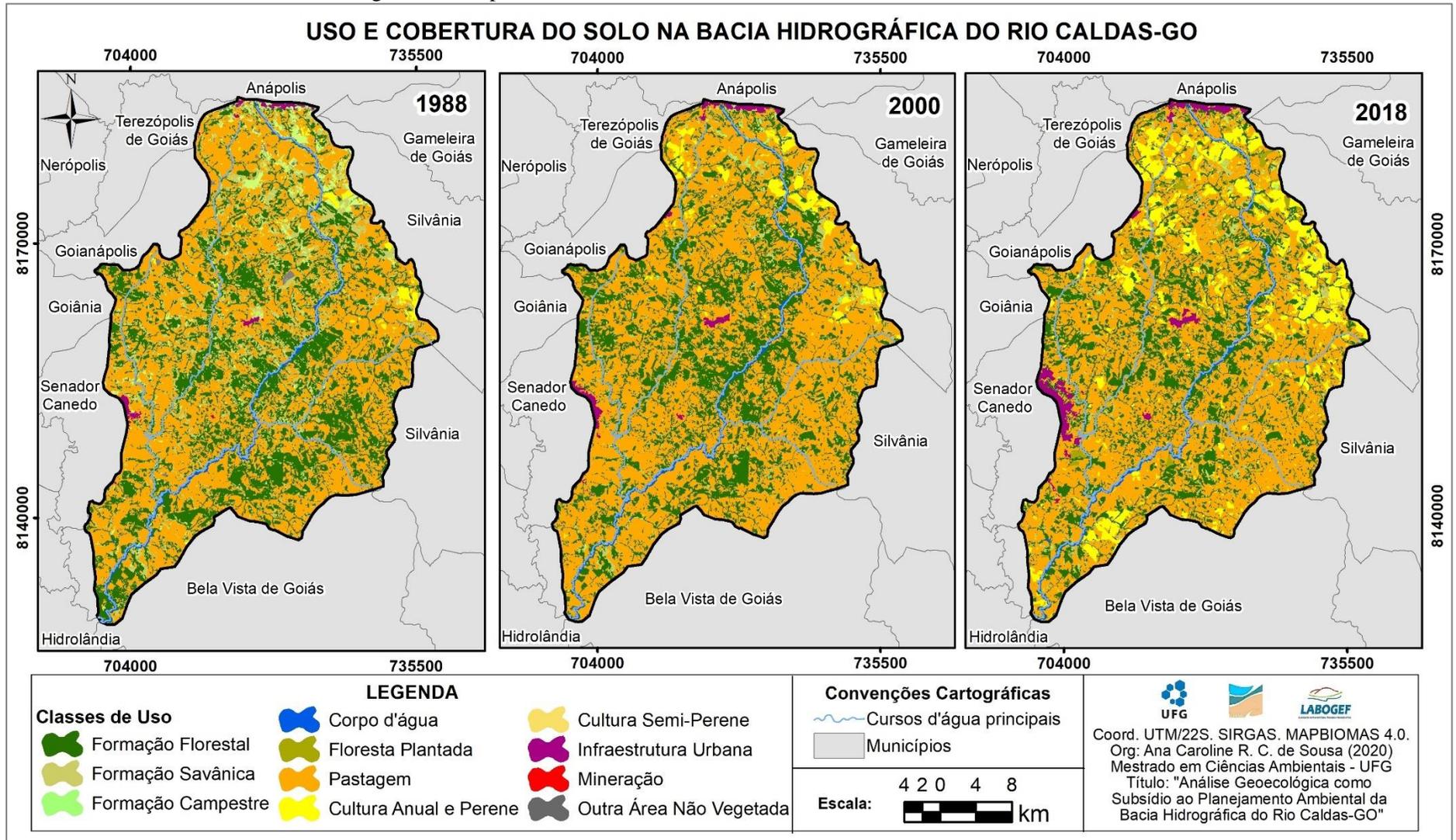
Figura 17 - Registro fotográfico de avifauna em 15/02/2020.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Por fim, destaca-se que as pastagens estão quase sempre presentes nos mosaicos paisagísticos da BHRC. Esse aspecto observado em campo valida o cenário apresentado no mapa da Figura 18, que destaca a grande predominância dessa classe de uso frente às demais, em todos os anos.

Figura 18 - Mapeamento de uso do solo da BHRC nos anos de 1988, 2000 e 2018.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Considerando a área de toda a BHRC, a Tabela 5 apresenta as métricas CA e PLAND referentes a cada categoria de uso do solo, agrupadas por tipo de classe: vegetação nativa de Cerrado (florestal, savânica e campestre), atividades agropecuárias (culturas anual e perene, semi perene, floresta plantada e pastagens) e áreas predominantemente não vegetadas (corpo d'água, infraestrutura urbana, mineração, não identificado e outras áreas não vegetadas).

Tabela 5 – Métricas CA e PLAND para as classes de uso na BHRC em 1988, 2000 e 2018.

CLASSES DE USO	1988		2000		2018	
	CA*	PLAND**	CA	PLAND	CA	PLAND
Formação Florestal	40608,36	31,53	38811,96	30,13	31923,72	24,79
Formação Savânica	15400,44	11,96	5030,19	3,91	5370,66	4,17
Formação Campestre	4215,06	3,27	711,54	0,55	679,41	0,53
<b><i>SUBTOTAL</i></b>	<b><i>60223,86</i></b>	<b><i>46,76</i></b>	<b><i>44553,69</i></b>	<b><i>34,59</i></b>	<b><i>37973,79</i></b>	<b><i>29,48</i></b>
Pastagem	65961,81	51,21	79037,46	61,36	72028,80	55,92
Cultura Anual e Perene	1056,60	0,82	3671,73	2,85	14360,85	11,15
Cultura Semi Perene	0	0	0	0	15,48	0,012
Floresta Plantada	2,52	0,002	0	0	1559,43	1,21
<b><i>SUBTOTAL</i></b>	<b><i>67020,93</i></b>	<b><i>52,03</i></b>	<b><i>82709,19</i></b>	<b><i>64,21</i></b>	<b><i>87964,56</i></b>	<b><i>68,29</i></b>
Infraestrutura Urbana	661,05	0,51	1222,92	0,95	2363,22	1,83
Mineração	0	0	0,63	0,0005	0,99	0,0008
Corpo d'Água	45,00	0,03	101,52	0,08	226,71	0,18
Outra Área Não Vegetada	848,97	0,66	212,31	0,16	272,34	0,21
Não Identificado	1,80	0,001	1,35	0,001	0	0
<b><i>SUBTOTAL</i></b>	<b><i>1556,82</i></b>	<b><i>1,21</i></b>	<b><i>1538,73</i></b>	<b><i>1,19</i></b>	<b><i>2863,26</i></b>	<b><i>2,22</i></b>

Fonte: A autora (SOUSA, 2021). Legenda: \*(ha) \*\*(%)

A seguinte dinâmica das classes de uso do solo é observada na BHRC: as classes de vegetação nativa apresentam decréscimo crescente entre 1988 e 2018 (17,28% no período total de análise) sendo que as formações florestais foram reduzidas em 1,39% no primeiro período (1988 a 2000) e em 5,35% no segundo período; já a vegetação savânica tem redução de área entre 1988 e 2000 (8,05%) e aumento de 0,26% entre 2000 e 2018; por fim, a formação campestre reduz cerca de 2,72% no primeiro período e 0,02% no segundo.

Essa dinâmica indica que as áreas com formação florestal são as mais abundantes áreas naturais presentes na BHRC, chegando a apresentar proporções das formações campestres sobre as florestais de cerca de 102:1000 (1988), 18:1000 (2000) e 21:1000 (2018), apontando a abundância da vegetação florestal e reiterando a grande redução da vegetação savânica no primeiro período e posterior aumento entre os últimos anos em análise. Já em comparação com as formações campestres, as proporções sobre as florestais são ainda menores, de cerca de 37:100 (1988), 13:100 (2000) e 16:100 (2018).

É notório que a agropecuária apresenta grande influência na BHRC, sendo quase 70% de sua área em 2018. Seguindo um percentual semelhante ao de decréscimo da vegetação natural em todo o período (17,28%), as atividades agropecuárias obtiveram aumento crescente de área de 16,27% entre 1988 e 2018, o que pode indicar que as áreas de vegetação nativa foram transformadas quase integralmente em áreas para agropecuária.

A pecuária é a atividade que se destaca em todos os anos estudados, com mais de 51% da área da BHRC em 1988, aumento de pouco mais de 10% em 2000 e posterior redução de 5,44%. Por sua vez, enquanto as áreas de pastagem aumentaram no primeiro período e reduziram no segundo, a área agrícola apresentou acréscimo de cerca de 2% no primeiro período e 9,5% no segundo, sendo que as culturas anuais, como a soja e o milho – ressaltadas no item 2.2.3 como principais produções da BHRC – são as mais representativas.

Nota-se que a dinâmica de aumento das áreas de pastagem e posterior redução devido à transformação em áreas de culturas agrícolas segue os padrões de transformação de uso do solo encontrados em regiões próximas, como no município de Silvânia-GO, onde foi verificado por Soares et al. (2019) que inicialmente as áreas naturais foram transformadas em pastagens e, mais recentemente, quando analisado 2018, cederam espaço para agricultura anual e perene.

Já as culturas semi-perenes – que têm a cana-de-açúcar reconhecida como principal representante – ocorrem em pequenas quantidades na produção da BHRC (conforme exposto no item 2.2.3), com 0,15km<sup>2</sup> de área cultivada em 2018, o que indica que a região não apresenta o padrão de transformação de culturas de grãos (anual) em cana-de-açúcar (semi-perene) que é fortemente verificado no Sudoeste Goiano, segundo Trindade, Faria e Castro (2018).

Por fim, as florestas plantadas – como o eucalipto e a *Tectona grandis*, popularmente conhecida como Teca – foram introduzidas na BHRC entre 2000 e 2018 e apresentam área de 15,52km<sup>2</sup> no último ano, mais representativa do que a área de cultura de cana-de-açúcar.

As classes de uso que contêm áreas predominantemente não vegetadas possuem pouca proeminência na BHRC. Porém, a classe de infraestrutura urbana representa o maior crescimento desse grupo em todo o período (1,32%), sendo notável no mapa da Figura 18 que todas as feições de infraestrutura urbana se expandiram entre os anos de 1988 e 2018, com maiores destaques para os municípios de Senador Canedo, Anápolis e Bonfinópolis, o que confirma o aumento do crescimento desses municípios apresentados no item 2.2.3.

Os dados ainda indicam que em 1988 não havia registro de mineração no mapa da BHRC, o que passa a ocorrer apenas em 2000, no município de Bela Vista de Goiás, e tem sua área aumentada em cerca de 0,03% em 2018. Nesse sentido, Sousa, Oliveira e Machado (2019),

em uma caracterização referente ao ano de 2017, registraram na região sul da BHRC uma pedreira que atuava com produção de blocos pré-moldados, além de atividades de usinagem de massa asfáltica, brita e pó de pedra. A presença dessas atividades mineradoras no entorno da região metropolitana da capital passa a ser demandada inclusive politicamente pelo crescimento urbano registrado nos municípios da bacia nos últimos 10 anos.

A classe de corpos d'água teve pequenos aumentos sucessivos (0,14% no total) entre 1988 e 2018, indicando que não houve alocação de grandes barramentos ou reservatórios na região. Já a classe de outras áreas não vegetadas apresentou decréscimo entre 1988 e 2000 e pequeno aumento no último período, e as feições “Não Identificadas” passaram a não existir em 2018, provavelmente devido a melhorias nos algoritmos de identificação do MapBiomias.

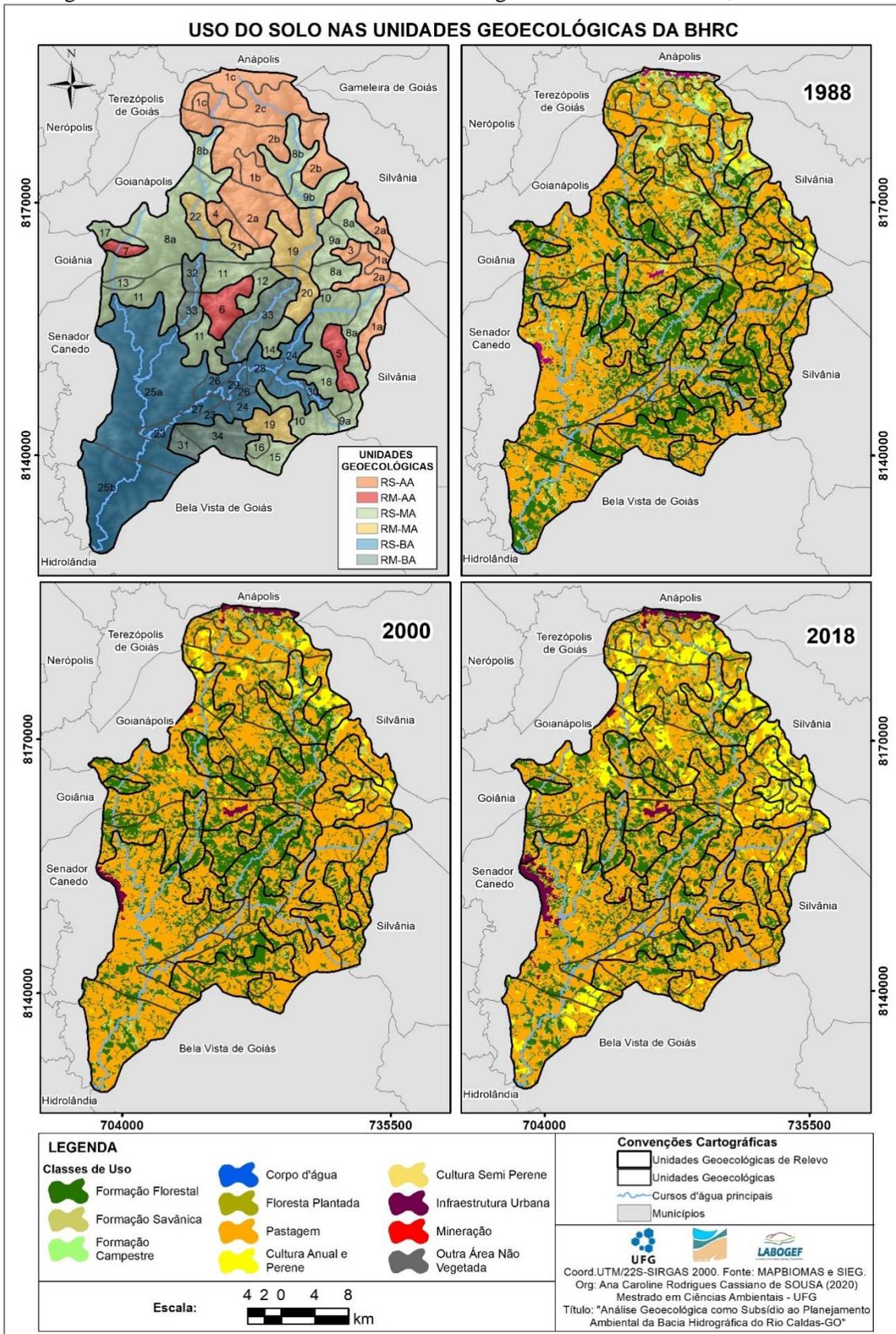
Comparando a dinâmica apresentada com os resultados de Santos et al. (2019), que analisaram a transformação de uso do solo na BHRC entre 1985 e 2017, podem ser observadas algumas divergências, tais como o aumento das pastagens, o aumento da vegetação nativa e a redução da agricultura no último período, que não foram identificadas no trabalho em curso. Estas divergências podem estar associadas ao tipo de classificador utilizado pelos autores; à quantidade de classes de uso e cobertura do solo, sendo no total sete classes, sem fazer distinção entre os tipos de formação de Cerrado, o que pode ter ocasionado possíveis erros de classificação, principalmente quanto às formações campestres e pastagens; à diferenciação entre as classes de “solo exposto” e “agricultura”, que na realidade podem estar associadas, correspondendo ao mesmo uso; e à ausência de validação em campo, dificultando a comparação de seus resultados com o observado na região.

Portanto, entende-se que os resultados apresentados no trabalho em curso representam adequadamente os padrões observados em campo, assim como se aproximam da caracterização da região realizada por Sousa, Oliveira e Machado (2019) e as paisagens culturais registradas por Vilela (2009), que relatou já em 2009 a percepção do crescimento de lavouras de soja na região (ver item 2.2.2).

### **3.3. Fragmentação da paisagem nas Unidades Geoecológicas da BHRC**

Sabendo que a fragmentação pode ocorrer de modo particularizado para cada região da BHRC de acordo com suas características geoecológicas, além de analisar toda a bacia, entende-se como importante o diagnóstico da evolução temporal da paisagem para cada UG, conforme pode ser observado nos mapas da Figura 19.

Figura 19 – Uso do solo nas Unidades Geológicas da BHRC em 1988, 2000 e 2018.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Visualmente, alguns padrões de transformação no uso e fragmentação da paisagem podem ser notados, tais como a evolução da mancha urbana na UG 1c e a noroeste da 25a; a substituição das formações campestres pela agricultura em grande parte da UGR RS-AA e a transformação de grande parte da vegetação nativa original da UG 25b em pasto e agricultura.

Essas e outras características observadas quanto à dinâmica de uso e fragmentação nas Unidades Geocológicas (UGs) da BHRC estão apresentadas no Quadro 15, por UGR.

Quadro 15 – Características da UGs e dinâmica de uso e fragmentação em UGs mais significativas.

UGR	CARACTERÍSTICAS NATURAIS E DE PLANEJAMENTO	DIAGNÓSTICO DE USO E FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM
<b>RS-AA</b> (4 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UGs vulneráveis à fragmentação;</li> <li>- <b>UG 1a:</b> maior potencial de infiltração hídrica; localizada próxima a divisores de água da BHRC.</li> <li>- <b>UG 1c:</b> nascentes do rio Caldas, próximas à expansão urbana do município de Anápolis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 1a:</b> os fragmentos remanescentes nativos foram transformados quase integralmente em áreas agrícolas entre 2000 e 2018.</li> <li>- <b>UG 1c:</b> avanço expressivo da mancha urbana sobre as nascentes; matriz urbana.</li> </ul>
<b>RM-AA</b> (3 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Três UGs vulneráveis a erosões;</li> <li>- <b>UG 6:</b> próxima à expansão urbana do município de Bonfinópolis e da ferrovia; divisor de águas de duas sub-bacias da BHRC; abrange cerca de 20 nascentes;</li> <li>- <b>UG 7:</b> faz limite com a APA do João Leite e com o PEAMP através da UG 17 (RS-MA).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 6:</b> presença de feições agrícolas em 2018, localizadas principalmente nos divisores de águas das sub-bacias; grandes remanescentes florestais ficaram mais isolados em 2018 por pastagens onde anteriormente eram conectados através de savanas e campos que foram suprimidos;</li> <li>- <b>UG 7:</b> aumento de vegetação nativa entre 1988 e 2018, com presença de formações campestres e aumento florestal; área bem conservada.</li> </ul>
<b>RS-MA</b> (11 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 8b:</b> ponto de captação de água do rio Caldas para o DAIA e parte do município de Anápolis; já sofreu racionamento pela redução do nível do rio Caldas.</li> <li>- <b>UG 17:</b> se encontra entre a UG 7 (RM-AA) e o PEAMP, servindo como conexão entre fragmentos remanescentes de Cerrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 8b:</b> aumento de áreas agrícolas entre 1988 e 2000;</li> <li>- <b>UG 17:</b> redução expressiva do tamanho dos fragmentos que conectam o remanescente nativo da UG 7 (RM-AA) ao PEAMP, dando lugar a matriz de pastagem;</li> </ul>
<b>RM-MA</b> (4 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UGs 19, 20 e 22:</b> solos vulneráveis à erosão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UGs 19, 20 e 22:</b> redução muito expressiva da vegetação florestal entre 1988 e 2018; nas UGs 19 (a sudeste da BHRC) e 20, dois grandes remanescentes foram notadamente fragmentados; na UG 22 os menores fragmentos foram convertidos; a matriz é de pastagem nas três UGs.</li> </ul>
<b>RS-BA</b> (8 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 25b:</b> coincide com os limites da Baixa Bacia; futura região de implementação de reservatório para abastecimento da RMG; vulnerável à fragmentação futura das APPs.</li> <li>- <b>UGs 27 e 29:</b> associadas às APPs de curso d'água do rio Caldas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 25b:</b> redução considerável de savanas e campos entre 1988 e 2000; redução expressiva de florestas próximas à foz do Caldas, restando em 2018 poucos fragmentos e isolados; início de expansão agrícola entre 2000 e 2018;</li> <li>- <b>UGs 27 e 29:</b> em 1988, a matriz já era de pastagem nessas UGs, com apenas pequenas manchas e muito isoladas de vegetação nativa; em 2018, foi adicionada uma área agrícola maior do que todas as nativas na UG 27.</li> </ul>
<b>RM-BA</b> (4 UGs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 33:</b> fundo de vale altamente vulnerável à erosão e, conseqüentemente, ao assoreamento no rio Caldas e no ribeirão Sozinha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>UG 33:</b> em 1988 a matriz era de Cerrado, com grande conectividade e manchas de grande tamanho; em 2018 ainda há conectividade entre grande parte dos remanescentes, mas a matriz é de pastagem e a maioria das grandes manchas foram reduzidas; a vegetação savânica foi transformada.</li> </ul>

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Das 34 UGs compartimentadas, foram analisadas as situações de uso e fragmentação nas 14 mais enfatizadas no item 2.3, consideradas mais significativas quanto às características potenciais de erosão, fragmentação e disponibilidade hídrica e quanto ao planejamento.

Foi verificada a redução da vegetação nativa em algumas UGs naturalmente vulneráveis (como as de morros – UG 6 – e de fundo de vale – UG 33), a ausência de Cerrado em UGs com funções importantes (como as de APP do Caldas – UGs 27 e 29) e a eliminação de inúmeras feições de vegetação savânica e campestre em toda a bacia hidrográfica. Já em outras UGs foi observada a recomposição de áreas de Cerrado em locais que podem estabelecer conexão com áreas protegidas vizinhas (como o PEAMP), além de manchas remanescentes em maiores ou menores dimensões, que permanecem desde 1988 em algumas UGs.

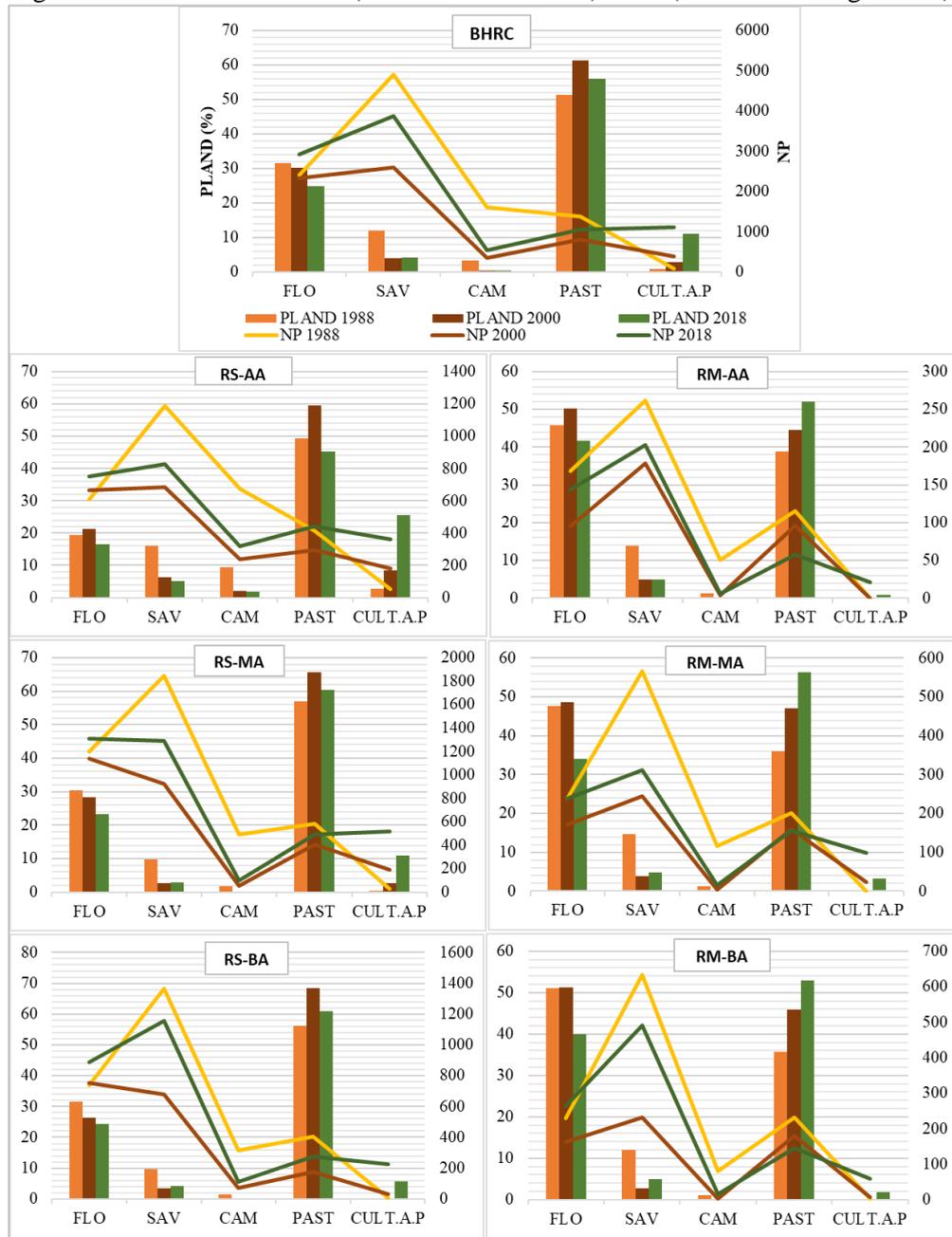
Ressalta-se a importância da análise integrada das características naturais das unidades geológicas para que sejam verificados possíveis conflitos de uso e tendências de erosão, fragmentação e conservação de funções ambientais em áreas mais significativas.

Dado que as UGR foram adotadas como primeira hierarquia de compartimentação, estas serão diagnosticadas comparativamente por meio das métricas de paisagem. Os padrões da paisagem nas UGR e em toda a BHRC foram descritos por meio de PLAND e NP, plotadas em gráficos que permitem observar a relação entre percentual de área e quantidade de fragmentos referentes às classes mais predominantes: formações florestais (FLO), savânicas (SAV) e campestres (CAM), pastagem (PAST) e cultura anual e perene (CULT. A.P) (Figura 20).

Da análise dos gráficos, reitera-se a proeminência da classe de pastagem em quase todos os períodos. Entre 2000 e 2018, a pastagem passou a predominar em todas as UGRs, representando entre 52% e 56% nas UGR com relevo movimentado e mais de 60% nas de relevo suave, à exceção de RS-AA, cuja classe agrícola tem ocupado mais espaços e reduzido a primazia do pasto.

É perceptível que em todas as UGRs de relevo suave (gráficos à esquerda na Figura 20), desde 1988, a pastagem ocupa a primeira posição em percentual de área, com padrão de: aumento de área e redução de número de fragmentos (NP) entre 1988 e 2000, configurando uma expansão com maior conectividade das pastagens nesse período; e redução de área e aumento de NP em 2018, sendo um indício de fragmentação das feições de pastagem, que cederam espaço para as áreas agrícolas nestas regiões de relevo suave.

Figura 20 – Métricas PLAND (Percentual da Classe) e NP (Número de Fragmentos).



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). Legenda: FLO=formação florestal, SAV=formação savânica, CAM=formação campestre, PAST=pastagem, CULT.A.P=cultura anual e perene; RS-AA=Relevo Suave em Altas Altitudes; RS- MA: Relevo Suave em Médias Altitudes; RS-BA=Relevo Suave em Baixas Altitudes; RM-AA=Relevo Movimentado em Altas Altitudes; RM-MA=Relevo Movimentado em Médias Altitudes; RM-BA=Relevo Movimentado em Baixas Altitudes.

Já as UGRs de relevo movimentado não seguem esse mesmo padrão, dado que em todas ocorreu a redução progressiva de NP da classe de pastagem, provavelmente devido ao aumento de áreas, o que pode configurar a união de fragmentos já existentes e consequente redução de

sua quantidade total, sendo uma expansão dessa classe, com maior conectividade. Observa-se ainda que nessas UGR ainda não é observado o modelo de redução da pastagem para ceder espaço às culturas agrícolas, o que provavelmente se explica pela maior dificuldade de mecanização agrícola nessas regiões.

Nota-se ainda que em todas as UGRs com relevo suave (RS-AA, RS-MA e RS-BA) as culturas anuais e perenes passaram a ocupar a segunda ou terceira posição em maior percentual de área em 2018, sendo que em RS-AA isso já acontece no ano 2000, enquanto nas demais apenas na análise de 2018. Ainda que a métrica NP para as culturas agrícolas tenha aumentado em todas as UGR no ano de 2018, não pode ser dito que isso configura a existência de fragmentação, visto que as áreas também aumentaram.

Essa relação entre o tipo de relevo das unidades da paisagem e suas atividades econômicas mais expressivas, em que o aumento da classe de pastagens predomina onde há declividades maiores que 20% e o aumento da classe de agricultura é mais veemente onde há relevo mais suave, também é verificada por Oliveira (2019). Isso se deve principalmente à maior facilidade de operação das atividades agrícolas em relevo plano e à adaptabilidade da pecuária em áreas mais íngremes.

As formações de Cerrado se apresentam sempre entre as classes com maiores percentuais de área, abaixo do percentual de pastagens. A formação florestal é predominante sobre as demais formações em todas as UGR, seguida pela savânica e campestre. Mesmo assim, as formações florestais foram submetidas a grandes níveis de fragmentação tanto referente a tamanho quanto a segmentação de fragmentos.

Entre 1988 e 2000, o padrão identificado nas UGR com relevo movimentado (RM-AA, RM-MA, RM-BA) e em RS-AA é de revegetação florestal, com aumento dessa classe e aumento de fragmentos (expansão em novos fragmentos) ou com aumento da classe e redução de fragmentos (união entre fragmentos já existentes). Em RS-MA e RS-BA, há redução da formação florestal junto com aumento de seus fragmentos, configurando fragmentação.

Entre 2000 e 2018, há redução das áreas florestais e aumento significativo de NP em todas as UGRs, sendo visível a extinção de muitas manchas florestais nativas na região.

As formações savânicas são as que apresentam maiores quantitativos de NP, já indicando uma alta segmentação entre seus fragmentos. Em todas as UGRs, essas formações apresentaram alta redução de NP entre 1988 e 2000, juntamente com a redução de suas áreas (extinção de diversos fragmentos e maior isolamento), enquanto no último período apresenta casos de recomposição savânica em todas as unidades, com aumento de fragmentos (maior

conectividade do que na situação anterior) exceto em RS-AA, que enfrenta redução de área e aumento de fragmentos (divisão de fragmentos já existentes e redução de seu tamanho).

Quanto às formações campestres, sua presença é praticamente concentrada na UGR RS-AA (9,3% em 1988 e 1,68% em 2018), apesar de existirem algumas poucas feições de campos nativos nas demais UGRs. Ao longo dos anos, essa vegetação deu lugar a outros usos e, em RS-AA, isso ocorreu ao mesmo tempo em que as culturas agrícolas anuais e perenes sem expandiram, o que era previsto devido ao relevo suave e fácil acesso a essa região.

A vegetação campestre sofreu redução de área em todas as UGRs, chegando ao total de 475,83ha em RS-AA, pouco mais de 80ha em RS-BA e RS-MA e menos de 15ha nas unidades com relevo movimentado, o que ressalta a maior concentração dessas feições na UGR RS-AA.

Além das notórias reduções de áreas naturais e, em geral, do aumento da segmentação dos fragmentos nas formações de Cerrado da BHRC, cabe ainda ser analisado o efeito de borda, outra consequência da fragmentação, sendo este mensurado por meio dos quantitativos de área nuclear ou central (TCA), percentual de área central total (TCAI) e área total de bordas (TE).

Devido às interferências das atividades humanas sobre os fragmentos nativos, essas métricas foram baseadas em critérios observados em campo e em outros trabalhos científicos, que refletem as influências da pastagem, agricultura e infraestrutura urbana sobre a vegetação nativa, porém com diferentes níveis de impacto para cada formação de Cerrado.

Além dos impactos já conhecidos do efeito de borda nas formações florestais (ver item 1.2), como a redução da riqueza de fauna e flora e extinção de espécies endêmicas, nas fitofisionomias savânicas e campestres o efeito de borda resulta em: a) quantidade de árvores com dispersão pela fauna tende a aumentar da borda para o interior dos fragmentos; b) tendência de decréscimo do deslocamento da fauna dispersora nas áreas de borda; c) crescimento populacional de gramíneas exóticas invasoras, que competem com as nativas pela área até cerca de 20m da borda em campo cerrado, cerrado stricto sensu, cerrado denso e cerradão; e d) as alterações no microclima desde a borda até cerca de 60m em direção ao interior (VIDAL et al., 2007; JARDIM; BATALHA, 2009; DODONOV; HARPER; SILVA-MATOS, 2013).

A realidade observada em campo aponta para uma significativa degradação das bordas dos fragmentos, com indícios da visitação de gado (excrementos) e de atividades humanas próximas a áreas nativas, inclusive em duas nascentes do rio Caldas (Figura 21 e Figura 22). Portanto, foi atribuída a distância de 30m para a influência urbana sobre as florestas e 60m sobre as demais formações, considerando ainda que a atividade de pastagem afeta a vegetação

florestal em até 60m, as formações campestres e savânicas em até 90m e as culturas agrícolas afetam até 60m para todas as formações florestais.

Figura 21 – APP de nascente do rio Caldas com pastagem e sinal de livre acesso de gado.



Fonte: Sousa, Oliveira e Machado (2019).

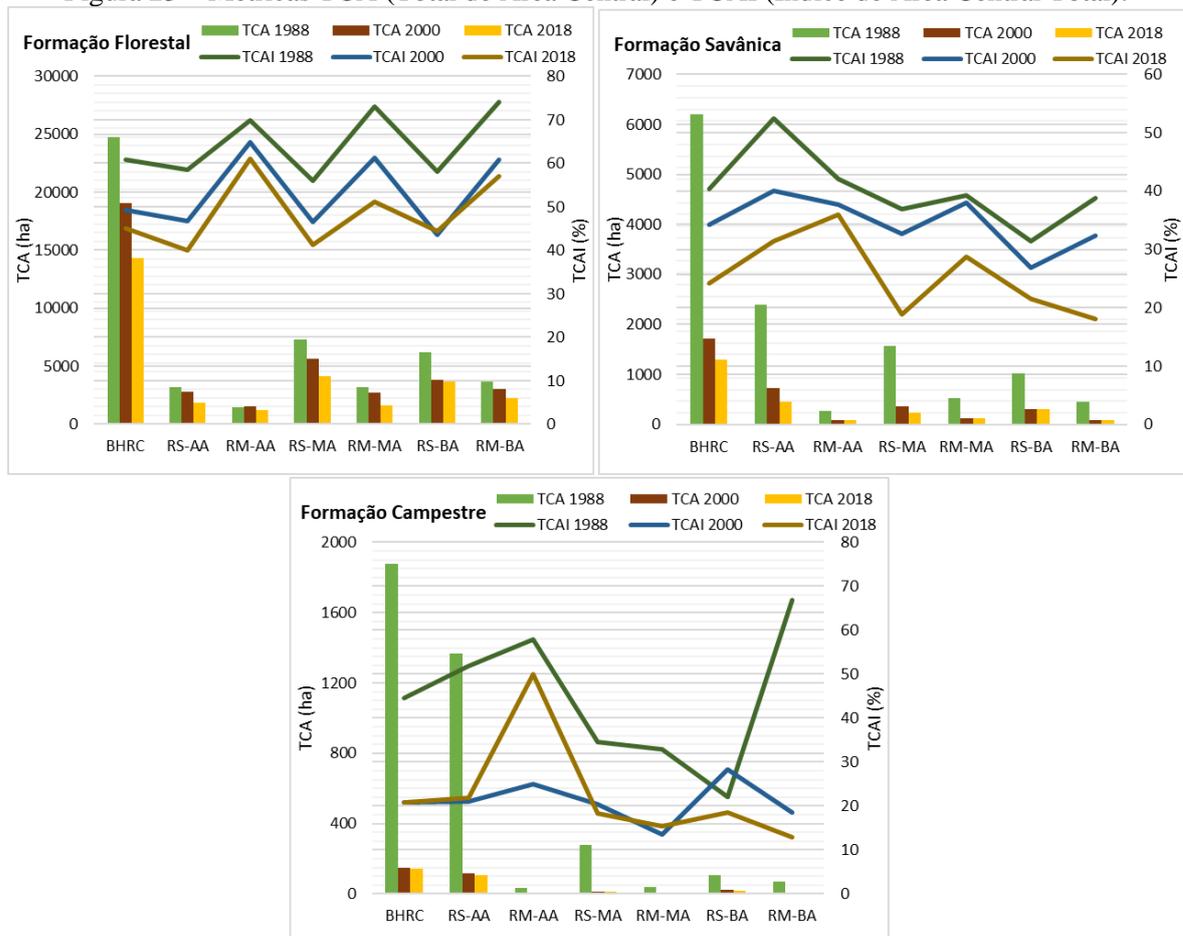
Figura 22 – APP de nascente do Caldas com resíduos de construção, plantas invasoras e vegetação ruderal.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Os valores totais de área nuclear (*core*) resultam em valores reduzidos de CA; logo, os quantitativos de TCA e de TCAI passam a ser os apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Métricas TCA (Total de Área Central) e TCAI (Índice de Área Central Total).



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Observa-se um padrão de redução progressiva de TCA na grande maioria das UGR e na BHRC, em todas as formações, com exceção da formação florestal da UGR RM-AA, que apresentava menor TCA em 1988, sofreu aumento em 2000 e posterior redução em 2018, o que pode ser explicado por uma possível recomposição de vegetação florestal, também observada pela evolução da métrica CA nesta UGR. Em corroboração desse diagnóstico, já era esperado que na UGR RM-AA houvesse vegetação florestal preservada devido ao relevo movimentado e à presença de nascentes (ver item 2.3.2), que exige a manutenção de áreas protegidas por lei.

Em todas as UGR de formação florestal (exceto RS-BA) houve redução do percentual que o TCA representa (TCAI), ou seja, as feições limítrofes aos fragmentos florestais passaram a ser mais impactantes, resultando em efeito de borda. Em RS-BA, é provável que a leve redução de TCAI entre 2000 e 2018 seja devida à conversão de áreas de entorno formadas por pastagem (distância de borda de 90 m) em feições que geram menores efeitos de borda, como agricultura (60 m), floresta plantada (30 m) ou savana (sem efeito de borda), além de que nesta UGR houve a menor redução de área florestal. Nas UGRs com relevo mais plano, a métrica TCA é maior apenas devido ao tamanho original das unidades, visto que o TCAI tende a ser menor nesses mesmos casos.

A partir dos três gráficos, nota-se que quando o efeito de borda é considerado, a área efetiva para conservação das espécies e das funções ambientais em toda a BHRC representa apenas ~45% do total de áreas florestais, 24% de savânicas e 21% de campestres, em 2018.

Apesar do maior percentual de TCAI em área florestal ser 61% para RM-AA e o menor 40% em RS-AA (em 2018), a depender do tipo de matriz, alguns animais podem aproveitar a área da borda dos fragmentos e da matriz para se deslocar.

Segundo a perspectiva da ecologia de paisagens ressaltada por Boscolo, Ferreira e Lopes (2016), isso configuraria a existência de uma conectividade funcional, que depende não apenas de fatores estruturais da paisagem, mas de características de interação da espécie com o ambiente e da permeabilidade das unidades da paisagem.

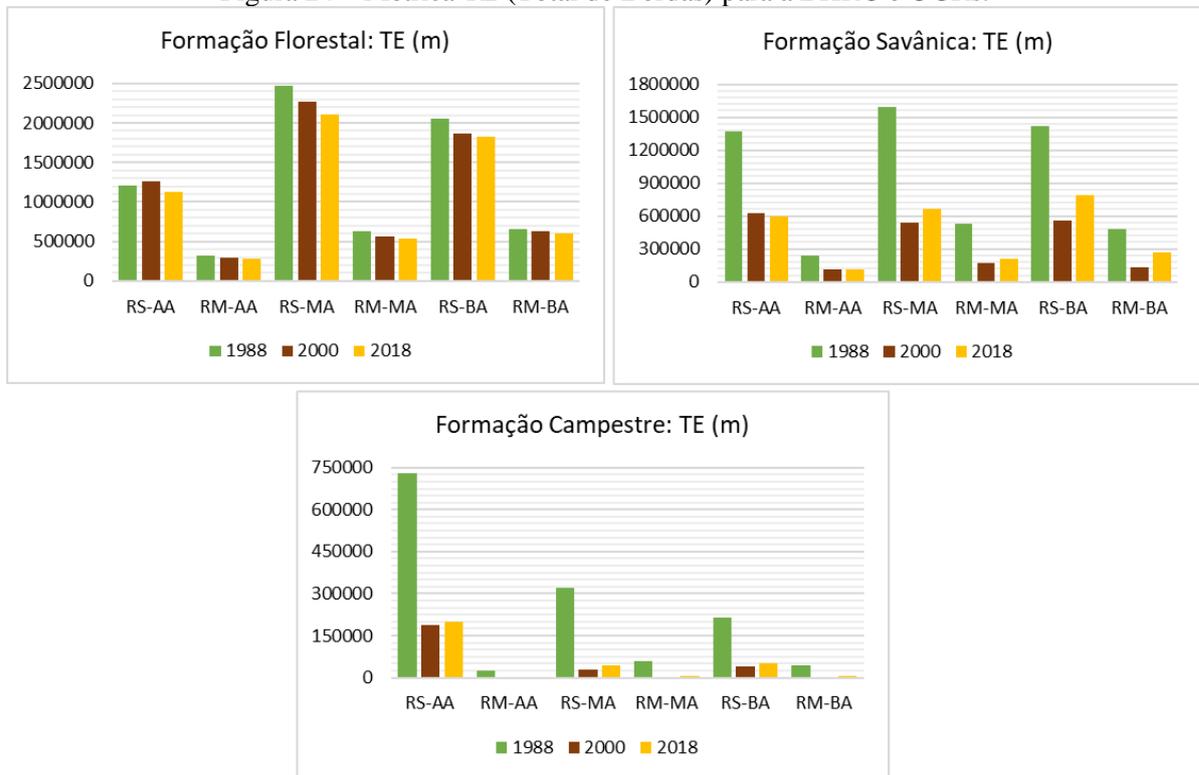
A depender da permeabilidade da matriz, alguns animais generalistas como o *Nasua nasua* (quati) e o *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) – presentes na BHRC, apresentados no item 2.2.9 – conseguem transitar por grande parte dos fragmentos antropizados, apesar de ficarem sujeitos a impactos como os atropelamentos nas rodovias e o conflito com produtores rurais (CALAÇA et al., 2010; DE PAULA et al., 2013). Outros, como os grandes carnívoros – incluindo a jaguatirica, presente na BHRC – necessitam de maiores áreas intactas, sendo mais

afetados pela fragmentação (CALAÇA et al., 2010). Devido a isso, é importante que nos planejamentos de áreas para conservação seja levada em conta não apenas a área nativa, mas as feições de entorno e seus impactos de borda.

Quanto à formação campestre, é observado que não há um padrão aparente de evolução de sua TCAI nas UGR, visto que se encontra concentrada quase exclusivamente em RS-AA.

Para analisar a evolução dos quantitativos de bordas, a métrica Total de Bordas (TE) está apresentada na Figura 24 para cada UGR, por formação de Cerrado.

Figura 24 – Métrica TE (Total de Bordas) para a BHRC e UGRs.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Observa-se que nas formações florestais o TE reduziu ao longo do tempo, indicando a princípio uma diminuição no efeito de borda – quanto maior for TE, mais intensos serão os efeitos de borda. Porém, como nesse tipo de vegetação houve aumento de NP entre os anos estudados e redução de área, infere-se que a redução de TE foi provocada pela redução do tamanho dos fragmentos, formando menores manchas e mais fragmentadas, que resultaram em bordas menores.

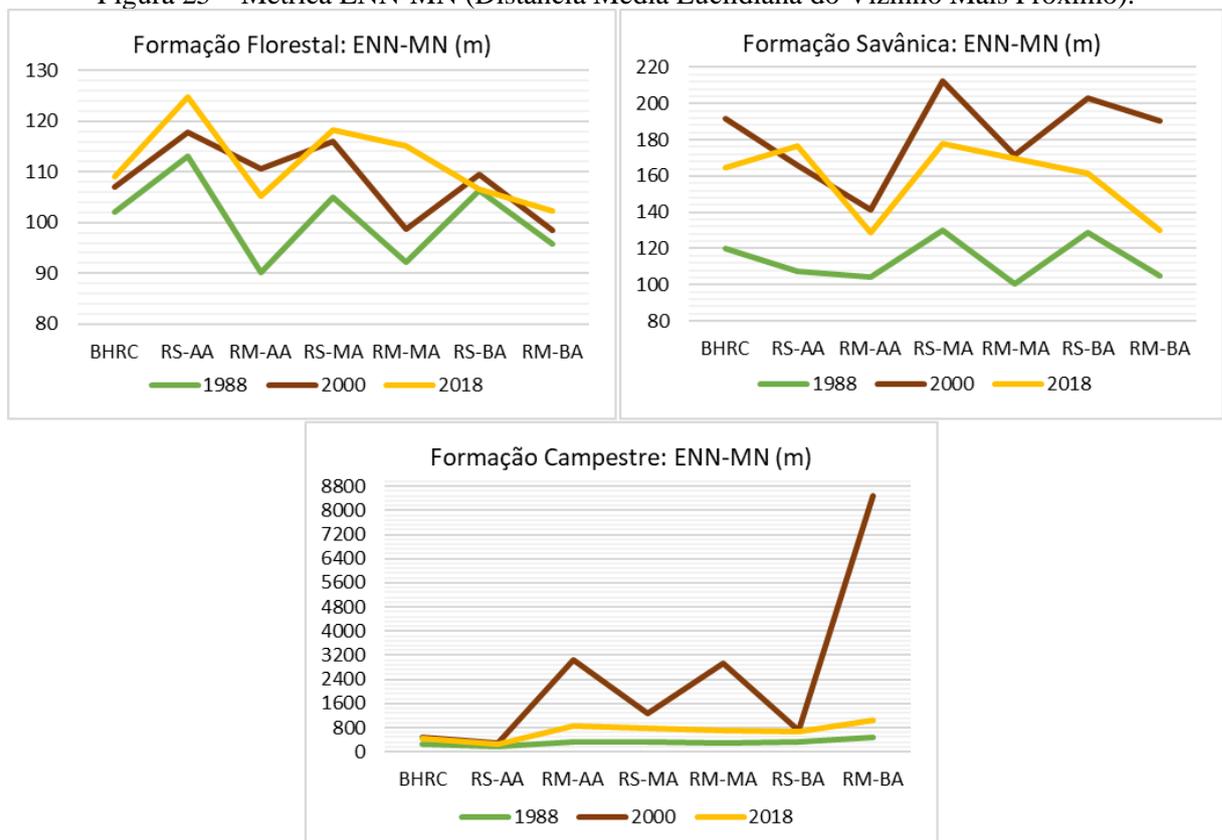
Os maiores valores de TE se relacionam às UGR com relevo suave, devido à maior quantidade de área total dessas unidades, juntamente com o que vem sendo apresentado nas outras métricas quanto à maior fragmentação nessas áreas devido à facilidade de exploração da

vegetação em relevos mais suaves. Já as formações florestais de RM-AA apresentam os menores quantitativos totais de borda, devido à menor área e maior percentual de florestas.

Para feições savânicas há um padrão de redução da quantidade de bordas entre 1988 e 2000 e posterior aumento em 2018, seguindo o que já foi verificado pelas métricas PLAND e NP quanto a uma possível revegetação ou restauração de vegetação savânica observada em 2018, principalmente em RS-BA, RM-BA e RM-MA. Nesse caso, assume-se que o aumento de áreas se deu em novos fragmentos, aumentando a quantidade de bordas – o que é verificado com o aumento do NP em todas as UGR entre os dois últimos anos de estudo.

Por fim, a conectividade ou isolamento dos fragmentos de vegetação nativa foram também mensurados pela métrica de Distância Média Euclidiana do Vizinho Mais Próximo (ENN-MN) (Figura 25).

Figura 25 – Métrica ENN-MN (Distância Média Euclidiana do Vizinho Mais Próximo).



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Os dados indicam que as formações campestres apresentam os maiores valores de ENN-MN na bacia do rio Caldas, seguidas pelas savânicas e pelas florestais. As feições florestais possuem distância entre fragmentos de mesmo tipo variando entre 102,1m e 109,1m entre 1988 e 2018, quando considerada toda a BHRC.

Esses resultados podem ser comparados aos encontrados em outras regiões do Estado de Goiás, como a bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho, no nordeste goiano, estudada por Oliveira (2019). Nesta região a autora observa certa estabilização nos quantitativos das distâncias entre fragmentos florestais, ficando em torno de 107m entre 1995 e 2016 – valores pouco mais baixos que na BHRC – enquanto para as savânicas foi verificado aumento no primeiro período e posterior redução, assim como o padrão observado na BHRC. Já nas formações campestres houve aumento progressivo das distâncias entre manchas, porém, o quantitativo de áreas campestres muito maior do que o existente na BHRC pode tornar a comparação menos assertiva.

Já na região Oeste de Goiás, representada pela bacia hidrográfica do rio Caiapó, observa-se uma dinâmica de estabilização das distâncias entre as manchas florestais entre 2005 e 2016, ficando em torno de 90m – ainda mais inferior aos valores da BHRC –, além de aumento de ENN-MN entre manchas savânicas, ficando próxima aos 90m em 2016, e redução na distância entre formações campestres, que ficaram com cerca de 100m no mesmo período, conforme o trabalho de Canedo (2018).

Em uma pesquisa na região de Rio Verde, Sudoeste Goiano, Siqueira e Faria (2019) observaram uma redução nas distâncias entre fragmentos florestais e entre campestres (próximas a 90m e 95m, respectivamente) no período de 1987 a 2016, e aumento nesta métrica para formações savânicas.

Destas comparações, observa-se que as distâncias entre fragmentos florestais da BHRC seguem um padrão de isolamento semelhante ou pouco superior ao observado em outras regiões de Goiás, quando considerada toda a bacia, e bem maior quando considerada a UGR RS-AA (124,65m).

Particularizando para cada UGR, RM-AA, RM-MA e RM-BA foram as que obtiveram as menores distâncias em 1988 (90,1m, 92,1m e 95,7m), mas se mantiveram próximas às UGR com relevo movimentado em 2018. Enquanto isso, RS-AA, unidade com maior isolamento florestal, partiu de 113,1m para 124,6m nos mesmos períodos. Em geral, à exceção de RS-BA (em que houve uma estabilização de ENN em 1988 e 2018), as demais apresentaram padrão de aumento da distância entre manchas nos anos estudados, o que implica, junto com as verificadas reduções de CA e aumentos de NP, na existência de maior isolamento atual das manchas florestais do que ocorria em anos passados.

Nas formações savânicas houve aumento de ENN-MN entre os anos de 1988 e 2000, enquanto houve redução no último período de estudo. Esse cenário corrobora a possível

recomposição da vegetação savânica entre 2000 e 2018, já verificada pelas demais métricas. Ressalta-se que em 2018 houve baixa variação dessa métrica entre RS-AA, RS-MA e RS-BA, unidades geológicas com relevo pouco movimentado, indicando que a influência da altitude não foi expressiva nesta métrica para a formação savânica no último ano.

Quanto às formações campestres, observa-se um aumento expressivo entre 1988 e 2000, principalmente nas unidades de relevo movimentado, o que pode ser explicado pela baixa quantidade de manchas (NP) campestres nessas UGR desde o início, que passou de 81 feições em 1988 para apenas 4 no ano de 2000 na UGR RM-BA. Considerando a existência de apenas 4 feições em UGs não contíguas, a distância de mais de 8 km entre uma mancha e outra pode ser melhor compreendida e identificada como um ponto fora do padrão (*outlier*).

### 3.3.1. Análise estatística da fragmentação

Visando resumir e analisar graficamente todas as métricas em estudo, a Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* - PCA), gerada com base em CA, NP, TCA, TE e ENN-MN, apontou que os dois principais componentes representam cerca de 87% da variância das métricas quando comparadas às UGR e formações de Cerrado em 1988, enquanto em 2000 e 2018 os principais componentes explicam pouco mais de 90% da variância (Tabela 6).

Tabela 6 – Autovalores e variâncias para cada Componente Principal (PC).

PC	1988			2000			2018		
	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada
1	<b>3,59</b>	<b>71,82</b>	<b>71,8</b>	<b>3,67</b>	<b>73,41</b>	<b>73,4</b>	<b>3,77</b>	<b>75,48</b>	<b>75,5</b>
2	<b>0,78</b>	<b>15,53</b>	<b>87,3</b>	<b>0,86</b>	<b>17,12</b>	<b>90,5</b>	<b>0,76</b>	<b>15,16</b>	<b>90,6</b>
3	0,62	12,37	99,7	0,45	9,00	99,5	0,46	9,12	99,8
4	0,01	0,26	100	0,02	0,45	100	0,01	0,21	100
5	0,00	0,03	100	0,00	0,01	100	0,00	0,03	100

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Trabalhos semelhantes, como o de Hongyu, Sandanielo e Oliveira Júnior (2016), obtiveram êxito com componentes PC1 e PC2 representativos de 68,13% da variância total. Por sua vez, Carneiro (2012) obteve valores de variância acumulada de PC1 e PC2 de 91,31%, quando considerada a relação entre declividade e uso do solo, e de 99,95% quando comparado o uso do solo e a pedologia.

Esse cenário em que a variância é de cerca de 90% para PC 1 e PC 2 indica que esses componentes são representativos da variabilidade das métricas em duas dimensões, enquanto os demais componentes possuem menor representatividade e podem ser suprimidos da análise

sem que informações significativas sejam perdidas (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

A supressão dos componentes não considerados principais é importante, visto que o objetivo da PCA é possibilitar a confecção de um gráfico que transforme uma grande quantidade de variáveis correlacionadas entre si em duas ou três componentes, com dimensões possíveis de serem visualizadas graficamente, e em que PC 1 e PC 2 não apresentam correlação entre si (DAULTREY, 1976).

Após a seleção dos principais componentes, foi analisada a correlação existente entre as métricas em PC 1 e PC 2 (Tabela 7). Nota-se que em todo o período temporal em análise, o PC 1 apresentou maiores frações compreendidas por TE, CA e TCA, em ordem ascendente. Além disso, nota-se que em todos os anos a métrica ENN-MN se manteve com as menores frações quanto ao PC 1, apresentando resultados negativos que indicam ausência de correlação.

Tabela 7 – Evolução da correlação entre as métricas e os Principais Componentes.

Variável	1988		2000		2018	
	PC* 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2
CA	<b>0,50</b>	0,33	<b>0,50</b>	0,23	<b>0,49</b>	0,35
NP	0,37	-0,78	0,43	-0,17	0,40	-0,47
TE	<b>0,51</b>	-0,12	<b>0,51</b>	0,15	<b>0,51</b>	0,12
TCA	<b>0,47</b>	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	0,24	<b>0,47</b>	0,42
ENN	-0,36	0,13	-0,26	<b>0,92</b>	-0,35	<b>0,68</b>

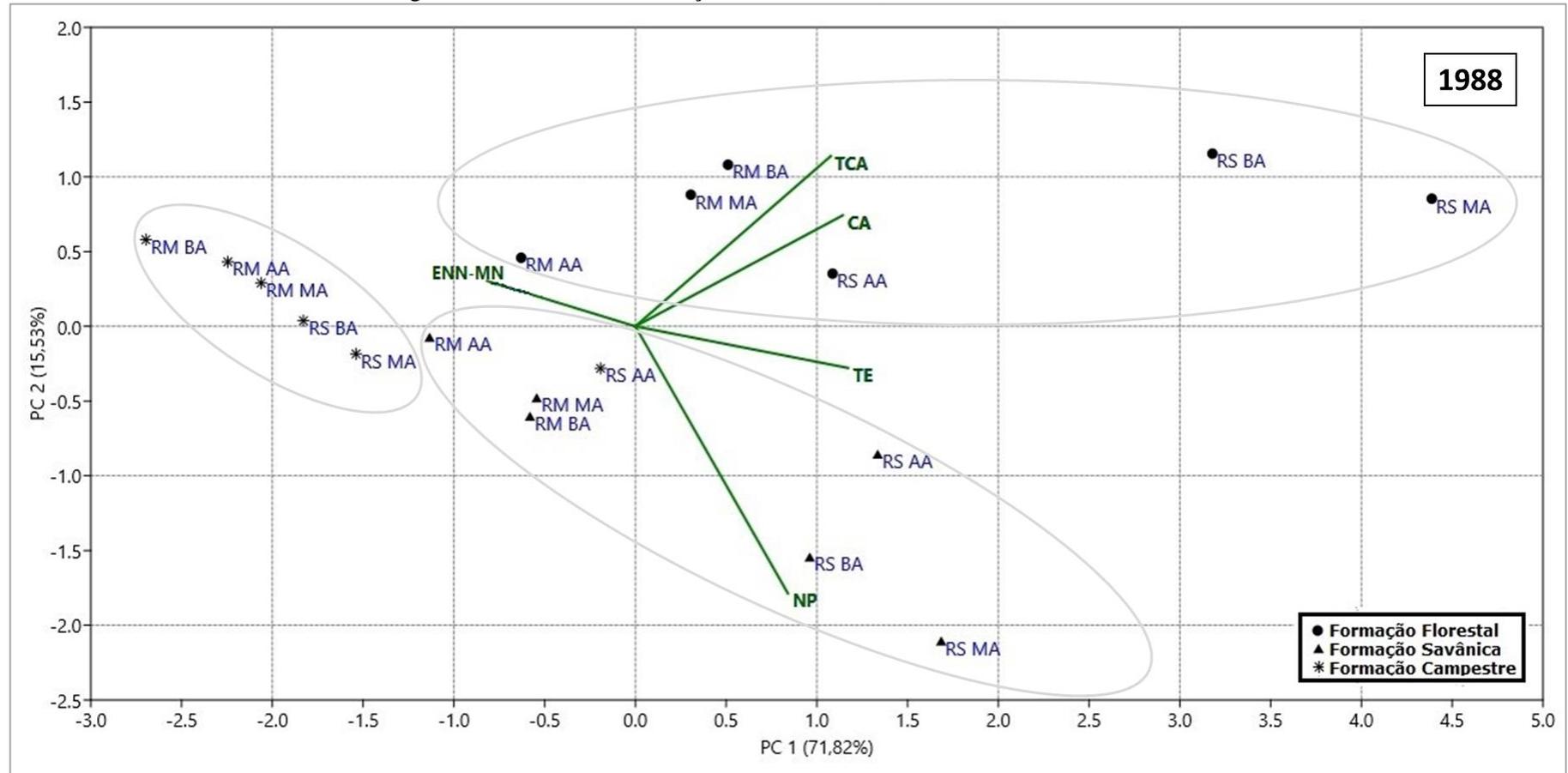
Fonte: A autora (SOUSA, 2021). Legenda: \*=percentual (%)

A maior porção de PC 2 correspondia a TCA em 1988, enquanto nos anos posteriores ENN-MN passa a assumir a primeira posição, com valores muito superiores aos demais, indicando que PC 2 passa a assumir majoritariamente a influência da métrica de isolamento, ENN-MN. Nota-se ainda que para esta componente a métrica NP apresenta sempre os menores valores, assumindo ausência de correlação entre NP e ENN-MN.

Portanto, a componente PC 1 (TE, CA e TCA) está relacionada à fragmentação vinculada à alteração do formato dos fragmentos e da área (total e core), enquanto a componente PC 2 (ENN-MN), em 2000 e 2018, diz respeito à fragmentação relacionada à conectividade estrutural ou isolamento entre as manchas de determinada UGR e formação de Cerrado.

Quanto à correlação entre as métricas em análise, os resultados da PCA plotados na Figura 26, Figura 27 e Figura 28 indicam que quando consideradas as UGRs da BHRC e suas respectivas formações de Cerrado, as métricas CA, TCA e TE possuem forte correlação (ângulo agudo entre os vetores nos gráficos), enquanto ENN-MN e NP não se correlacionam (obtusos).

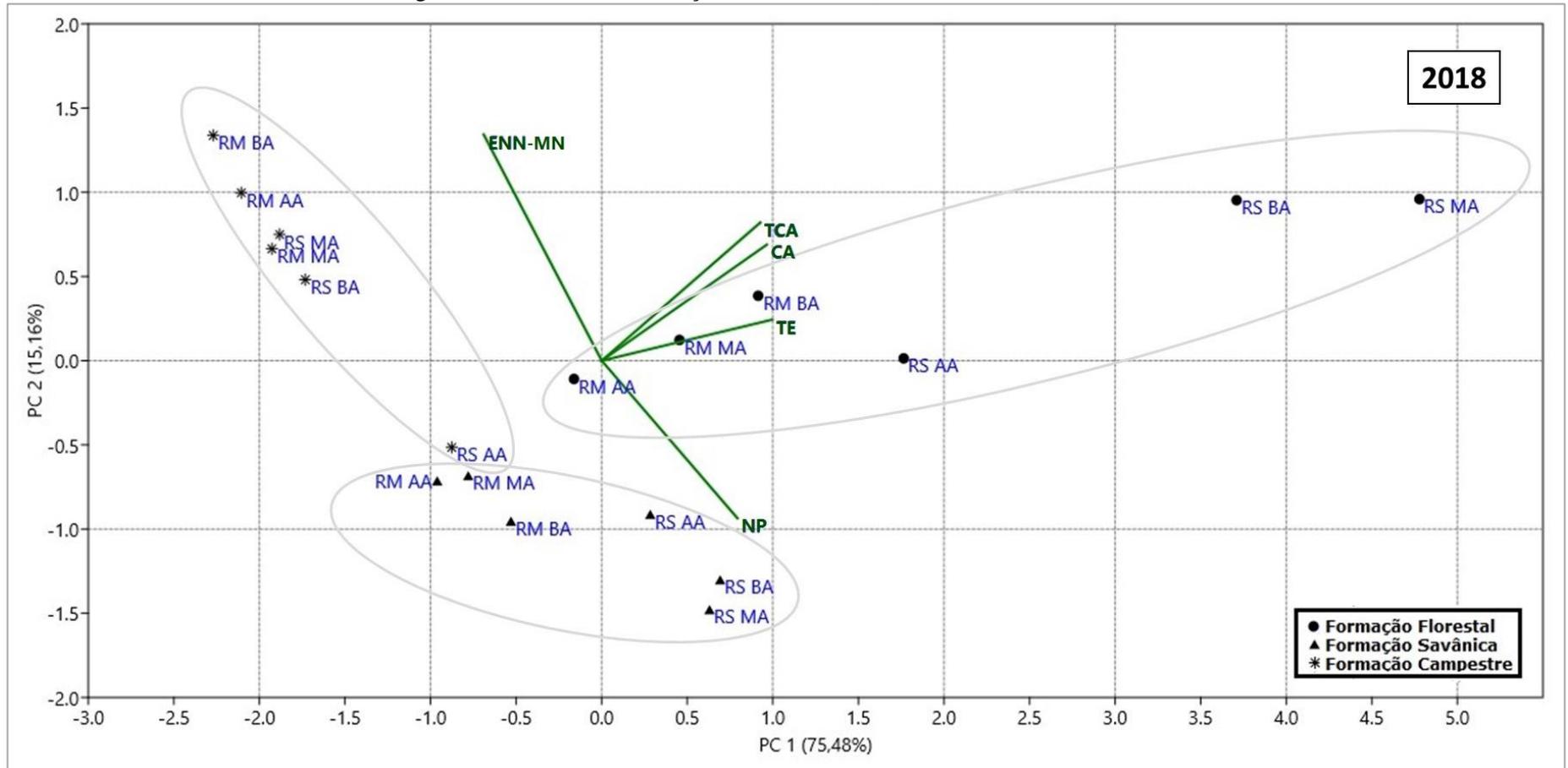
Figura 26 – Gráfico de correlação entre métricas, PC1 x PC2 e UGRs em 1988.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).



Figura 28 - Gráfico de correlação entre métricas, PC1 x PC2 e UGRs em 2018.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Os gráficos apresentam ainda a posição das UGRs de cada formação de Cerrado nos eixos X (PC 1) e Y (PC 2). Nota-se a existência de um padrão espacial para os tipos de formação de Cerrado, ou seja, em geral estes se agrupam em regiões específicas dos gráficos, nos três períodos. As formações florestais se encontram numa região que representa maiores áreas (total e central) e maiores quantidade de bordas; as áreas campestres se localizam nas regiões com menores áreas em todos os anos e maior ENN-MN em 2000 e 2018; as savânicas ficam em uma região intermediária quanto a área, mas com menores distâncias entre fragmentos.

Apesar do padrão supracitado, nota-se que algumas UGR não cumprem essas posições no mapa, devido a peculiaridades, tais como RM-AA (Florestal), que possui menor área entre as formações florestais e menor distância entre fragmentos em razão do relevo declivoso, se posicionando mais próxima à região em que se agrupam as formações savânicas; e, de mesma forma, a UGR RS-AA (Campestre) se localiza mais próxima à região de agrupamento das formações savânicas, o que pode ser explicado pelo fato de que nesta UGR se encontram as maiores áreas de formação campestre da bacia, o que aumenta seus valores de CA e TCA, e diminui os de ENN-MN.

Pode-se concluir que formação de Cerrado que apresentará maiores impactos da fragmentação é a que se encontra mais próxima do limite superior esquerdo, já que apresentará menores áreas (geral e core) e maior distanciamento entre fragmentos. Nesse caso, as UGRs campestres podem ser consideradas as mais impactadas na BHRC.

Observa-se ainda que os padrões verificados na análise multivariada das métricas seguem os que foram analisados individualmente, tais como: a) UGRs com formação campestre são as mais fragmentadas da BHRC (em área e isolamento); b) UGRs de mesma formação de Cerrado possuem características mais próximas quanto à fragmentação; c) UGRs com relevo plano são sujeitas a maior isolamento das manchas florestais (ENN-MN); d) UGRs com relevo plano possuem os maiores valores de borda (TE).

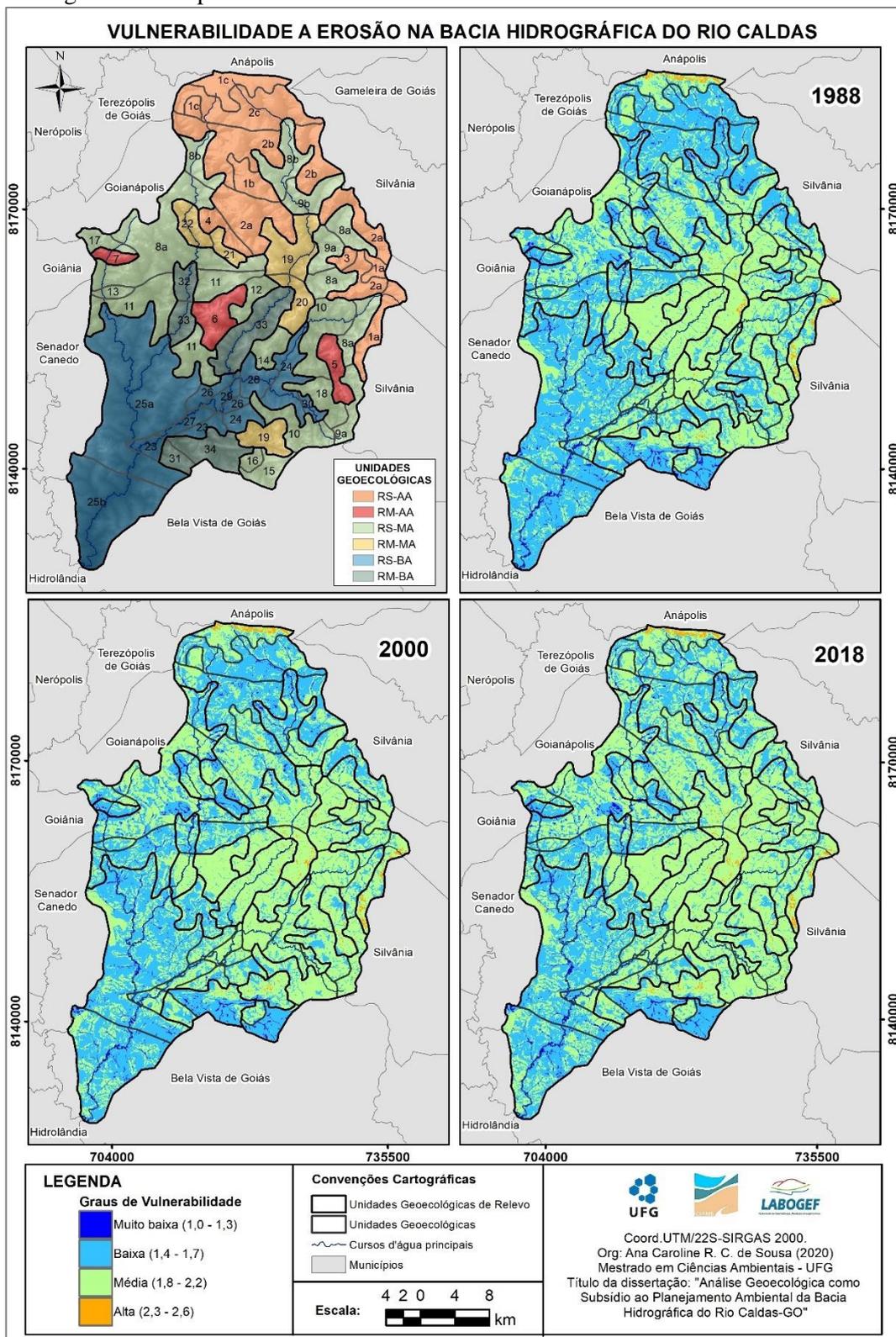
Entende-se que a PCA se mostrou útil para a análise simultânea das métricas que descrevem a paisagem da BHRC, permitindo compreender quais regiões são mais afetadas pela fragmentação, seja devida ao formato e redução de área ou devida ao isolamento.

### **3.4. Vulnerabilidade à perda de solos nas Unidades Geocológicas da BHRC**

A vulnerabilidade erosiva da BHRC foi mapeada para os três anos (Figura 29), considerando que os valores mais próximos de 1 representam feições mais estáveis ou menos vulneráveis (onde prevalece a pedogênese), mais próximos de 2 são intermediários (equilíbrio

entre pedogênese e morfogênese) e próximos de 3 são mais instáveis ou vulneráveis (prevalece a morfogênese) (CREPANI et al., 2001).

Figura 29 – Mapas de vulnerabilidade à erosão na BHRC e detalhamento das UGs.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Em 1988, as áreas de baixas e médias vulnerabilidades da BHRC apresentavam o mesmo quantitativo percentual (48,6%), enquanto em 2000 as médias se tornaram predominantes (53,7% contra 43,6% das baixas) e em 2018 chegaram a quase 60% (contra 37,6% das baixas). Neste recorte temporal, as áreas com muito baixa e alta vulnerabilidades permaneceram com valores médios próximos a 2% e 0,6%, respectivamente.

É possível observar nos mapas que desde 1988 as áreas mais vulneráveis (alta vulnerabilidade) estão mais concentradas na porção sudeste da bacia do rio Caldas, mas também se relacionam a áreas urbanas e impermeáveis no extremo norte dessa bacia (perímetro urbano de Anápolis) e na mancha urbana de Senador Canedo. Além dessas feições, no centro-leste ocorrem áreas de alta vulnerabilidade mais relacionadas aos padrões de relevo.

Nota-se o avanço de áreas com médio grau de vulnerabilidade entre 1988 e 2000, principalmente substituindo áreas de baixa vulnerabilidade. Na alta bacia, a conversão do grau baixo (em azul no mapa) para o grau médio (em verde) é notável, sendo um padrão que se repete em todas as UGRs e fica mais expressivo nas UGs próximas às nascentes, em 2018.

As áreas de alta vulnerabilidade também aumentaram ao longo do tempo, porém estes acréscimos ocorreram majoritariamente no entorno de áreas que já eram caracterizadas como de alta vulnerabilidade, o que indica que há uma tendência de crescimento dos maiores graus nas proximidades de áreas já afetadas, sendo áreas sob alerta para conservação, visto que possuem tendência de futura alteração antrópica.

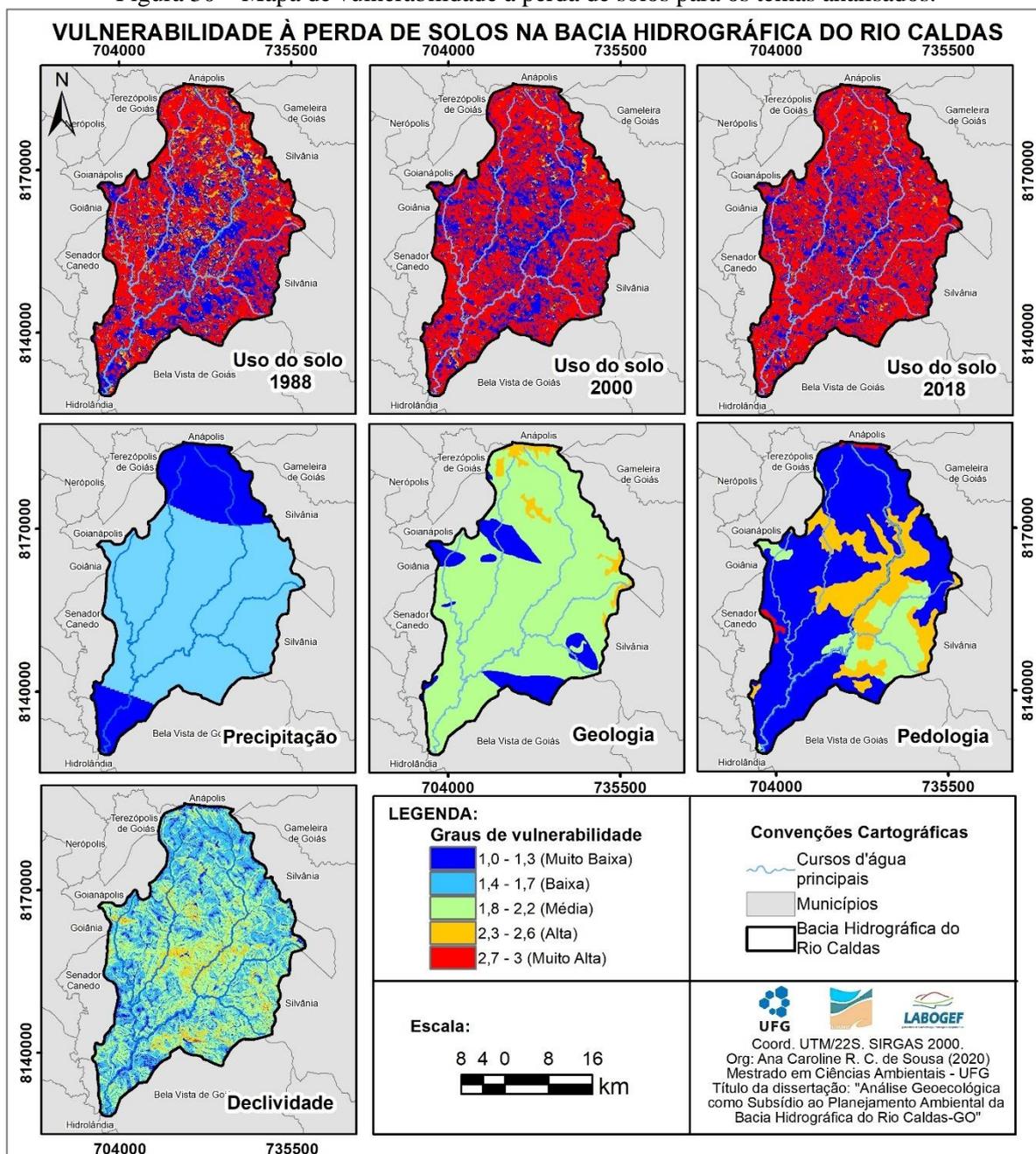
Em análise visual dos entornos de cursos d'água da BHRC, que por lei federal são considerados áreas protegidas, é evidenciado que alguns cursos d'água passaram a ter suas APPs mais instabilizadas devido a usos indevidos, ratificando os resultados de Santos et al. (2019), que destacaram a existência de muitas APPs com usos antrópicos irregulares nessa bacia em 2017. Porém, esse não é o único padrão observado na BHRC, visto que em outros cursos d'água ocorreu a restauração de vegetação ciliar nativa ou de classe de vegetação mais estável, reforçando a revegetação de algumas regiões no recorte temporal analisado, apresentada na análise de fragmentação (ver item 3.3).

Esse resultado ressalta o aumento da exploração antrópica na BHRC em áreas cuja vulnerabilidade natural já é considerada média ou alta e em locais que apresentam solos mais erodíveis e relevo propício à prevalência da morfogênese, o que gera um alerta para a necessidade de disciplinamento de uso do solo e deve ser motivo de atenção e de planejamento para a conservação dos solos.

Cabe salientar que na bacia hidrográfica do rio Caldas não foram encontradas áreas com vulnerabilidade muito alta com a metodologia utilizada, o que pode ser fruto do cálculo de valor médio, que considera o mesmo peso para todos os temas, observação que também é apontada por Santos e Martins (2018) e Batista et al. (2021, no prelo) em outras áreas do estado de Goiás e por Almeida, Silva e Neves (2020) no sul da Bahia.

Para analisar individualmente cada tema utilizado no cálculo médio, a Figura 30 apresenta os valores adotados, que se podem ser comparados à vulnerabilidade geral da BHRC.

Figura 30 – Mapa de vulnerabilidade à perda de solos para os temas analisados.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Observa-se no detalhamento da Tabela 8 que no tema geologia há predominância das médias vulnerabilidades (84,5%), com outras regiões com muito baixas e altas enquanto no tema pedologia a predominância é da classe muito baixa (62,8%), porém há feições de quase todas as classes, sendo mais abundantes as altas, médias e muito altas, respectivamente.

Tabela 8 – Percentuais de graus de vulnerabilidade para as temáticas em estudo.

Grau de Vulnerabilidade	Tema						
	Geologia	Pedologia	Clima	Relevo	Uso 1988	Uso 2000	Uso 2018
Muito Baixa	10,8%	62,8%	23,0%	9,2%	31,6%	30,2%	24,9%
Baixa	-	-	77,0%	40,1%	-	-	-
Média	85,4%	13,6%	-	44,8%	11,8%	3,8%	4,0%
Alta	3,8%	22,6%	-	5,8%	-	-	-
Muito Alta	-	1,0%	-	0,1%	56,6%	66,0%	71,0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

O tema clima, representado pelo mapa de distribuição da precipitação, apresenta apenas classes de vulnerabilidade mais estáveis: muito baixa e baixa (77%), enquanto no tema de geomorfologia (relevo), representado pela declividade, há contribuição de todas as classes, sendo mais expressivas as de médias vulnerabilidades (44,8%), seguidas pelas baixas (40,1%), muito baixas, altas e muito altas.

Os temas de uso do solo (vegetação) apontam que, desde 1988, mais da metade da área da bacia do Caldas possui vulnerabilidade muito alta, com prevalência da morfogênese, sendo principalmente referentes às pastagens, culturas agrícolas e áreas urbanas. Esses quantitativos percentuais aumentam no período em estudo, chegando a mais de 70% em 2018.

Entre as coberturas vegetais de Cerrado, as feições florestais apresentam menor vulnerabilidade, sendo equivalentes ao percentual de vulnerabilidade muito baixa (~24,9% em 2018), enquanto as savânicas apresentam médias e as campestres muito altas vulnerabilidades. Essa análise ressalta a importância da vegetação arbórea não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a mitigação das perdas de partículas de solos e dos impactos decorrentes deste (LIBÂNIO, 2010).

Fica evidente que na BHRC as transformações da dinâmica temporal da vulnerabilidade à perda de solos estão diretamente relacionadas às dinâmicas de uso e cobertura do solo, pois dos temas utilizados no cálculo de vulnerabilidade, apenas o tema vegetação (ou cobertura vegetal) é alterado consideravelmente em curtos períodos de tempo.

Resultados de Silva Neto e Aleixo (2016) também constataram que as alterações de uso do solo ao longo dos anos tornaram a paisagem mais instável e vulnerável à degradação, sendo

considerada pelos autores uma variável que merece maior peso na determinação da vulnerabilidade à perda de solos. Santos e Martins (2018) complementam que, em geral, o uso do solo tem um peso proeminente devido à influência que causa sobre os demais temas.

Portanto, os resultados se mostram coerentes para a BHRC, pois quando analisados os pesos de todos os temas (exceto vegetação), são encontrados maiores percentuais de muito baixa e baixa vulnerabilidades do que de muito alta e alta e, ainda que no tema vegetação exista maior percentual de vulnerabilidade muito alta, quando calculada a média entre todos os temas o resultado gera mais valores de média vulnerabilidade, que são maioria nessa bacia.

Quanto às singularidades da vulnerabilidade erosiva frente às características geoecológicas da BHRC, as UGs de 2º nível tendem a apresentar características naturais semelhantes de vulnerabilidade dentro da mesma UG (conferir item 2.3), visto que foram compartimentadas com base nos mesmos critérios de Geologia, Geomorfologia (declividade), Solos e Clima (precipitação). Entretanto, o que altera suas tendências naturais à homogeneização são os tipos de cobertura vegetal empregados pelas atividades humanas.

As UGRs de relevo fortemente ondulado a montanhoso, que naturalmente já apresentam maiores pesos de vulnerabilidade quando comparado ao relevo suave (devido aos pesos da declividade), obtiveram também os maiores aumentos percentuais do grau de vulnerabilidade alta quando comparadas às UGRs suaves de mesma amplitude altimétrica.

Ao mesmo tempo, de todas as UGs representativas (ver Quadro 15), apenas a 6 e 7 (relevo movimentado) não apresentaram aumento de grau de vulnerabilidade entre 1988 e 2018, o que pode ser devido à maior proteção dessas áreas com vegetação florestal pelo difícil acesso. As demais apresentaram crescimento de vulnerabilidade entre os anos mesmo quando o comportamento esperado não era de vulnerabilidade à erosão, o que indica que áreas importantes da BHRC para recarga hídrica (UG 1a e 1c), planejamento de futuro reservatório (UG 25b), fundos de vale (UG 33) e captação atual para abastecimento (UG 8b) se encontram vulneráveis mesmo sem suscetibilidade natural que levasse a esse cenário.

### **3.5. Considerações sobre o diagnóstico de impactos ambientais na BHRC**

A fase de Diagnóstico, realizada neste Capítulo 3, resultou nas seguintes considerações:

- A bacia hidrográfica do rio Caldas passou por uma dinâmica de uso do solo que envolveu a conversão de grande parte da vegetação nativa em classes de agropecuária; desde 1988, a pastagem é a classe de uso com maiores áreas (>50% do total).

- Das 34 UGs da BHRC, as 14 que apresentam características geológicas e de planejamento de uso mais representativas foram detalhadas, sendo: UGs 1a, 1c, 5, 6, 7, 8b, 17, 19, 20, 21, 25b 27, 29 e 33. Houve redução de áreas de Cerrado em algumas das UGs naturalmente mais vulneráveis e recomposição de vegetação em outras.
- Algumas áreas de pastagem da BHRC foram convertidas em culturas agrícolas como soja e milho, principalmente nas Unidades Geológicas de Relevo (UGRs) com relevo suave. Isso é evidenciado pelo aumento de área da classe agrícola no período e redução de área e de número de fragmentos da classe de pastagens.
- As formações florestais de Cerrado apresentaram altos níveis de fragmentação, tendo em vista a redução de área e o aumento no número de fragmentos frente ao ano anterior em todas as UGRs; as formações savânicas foram fortemente fragmentadas, mesmo com casos de recomposição no último ano na maioria das UGRs, e as formações campestres se encontram mais concentradas na RS-AA onde houve forte conversão dessa vegetação em outras classes de uso.
- A área efetiva para conservação da biodiversidade na BHRC representa cerca de 45% (florestal), 24% (savânica) e 21% (campestre) em 2018 e o isolamento dos fragmentos florestais é semelhante aos padrões observados em outras regiões do Cerrado goiano – à exceção de RS-AA, que possui distância entre vizinho mais próximo acima de 124m em 2018. As classes com maiores valores de borda estão situadas nos relevos suaves nos três anos (já esperado devido à maior exploração agropecuária nessas UGRs) e as maiores distâncias entre fragmentos de Cerrado ocorrem consecutivamente nas formações campestre, savânica e florestal.
- A análise multivariada por meio de PCA foi útil para o estudo integrado das métricas da paisagem, pois os resultados reiteraram os diagnósticos individuais; a PCA auxilia no apontamento de quais UGRs de cada formação estão mais fragmentadas.
- As médias vulnerabilidades erosivas são predominantes na BHRC e substituíram muitas áreas de baixas vulnerabilidades entre 1988 e 2018. As altas vulnerabilidades aumentaram no período e são principalmente decorrentes do tema de uso do solo, que apresenta grau muito alto; nos temas de geologia e relevo o grau médio predomina, no clima o grau baixo e na pedologia o muito baixo. Em quase todas as UGs consideradas representativas houve aumento de grau de vulnerabilidade nos últimos anos, o que reforça a necessidade de priorização da conservação ambiental dessas áreas para a mitigação de riscos futuros, como será considerado no capítulo seguinte.

## **CAPÍTULO IV. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DA BHRC**

O planejamento ambiental das paisagens demanda o conhecimento prévio e sistêmico das dinâmicas que as envolvem, incluindo sua análise integrada e diagnóstico.

Tradicionalmente, o planejamento das paisagens naturais é embasado pela ciência da Ecologia – sob os princípios do desenvolvimento sustentável, manejo racional e proteção ambiental – e suas aplicações atualmente se vinculam ao uso de recursos naturais, conhecimento dos potenciais das paisagens, prevenção de riscos e processos decisórios (KERTÉSZ, 2013)

Sob a abordagem sistêmica da geoeologia, as aplicações do planejamento das paisagens podem se estender para a resolução de conflitos como a indisciplina na utilização dos recursos ambientais e a ausência de priorização para conservação da diversidade biológica e geológica (TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2017).

Dentro dessa proposta de planejamento, a delimitação das unidades da paisagem é uma etapa útil para a posterior proposição de áreas potenciais para a conservação ambiental e o estabelecimento de unidades de conservação (SCIPIONI; MEZZOMO; CORNELI, 2016).

A importância da conservação da biodiversidade é expressada na Convenção sobre a Diversidade Biológica – promulgada no Brasil pelo Decreto nº 2.519 de 1998 (BRASIL, 1998) – quando destaca a conservação *in loco* dos ecossistemas e o monitoramento dos processos e usos antrópicos causadores de potenciais impactos negativos como exigências fundamentais para fins de planejamento.

A conservação ambiental de áreas protegidas pode apresentar finalidades holísticas que também abrangem critérios mais abrangentes, como no caso das unidades de conservação, que se aplicam a: “II- proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional; III- contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; VII- proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; VIII- proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos” (BRASIL, 2000, Art. 4º).

Para os diversos intuitos supracitados, a manutenção de áreas com cobertura vegetal nativa é uma ação aplicável e que satisfaz importantes funções ambientais e serviços ecossistêmicos, como a manutenção da biodiversidade, abastecimento de água, e controle de erosão, de assoreamentos e da qualidade da água (LIBÂNIO, 2010; MENDONÇA; MARQUES, 2011; HACKBART, 2016; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Sendo uma das principais expectativas de planejamento da BHRC a implementação de futuro reservatório de abastecimento público e considerando o histórico intensivo de conversão das áreas nativas em agropecuária, o diagnóstico de alta fragmentação e vulnerabilidade em algumas regiões e a ausência de áreas protegidas de domínio público nessa bacia, considera-se essencial a priorização de áreas para sua conservação ambiental sob enfoque integrado.

Este capítulo apresenta a última etapa da análise geocológica (fase de projeção) e tem o objetivo de propor áreas prioritárias para conservação ambiental (APCAs) da BHRC.

#### **4.1. Procedimentos metodológicos para seleção de áreas para conservação ambiental**

A metodologia utilizada foi a sobreposição de camadas de informação, citada por Gjorup et al. (2016), aplicada em uma adaptação do Planejamento Sistemático da Conservação – PSC (MARGULES; PRESSEY, 2000). As etapas propostas pelo PSC foram modificadas para considerar uma abordagem geocológica, resultando em três etapas: A. Definição dos objetivos e critérios para seleção; B. Seleção de APCAs pela aplicação dos critérios adotados; e C. Mapeamento das áreas protegidas na BHRC e entorno.

A etapa A considerou que na BHRC os objetivos para conservação se relacionam à manutenção da biodiversidade (pela inexistência de unidades de conservação públicas) e à proteção de recursos hídricos e edáficos (pelo planejamento de futuro reservatório de abastecimento). Com isso, foram adotados quatro critérios obrigatórios para seleção de APCAs:

- I. A feição é constituída apenas por vegetação nativa e se encontra em uma unidade geocológica mais vulnerável a erosão, menos vulnerável a fragmentação, com maior potencial de infiltração ou outra característica representativa para a BHRC;
- II. O tamanho do fragmento vegetacional é maior do que 100ha – considerando que os grandes fragmentos são mais prioritários para a manutenção de maiores populações de espécies e para a proteção das áreas *core* (RIBEIRO et al., 2009) – e possui conectividade com APPs de cursos d’água;
- III. Possui remanescente de vegetação nativa desde 1988 com área maior que 100ha; e
- IV. Possui feições com alta ou média vulnerabilidade erosiva no interior ou no entorno imediato do fragmento vegetacional em análise.

Para validar a possibilidade de aplicação desses critérios, foi mapeado o mosaico de vegetação nativa (união das formações florestais, savânicas e campestres) dos anos de 1988 e 2018, com o fim de considerar a conectividade no mosaico. As métricas CA (área em hectares)

e NP (número de fragmentos) foram espacializadas para análise da presença de remanescentes vegetacionais, sua localização nas UGs e sua variação de tamanho ao longo do tempo.

Na etapa de aplicação dos critérios para seleção das APCAs (etapa B), trabalhou-se com a vegetação nativa do mapa de uso de 2018. Das unidades geocológicas, foram selecionadas aquelas mais representativas (ver Quadro 15 – item 3.3): UGs 1<sup>a</sup>, 1c, 5, 6, 7, 8b, 17, 19, 20, 21, 25b 27, 29 e 33. Os fragmentos de vegetação sem áreas nessas UGs foram excluídos.

Do mapa de vegetação nativa interna às UGs, foram selecionados pela tabela de atributos apenas os fragmentos maiores que 100ha, que foram sobrepostos às APPs de cursos d'água (*buffer* de 30m) para verificação de conectividade.

Em seguida, foi realizada uma interseção (função *intersect*) entre a vegetação nativa (>100ha e ligadas a APPs) de 2018 e de 1988, eliminando manualmente os fragmentos sem remanescentes desde 1988.

Com o mapa de vulnerabilidade erosiva de 2018, foram eliminados os fragmentos de vegetação nativa cujo interior ou o entorno imediato não apresentavam graus altos ou médios. As feições que permaneceram foram as propostas como APCAs da BHRC. Na etapa final (etapa C), foram mapeadas e identificadas as unidades de conservação existentes na BHRC e entorno.

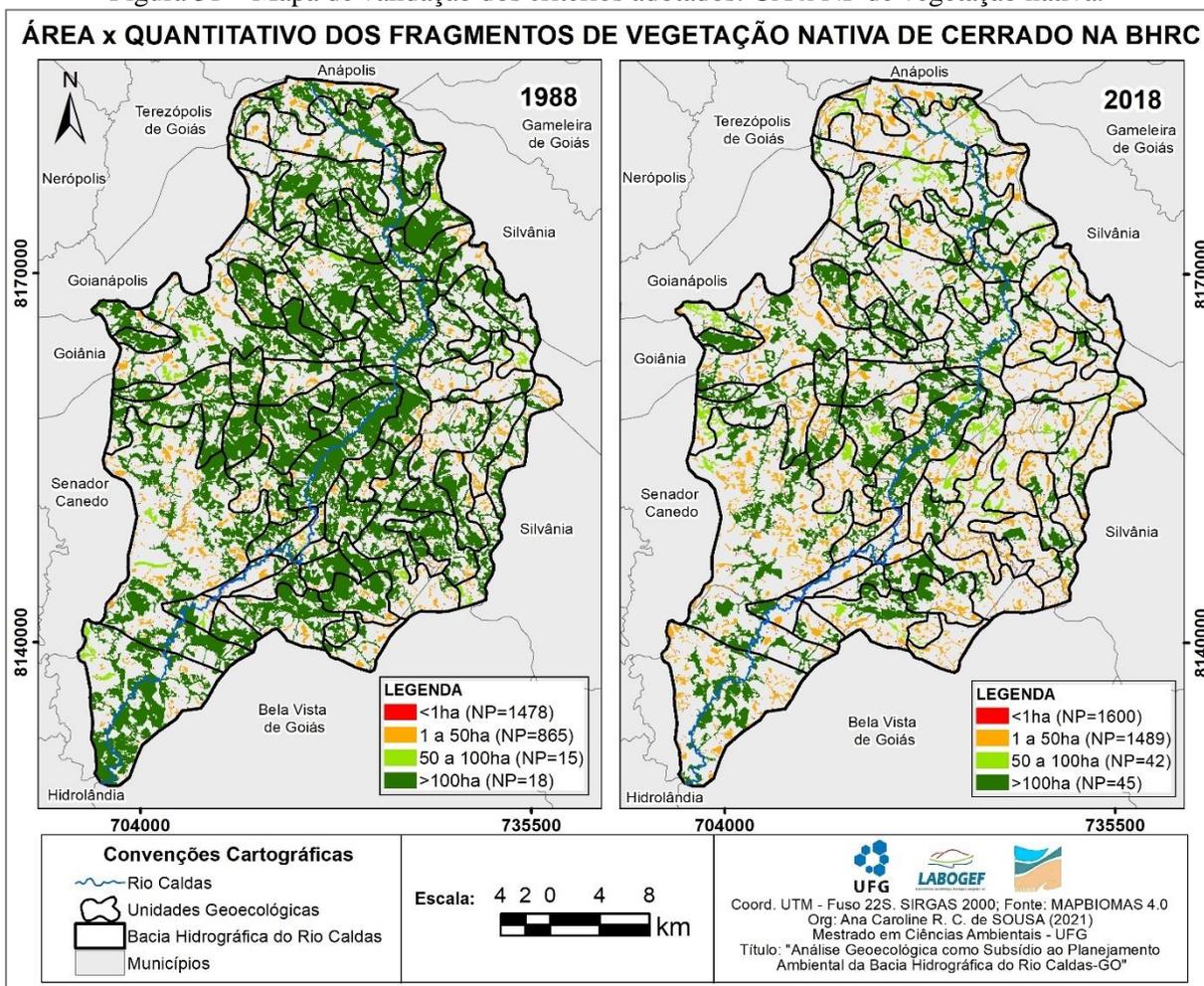
#### **4.2. Proposição de áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC**

O mapeamento das transformações temporais do mosaico vegetacional (união de florestas, savanas e campos) e das métricas CA e NP está apresentado na Figura 31.

A comparação entre os mapas de 1988 e 2018 indica que os critérios adotados para seleção das APCAs são aplicáveis na BHRC, pois há feições vegetacionais em todas as UGs, fragmentos maiores que 100ha e remanescentes desde 1988.

O aumento do quantitativo de fragmentos com áreas maiores (>100ha) é visualizado em 2018, porém, é fruto da fragmentação de um único remanescente de grande tamanho (48.435ha) que conectava atuais manchas cuja área foi reduzida, mas permanecem maiores que 100ha.

Figura 31 – Mapa de validação dos critérios adotados: CA x NP de vegetação nativa.

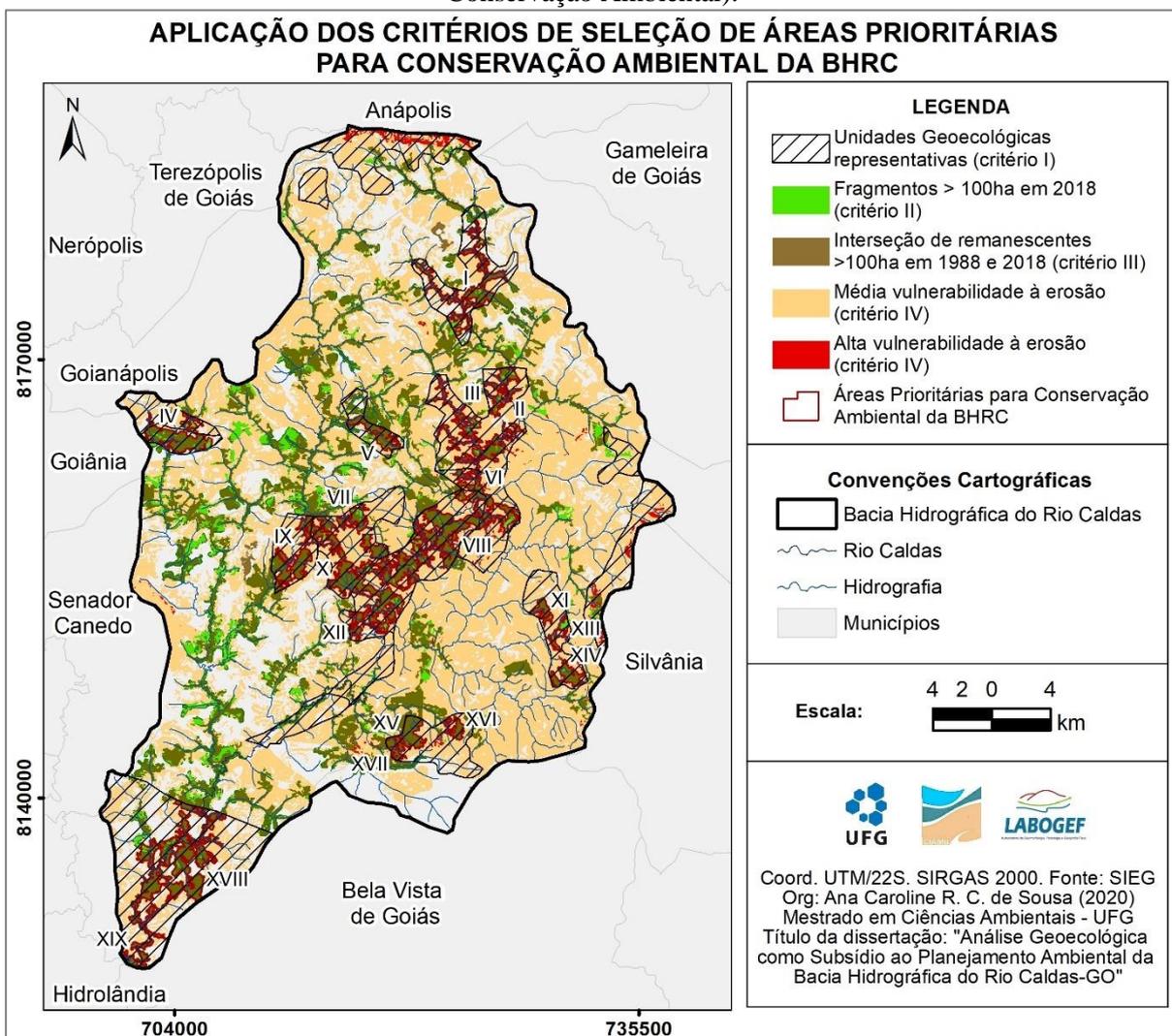


Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Diversas manchas maiores que 100ha se mantiveram ao longo do tempo e novas grandes áreas são observadas a partir de 2018, em sua maioria relacionadas aos cursos d'água, podendo estar associadas à aplicação do Código Florestal, após 2012.

Após a validação dos critérios, os resultados de cada passo da etapa B estão apresentados na Figura 32 e explicitam a localização das UGs representativas, a interseção entre os remanescentes do período adotado, as médias e altas vulnerabilidades e as Áreas Prioritárias para Conservação Ambiental propostas.

Figura 32 – Mapa de aplicação dos critérios de seleção das APCAs (Áreas Prioritárias para Conservação Ambiental).



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

Da aplicação do critério I, resultaram 965 fragmentos dentre os 3.176 existentes em toda a BHRC em 2018. Dos 965, restaram apenas 21 fragmentos que atendem ao critério II; cerca de 98% foram eliminados da seleção por possuírem menores que 100ha, sendo mais da metade com áreas menores que 1ha. Essa realidade se assemelha ao cenário de Cerrado encontrado no Inventário Florestal do Distrito Federal (SFB, 2016), onde a menor parte dos fragmentos remanescentes possuem mais de 100ha (cerca de 14%) e a maioria fica na faixa de 0 a 50ha.

Os 21 fragmentos restantes estão conectados com APPs de cursos d'água, o que indica que, caso a legislação de proteção florestal seja de fato aplicada na BHRC, as APPs poderão funcionar como corredores ecológicos, definidos pelo SNUC como "porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo

de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais” (BRASIL, 2000, Art. 2º).

Segundo Grande, Aguiar e Machado (2020), apesar das plantações agrícolas reduzirem as grandes áreas de vegetação nativa, os remanescentes ripários protegidos pelas legislações florestais nessas propriedades, mesmo que disponham de menor tamanho, desempenham um papel importante na conectividade entre fragmentos nativos por permitirem o aumento da área efetiva de conservação (área core) de fragmentos maduros e de maior tamanho próximos a estas.

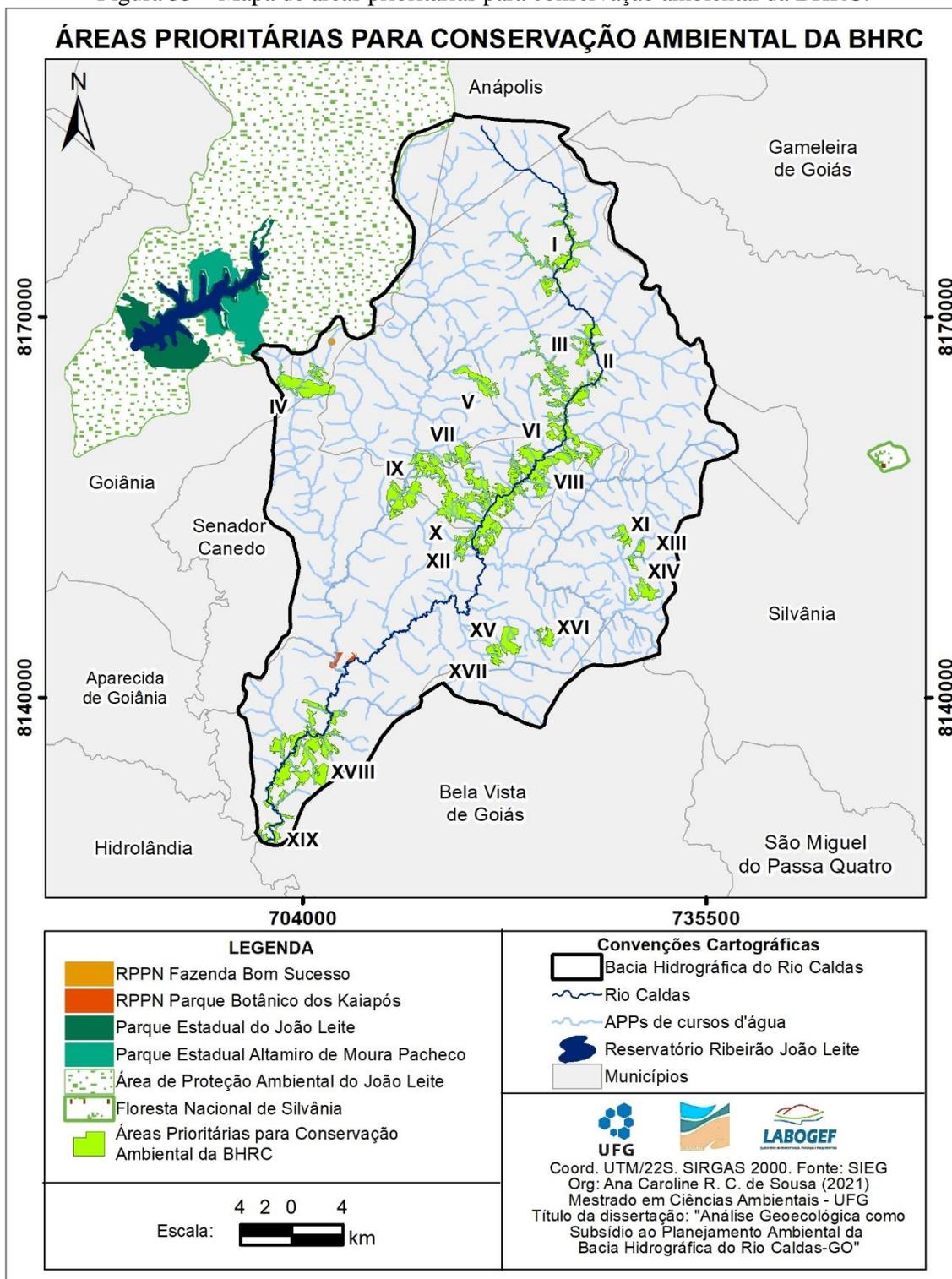
Na verificação das feições remanescentes desde 1988 (critério III), apenas 19 fragmentos permaneceram na seleção, pois duas manchas internas às UGs ocorrem apenas em 2018, não sendo remanescentes antigos. Ribeiro et al. (2009) apontam que os remanescentes mais maduros devem ser considerados prioritários na conservação da biodiversidade.

Todos os fragmentos selecionados apresentaram áreas vulneráveis à erosão em seu interior ou entorno imediato, portanto, os 19 fragmentos permaneceram no critério IV, sendo este o número total de APCAs propostas para a BHRC.

As APCAs propostas para a BHRC (Figura 33) estão identificadas por algarismos romanos e foram agregadas às áreas protegidas já existentes na região (etapa C) – como as unidades de conservação (federais e estaduais) de proteção integral e uso sustentável.

Das UCs identificadas, apenas duas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) estão inseridas na BHRC: a RPPN Fazenda Bom Sucesso e o Parque Botânico dos Kaiapós (ver item 2.2.9). Já no entorno dessa bacia existem quatro UCs de domínio público, sendo três associadas ao mais recente reservatório de abastecimento público da RMG, o ribeirão João Leite – Parque Estadual do João Leite, Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, e Área de Proteção Ambiental do João Leite – e a outra é a Floresta Nacional (FLONA) de Silvânia, localizada no município com maior área de produção de soja na BHRC (item 2.2.3).

Figura 33 – Mapa de áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC.



Fonte: A autora (SOUSA, 2021). [Clique aqui](#) para acessar o mapa ampliado.

As 19 APCAs propostas para a BHRC foram caracterizadas quanto a: área (ha); formações de Cerrado (florestais, savânicas, campestres); municípios abrangidos pela APCA; características das unidades geoecológicas e tipo de vulnerabilidade erosiva (Quadro 16).

Quadro 16 – Caracterização das APCAS da BHRC.

APCA	Área (ha)	Formações	Municípios	Unidades Geocológicas	Vulnerabilidade à erosão
I	634,4	77% Flo 20% Sav 3% Cam	Leopoldo de Bulhões	8b. Relevo suave; média altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; latossolo; média precipitação	Média no entorno
II	284,3	95% Flo 5% Sav	Leopoldo de Bulhões	19. Relevo movimentado; média altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
III	578,9	92,2% Flo 7,6% Sav 0,2% Cam	Leopoldo de Bulhões	19. Relevo movimentado; média altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
IV	527,0	89,8% Flo 9,8% Sav 0,4% Cam	Bonfinópolis, Goiânia, Goianópolis e Senador Canedo	7 e 17. Relevo movimentado/suave; alta/média altitude; suíte jurubatuba; argissolo; alta precipitação	Média no entorno
V	237,2	98% Flo 2% Sav	Leopoldo de Bulhões e Bonfinópolis	21. Relevo movimentado; média altitude; suíte jurubatuba; latossolo; alta precipitação	Média no entorno
VI	324,1	84% Flo 15% Sav 1% Cam	Leopoldo de Bulhões	19, 20 e 33. Relevo movimentado; média/baixa altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu/sequência metavulcanossedimentar de Silvânia/grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
VII	185,9	93,2% Flo 6% Sav 0,8% Cam	Leopoldo de Bulhões e Bonfinópolis	6. Relevo movimentado; alta altitude; grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
VIII	1026,6	89,5% Flo 10,4% Sav 0,1% Cam	Leopoldo de Bulhões e Caldazinha	20 e 33. Relevo movimentado; média/baixa altitude; sequência metavulcanossedimentar de Silvânia/grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
IX	690,7	92% Flo 8% Sav	Leopoldo de Bulhões, Caldazinha, Bonfinópolis e Senador Canedo	6 e 33. Relevo movimentado; alta/baixa altitude; grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no interior
X	1328,5	88,5% Flo 11,2% Sav 0,3% Cam	Leopoldo de Bulhões e Caldazinha	6 e 33. Relevo movimentado; alta/baixa altitude; grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no interior
XI	105,5	71% Flo 29% Sav	Silvânia	5. Relevo movimentado; alta altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XII	125,0	73% Flo 27% Sav	Caldazinha	33. Relevo movimentado; baixa altitude; grupo Araxá; cambissolo; alta precipitação	Média no entorno
XIII	104,2	94% Flo 6% Sav	Silvânia	5. Relevo movimentado; alta altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XIV	184,9	85% Flo 15% Sav	Silvânia	5. Relevo movimentado; alta altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XV	232,0	80% Flo 20% Sav	Caldazinha	19. Relevo movimentado; média altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XVI	104,1	39,8% Flo 56,4% Sav 3,9% Cam	Caldazinha	19. Relevo movimentado; média altitude; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XVII	117,6	75% Flo 25% Sav	Caldazinha	19. Relevo movimentado; médias altitudes; complexo granulítico Anápolis-Itaçu; cambissolo; alta precipitação	Média no interior e alta no entorno
XVIII	1404,4	78,5% Flo 20,2% Sav 1,3% Cam	Bela Vista de Goiás	25b. Relevo suave; baixa altitude; grupo Araxá; latossolo; média precipitação	Média no entorno
XIX	169,2	83,8% Flo 15,4% Sav 0,8% Cam	Bela Vista de Goiás	25b. Relevo suave; baixa altitude; grupo Araxá; latossolo; média precipitação	Média no entorno

Fonte: A autora (SOUSA, 2021).

Do total, 12 APCAs possuem área entre 100 e 350 ha, quatro estão entre 500 e 1.000 ha e três acima de 1.000 hectares (VIII, X e XVIII). Quanto ao tipo de formações de Cerrado, as florestas são predominantes em todas APCAs, assim como em toda a BHRC, enquanto as formações campestres possuem os menores percentuais e só estão presentes em dez das 19, com maiores índices na APCA XVI (3,9%), que também apresenta a particularidade de ser a única a possuir maior percentual de savanas (56,4%) do que de florestas (39,8%).

Dos onze municípios abrangidos pela BHRC, apenas Anápolis e Hidrolândia não se encontram no limite das APCAs propostas, cenário que não favorece às nascentes do rio Caldas e indica a ausência de áreas remanescentes conservadas nessa região.

Por outro lado, Leopoldo de Bulhões e Caldazinha estão inseridos em diversas das áreas propostas, possivelmente devido à abrangência de sua área ser de quase 100% na BHRC (ver item 2.2.2). Algumas APCAs se inserem nos limites de mais de um município: quatro (V, VII, VIII e X) com dois municípios cada e duas (IV e IX) com quatro municípios cada (incluindo a capital Goiânia e a industrial Senador Canedo).

Conforme foi observado ao longo de todo este trabalho, as áreas com relevo movimentado geralmente são as mais conservadas da BHRC, o que se confirma também na seleção de APCAs, pois apenas três delas se localizam em UGs com relevo suave. Essa proposição favorece tanto a estabilidade dos solos quanto a melhoria da infiltração em terrenos declivosos e o disciplinamento do uso do solo, evitando cultivos e outras atividades antrópicas nessa região. As médias altitudes também predominam nas áreas propostas (em 10 no total), possivelmente por serem as mais diversificadas da bacia em termos de geologia e solos.

Pouco mais da metade das APCAs está localizada em formações geológicas do complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, além de 8 representantes do grupo Araxá, dois da Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia e dois da suíte Jurubatuba, enquanto os cambissolos são os solos predominantes e fazem parte de 14 das 19 APCAs, restando uma com argissolos e uma com latossolos. Nesse cenário, a proteção do solo também é ressaltada.

A maioria das APCAs (11 no total) possui feições internas com média vulnerabilidade à erosão e áreas no entorno imediato com alta vulnerabilidade, o que ressalta a relevância da proteção dessas áreas para evitar danos que se intensificam com as transformações antrópicas. Das 8 restantes, duas apresentam feições de média vulnerabilidade internas e seis apenas no entorno imediato; caso sejam implementadas unidades de conservação ou outro tipo de área protegida nessas APCAs, possivelmente estarão entre seus objetivos o disciplinamento do uso do solo no entorno (zonas de amortecimento) para evitar a intensificação do grau de

vulnerabilidade, visto que já foi indicada a influência das atuais áreas mais vulneráveis sobre de novas áreas com mesma vulnerabilidade (ver item 3.4).

Scipioni, Mezzomo e Corneli (2016) propuseram duas grandes áreas prioritárias em uma bacia representativa para o abastecimento público, ambas com características de relevo movimentado (>20%) e abrangem as APPs e os maiores fragmentos de vegetação nativa e mais conectados. Ao contrário da BHRC, onde ainda não há UCs públicas, nessa bacia as APCAs propostas formam um mosaico com seis UCs no total.

No Cerrado goiano, Siqueira e Faria (2019) utilizaram a análise espacial dos fragmentos da paisagem (com métricas como CA e NP) para indicar potenciais remanescentes para conservação em um município que também não possuía áreas protegidas e verificaram poucos fragmentos maiores que 100ha e uma grande quantidade de manchas nativas com área menor que 10ha, que as autoras concluem não serem adequadas para a conservação de serviços ecossistêmicos na região.

Já no estado do Pará, Cavalcante et al. (2020) indicaram áreas para conservação florestal por nível de prioridade, obtendo 11 fragmentos com nível alto que abrangem 11,5% da área total, e quatro fragmentos de muito alta prioridade que abrangem quase 80% da área total, reiterando a importância do tamanho da área e das APPs para a conservação, visto que os pesos obtidos para esses critérios foram os maiores dentre os aplicados.

Na BHRC, grande parte das APCAs selecionadas são predominantemente APPs de cursos d'água (nove relacionadas ao rio Caldas), como também foi observado na área de estudo de Ribeiro, Mello e Valente (2020). A seleção dessas áreas destaca a possibilidade de se tornarem RPPNs, de propriedades privadas – como a RPPN Fazenda Bom Sucesso, que a despeito de seu tamanho não expressivo, é uma área protegida permanentemente.

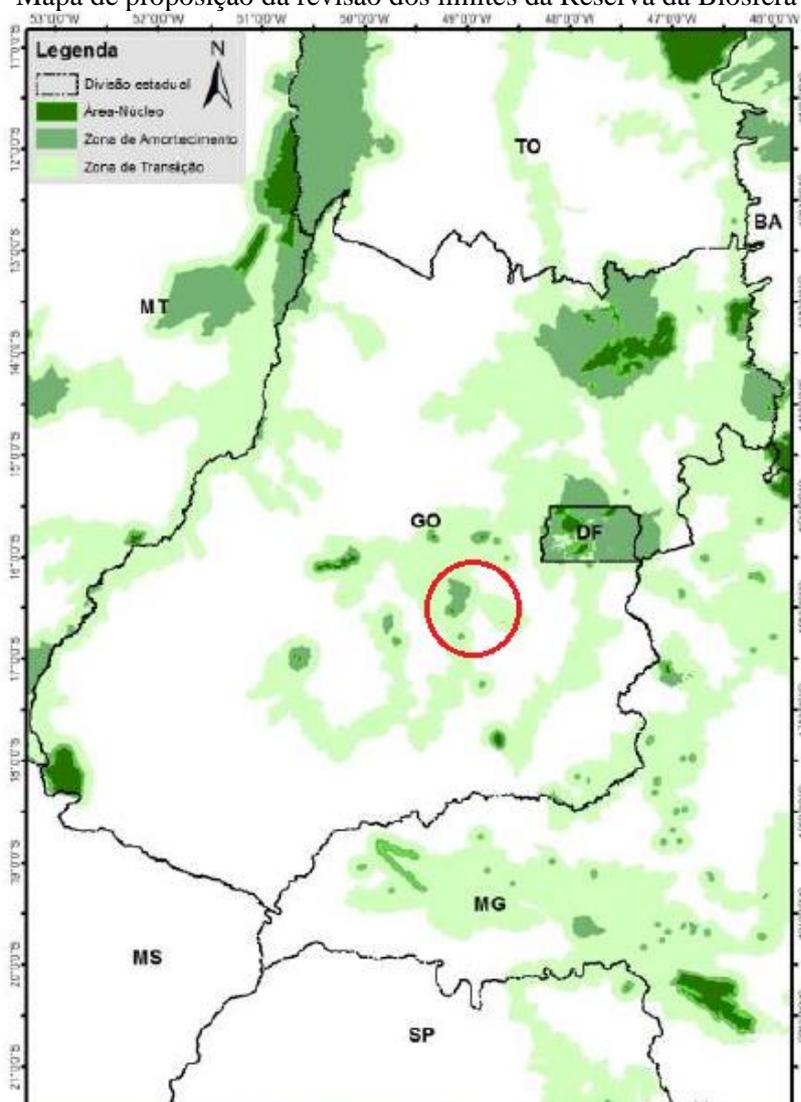
Em entrevista com 65 fazendeiros em uma região do Cerrado goiano, Feltran-Barbieri et al. (2018) descreve que as principais motivações que explicam a manutenção de cobertura vegetal nativa nas propriedades privadas são o cumprimento do Código Florestal e a manutenção de terras impróprias para agricultura – áreas que “primariamente impediriam a mecanização, como terrenos inclinados, pedregosos, alagadiços ou estreitos”. Portanto, apesar das motivações não relacionadas diretamente à conservação, essa realidade pode ser utilizada como instrumento de educação ambiental que indique a possibilidade de criação de novas unidades de conservação de âmbito privado, sob o interesse dos proprietários.

Na particularidade da BHRC como bacia prevista para abastecimento público de grande proporção, proteger as regiões próximas a reservatórios, como fariam as APACs XVIII (de

maior área nessa bacia) e XIX, é relevante por propiciar diversos benefícios ambientais. Oliveira e Ribeiro (2017, p. 202) afirmam que a proteção dessas regiões “além de conter a erosão do solo, protege o reservatório da contaminação da água pelas atividades antrópicas, como a pecuária e agricultura, contribui com a conectividade da paisagem regional”.

A importância das APAs para a conexão entre UCs é verificada na APCA IV, que faz a ligação entre UCs do João Leite e a BHRC (item 2.3.2), e em parte da BHRC que, segundo o dossiê propositivo para revisão dos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado (VEREZA et al., 2018), se localiza na futura zona de transição entre as UCs do João Leite e a FLONA de Silvânia (destacadas na Figura 34). Com isso, a criação de UCs na BHRC recebe mais um fundamento.

Figura 34 – Mapa de proposição da revisão dos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado.



Fonte: Vereza et al. (2018).

Em geral, as APCAs propostas se adequam aos objetivos do SNUC e podem ser futuramente utilizadas como base para a seleção de áreas para implementação de UCs de Proteção Integral e/ou de Uso Sustentável, tanto de domínio privado como as já existentes como de domínio público como forma de aplicar um planejamento de longo prazo que se relacione aos projetos e ações a serem desenvolvidas nessa região.

#### **4.3. Considerações sobre as áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC**

A partir da aplicação dos fundamentos teórico-metodológicos da geocologia das paisagens, da fase de Projeção resultaram as seguintes considerações e proposições:

- Os fragmentos com grandes áreas tiveram aumento quantitativo entre 1988 e 2018, causado pela fragmentação de um remanescente de grande porte que conectava as atuais manchas que permanecem maiores que 100 ha mas tiveram sua área reduzida; diversas manchas se mantiveram ao longo do tempo e novas grandes áreas são observadas a partir de 2018, majoritariamente relacionadas aos cursos d'água.
- A partir dos quatro critérios adotados, apenas 19 fragmentos de vegetação nativa atenderam aos requisitos aplicados e foram propostos como áreas prioritárias para conservação ambiental (APCA) da BHRC.
- A maioria das APCAs sugeridas são caracterizadas por possuir: área entre 100 e 350 ha; predominância de formação florestal (algumas com formações campestres); localização em apenas um município (chegando até quatro municípios em duas delas); localização em áreas com relevo movimentado e cambissolos; e feições internas com média vulnerabilidade erosiva e entorno com altas.
- No interior da BHRC existem apenas duas RPPNs; em seu entorno, há quatro UCs de domínio público que já foram propostas oficialmente para compor os novos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado, sendo que a BHRC pode se tornar uma zona de transição entre essas UCs.
- Por suas características geocológicas, estruturais e de planejamento de uso, as APCAs podem servir como base para a implementação de futuras áreas protegidas, de domínio público ou privado, com objetivos relacionados tanto à preservação da biodiversidade e de espécies ameaçadas ou endêmicas quanto para conservação dos recursos hídricos e edáficos.

## CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação dos princípios da Geoecologia das Paisagens e das ferramentas de geoprocessamento na bacia hidrográfica do rio Caldas obteve êxito, visto que as quatro etapas – Organização e Inventário, Análise, Diagnóstico e Projeção – foram devidamente concluídas e se adequaram aos objetivos e à escala de estudo em nível de bacia hidrográfica.

O objetivo de propor áreas prioritárias para conservação ambiental da BHRC sob abordagem geoecológica foi alcançado, assim como a caracterização dos componentes socioambientais, a compartimentação das unidades geoecológicas, os diagnósticos dos impactos ambientais abordados e a proposição de áreas prioritárias para conservação.

A análise integrada da BHRC destacou as particularidades dos aspectos socioeconômicos e geoecológicos dessa região que possui histórico relacionado à expansão agropecuária e recebe influências de grandes municípios goianos, de polos industriais, rodovias e ferrovia, além de ser uma das sub-bacias mais importantes do estado por afluir ao rio Meia Ponte e possuir previsão de implementação de reservatório de abastecimento para a Região Metropolitana de Goiânia.

As unidades geoecológicas compartimentadas, em primeiro ou segundo nível, podem auxiliar o disciplinamento do uso do solo nessa bacia, pois indicam onde há composições entre relevo, solos, geologias e padrões de precipitação mais viáveis ou de maior risco à fragmentação, erosão e manutenção hídrica, bem como apontam as unidades da paisagem que necessitam de maior atenção quanto à proteção ambiental.

A fase de diagnóstico evidenciou a predominância das pastagens em mais da metade da área dessa bacia, mesmo com sua redução progressiva que tende a dar espaço a culturas agrícolas, principalmente em unidades geoecológicas de relevo suave. Sob relevo movimentado, houve o entendimento de que a dinâmica de fragmentação é mais branda, especialmente quando relativa às formações florestais, pois as savânicas são altamente fragmentadas em toda a BHRC e as campestres são mais concentradas em uma única UGR.

O diagnóstico da fragmentação ressaltou a relevância de considerar nos planejamentos para conservação: a área central dos fragmentos de vegetação nativa (que na BHRC compõe menos da metade da área total em todas as formações), o efeito de borda (que tende a ser maior em relevos suaves na BHRC) e o isolamento (que é mais expressivo em paisagens de relevo suave com matriz de crescimento agrícola).

A grande influência dos aspectos socioeconômicos da BHRC sobre os fatores geoecológicos naturais é evidenciada principalmente com o aumento do grau de vulnerabilidade

erosiva ao longo do tempo – avaliado no diagnóstico – e a intensificação dos riscos às funções ambientais pela conversão de áreas nativas em outros usos.

Frente à predominância de pastagens e à atuação dos impactos ambientais, existem 19 fragmentos remanescentes desde 1988 na BHRC que apresentam grandes extensões de áreas nativas, são considerados maduros, conectados a áreas protegidas de cursos d'água e a feições significativas e frágeis. Esses fragmentos são considerados essenciais para a preservação da biodiversidade e de espécies ameaçadas e para a conservação dos recursos hídricos e edáficos, e são os principais subsídios propostos neste trabalho para auxiliar no planejamento da conservação ambiental da BHRC.

Com o estudo dessa bacia hidrográfica localizada no Centro Goiano, foi possível ampliar o conhecimento das dinâmicas geocológicas que ocorrem no bioma Cerrado por meio da comparação entre diagnósticos e prognósticos de distintas regiões, principalmente no estado de Goiás com as pesquisas do Alto Araguaia e da microrregião do Vão do Paranã.

Os fundamentos interdisciplinares empregados colaboraram para uma análise sistêmica que contribui com o estudo das paisagens, devido ao uso de teorias e métodos que perpassam as áreas da Geografia, Ecologia da Paisagem, Cartografia das Paisagens, Estatística e Biologia da Conservação.

Entretanto, este trabalho não teve o intuito de esgotar o complexo estudo das paisagens nessa região, mas de subsidiar possíveis estratégias de implementação de futuras áreas protegidas oficiais nessa bacia hidrográfica tão importante para a RMG, especialmente unidades de conservação de domínio público, que não existem na BHRC até o momento.

Ressalta-se que aspectos socioambientais relacionados ao levantamento de possíveis comunidades tradicionais não foram abordados, devido à opção metodológica adotada neste trabalho, mas pode ser objeto de estudo para futuros trabalhos complementares.

Certamente os resultados obtidos levantam diversas possibilidades de análises futuras da BHRC e de ampliação e otimização por meio de estudos mais detalhados de cada UG, UGR e APCA delimitadas, sendo um pontapé inicial para que outros pesquisadores possam reforçar o conhecimento dessas áreas com maior escala de detalhe.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. et al. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 924, p. 1-23, 2020.

ALEXANDRE, F. **“O Rio que passou em minha vida”: O Caldas nas narrativas dos idosos e nas representações de seus novos atores.** [s.l.] Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

ALMEIDA, W. S. DE et al. Vulnerabilidade e modelagem ambiental em bacias hidrográficas. In: SALES, M. M. et al. (Eds.). **Erosão em borda de reservatório.** Goiânia, GO: Gráfica UFG, 2017. p. 584.

ALMEIDA, P. F.; SILVA, J. B. L. DA; NEVES, F. M. Vulnerabilidade ambiental do município de Teixeira de Freitas - BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1587–1609, 2020.

ALVES, M.; PEREIRA, S. Y.; VALERIO-FILHO, M. . Definição de áreas homogêneas para a disponibilidade de recursos hídricos baseada na abordagem da ecologia da paisagem. **Geociências**, v. 32, n. 2, p. 317–332, 2013.

AMORIM, R. R. A Representação de Mapas de Paisagens na Escala Regional: o Exemplo da Região Costa do Descobrimento (Bahia). **Revista da Anpege**, v. 12, n. 17, p. 257–292, 2016.

AQUINO, F. DE G.; MIRANDA, G. H. B. DE. Consequências Ambientais da Fragmentação de Hábitats no Cerrado. In: **Cerrado: ecologia e flora.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 385–388.

AUGUSTO, R. C. A Cartografia de Paisagens e a Perspectiva Geossistêmica como Subsídios ao Planejamento Ambiental. **Revista Tamoios**, v. 12, n. 1, p. 144–153, 2016.

BARBOSA, A. F. et al. Aplicação da equação universal de Perda do solo (USLE) em softwares livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 170–179, 2015.

BARROS, V. F. DE A.; MENEZES, J. E. DE. **A utilização do método de Holt-Winters na estimação do consumo de água na Grande Goiânia para as próximas décadas.** IV Seminário de Iniciação Científica. **Anais...Inhumas: IFG**, 2010

BATISTA, J. G. et al. **Análise da Vulnerabilidade à Perda de Solos da Microrregião do Vão do Paranã.** Conferência da Terra: A saúde ambiental para a vitalidade do Planeta. **Anais...2021** (no prelo).

BENNETT, A. F.; SAUNDERS, D. A. Habitat fragmentation and landscape change. In: SODHI, N. S.; EHRLICH, P. R. (Eds.). **Conservation Biology for All.** [s.l.] Oxford University Press, 2010. p. 88–106.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, n. 8, p. 141–152, 2004.

BEZERRA, J. F. R. Reabilitação de áreas degradadas por erosão em São Luís/MA. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. DO C. O. (Eds.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 192.

BOLFE, É. L.; MATIAS, L. F.; FERREIRA, M. C. Sistemas de informação: uma abordagem

contextualizada na História. **Geografia Rio Claro**, v. 33, n. 1, p. 69–88, 2008.

BOSCOLO, D.; FERREIRA, P. A.; LOPES, L. E. Da matriz à matiz: em busca de uma abordagem funcional na Ecologia de Paisagens. **Filosofia e História da Biologia**, v. 11, n. 2, p. 157–187, 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos Brasília, DF Presidência da República, , 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 14 maio. 2020

BRASIL. **Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2519.htm?\\_ga=2.48488742.1625511778.1610718026-1382746340.1605192363](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2519.htm?_ga=2.48488742.1625511778.1610718026-1382746340.1605192363)>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000** Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências Brasília, DF Presidência da República, , 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2020

BRASIL. **Decreto nº 5.092, de 21 de maio de 2004**. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5092.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5092.htm)>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa Brasília, DF Presidência da República, , 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 29 maio. 2020

BRAZ, A. M. et al. Análise de agrupamento (cluster) para tipologia de paisagens. **Mercator**, v. 19, p. 1–17, 2020.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 1, p. 1–5, 2004.

CALABRESE, J. M.; FAGAN, W. F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 10, p. 529–536, 2004.

CALAÇA, A. M. et al. A influência da fragmentação sobre a distribuição de carnívoros em uma paisagem de cerrado. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. 1, p. 31–38, 2010.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos Erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. (Eds.). . **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília - FINATEC, 2006. p. 464.

CANEDO, G. S. **Análise da estrutura da paisagem na Sub-Bacia do Rio Claro (GO)**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, 2018.

CARDILLE, J. A.; TURNER, M. G. Understanding Landscape Metrics. In: GERGEL, S. E.; TURNER, M. G. (Eds.). . **Learning Landscape Ecology: a practical guide to concepts and techniques**. 2ª ed. [s.l.] Springer, 2017. p. 347.

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**, v. 8, n. 16, p.

40–55, 2014.

CARNEIRO, G. T. **Processo de fragmentação e caracterização dos remanescentes de Cerrado: análise ecológica da paisagem da Bacia do Rio dos Peixes (GO)**. [s.l.] Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

CARVALHO, A. C. P. et al. Different methodological approaches to natural vulnerability to erosion in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36755–36775, 2020.

CARVALHO, A. C. B. DE; RIBEIRO, C. B. DE M.; ROCHA, W. S. D. DA. Modelos para estimar as perdas de solo. In: BARBOSA, B. C. et al. (Eds.). **Tópicos em Sustentabilidade e Conservação**. 1ª ed. Juiz de Fora: Edição dos autores, 2017. p. 107.

CASTRO, E. C. DE; FERREIRA, N. C. Diagnóstico do padrão de paisagem com métricas dos remanescentes de vegetação em Goiânia. **Habitus**, v. 7, n. 1/2, p. 229–247, 2009.

CAVALCANTE, J. DA C. et al. Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Felix do Xingu - PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 167–181, 2020.

CAVALCANTI, A. P. B. Sustentabilidade ambiental como perspectiva de desenvolvimento. **Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis**, v. 8, n. 1, p. 219–237, 2011.

CAVALCANTI, L. C. DE S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CHAVES, T. A. et al. Mapa de erodibilidade dos Solos da Bacia do Rio Jardim-DF. **Espaço & Geografia**, v. 13, n. 2, p. 253–276, 2010.

CHÁVEZ, E. S.; PUEBLA, A. M. R.; TROMBETA, L. R. A. La cartografía de los paisajes y los sistemas de información geográfica: aspectos conceptuales y metodológicos. In: DIAS, L. S.; CHÁVEZ, E. S. (Eds.). **Cartografia Biogeográfica e da Paisagem**. 1ª ed. Tupã, SP: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista - ANAP, 2019. v. 2p. 277.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CODEGO. **Goiás Industrial**. Disponível em: <<http://www.goiasindustrial.com.br/>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

CONTI, J. B. Resgatando a “Fisiologia da Paisagem”. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, p. 59–68, 2001.

CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia, GO: CPRM, 1999.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001.

DAULTREY, S. **Principal components analysis Concepts and Techniques in Modern Geography** Norwich Geo Abstracts Ltd., , 1976.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

- DE MARIA, I. C. Geotecnologias e modelos aplicados ao manejo e conservação do solo e da água. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. DE (Eds.). . **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 95–103.
- DE PAULA, R. C. et al. Avaliação do estado de conservação do Lobo-guará *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n. 1, p. 146–159, 2013.
- DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015.
- DODONOV, P. et al. Spatial pattern of invasive and native graminoids in the Brazilian cerrado. **Plant Ecology**, v. 220, n. 7–8, p. 741–756, 2019.
- DODONOV, P.; HARPER, K. A.; SILVA-MATOS, D. M. The role of edge contrast and forest structure in edge influence: Vegetation and microclimate at edges in the Brazilian cerrado. **Plant Ecology**, v. 214, n. 11, p. 1345–1359, 2013.
- DURIGAN, G. et al. **PLANTAS PEQUENAS DO CERRADO: biodiversidade negligenciada**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo - SMA, 2018.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.
- FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, p. 487–515, 2003.
- FARIA, K. M. S. DE. **Paisagens fragmentadas e viabilidade de recuperação para a Sub-Bacia do Rio Claro (GO)**. [s.l.] Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- FARIA, K. M. S. DE; SANTOS, R. A. DOS. Análise espacial da densidade de fragmentos remanescentes e da estrutura da paisagem na sub-bacia do Rio Caiapó-GO. **Ateliê Geográfico**, v. 10, n. 2, p. 115–127, 2016.
- FARINASSO, M. et al. Avaliação Qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em Grandes Áreas por Meio da EUPS Equação Universal de Perdas de Solos Utilizando Novas Metodologias em SIG para os Cálculos dos seus Fatores na Região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73–85, 2006.
- FELTRAN-BARBIERI, R. et al. **Infraestrutura Natural para Água no Sistema Cantareira, São Paulo**. [s.l.] Néktar Design, 2018.
- FISCHEL, D. P. et al. U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of the Silvânia Volcanics and Jurubatuba Granite: Juvenile Paleoproterozoic crust in the basement of the Neoproterozoic Brasília Belt, Goiás, central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 3, p. 445–460, 2001.
- FLANAGAN, D. C.; GILLEY, J. E.; FRANTI, T. G. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities, and Future Enhancements. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, n. August 1985, p. 1603–1612, 2007.
- FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 04, p. 493–502, 2007.
- FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge:

Cambridge University Press, 1995.

GJORUP, A. F. et al. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 1, p. 225–238, 2016.

GRANDE, T. O.; AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B. Heating a biodiversity hotspot: connectivity is more important than remaining habitat. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 3, p. 639–657, 2020.

GUERRA, A. J. T. et al. Soil Erosion and Conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 81–91, 2014.

HACKBART, V. C. DOS S. **Serviços ecossistêmicos hídricos em paisagens florestais fragmentadas: um caminho para a conservação da Mata Atlântica**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2016.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico , aplicação e interpretação. **E&S - Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83–90, 2016.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009. v. 2

IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

ICMBIO. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. 1ª ed. Brasília, DF: ICMBIO/MMA, 2018.

ICMBIO. **RPPN Parque Botânico dos Kaiapós**. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/9160-rppn-parque-botanico-dos-kaiapos>>. Acesso em: 21 jul. 2020.

IMB. **Goiás: visão geral - overview**. Disponível em: <<https://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/goias-visao-geral/goias-visao-geral.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2020.

IMB. **Estatísticas Municipais (Séries Históricas)**. Disponível em: <[https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=91&Itemid=219](https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=219)>. Acesso em: 10 abr. 2020.

JACINTHO, E. C. et al. Solos Tropicais e o Processo Erosivo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. (Eds.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, DF: Universidade de Brasília - FINATEC, 2006. p. 93–156.

JARDIM, A. V. F.; BATALHA, M. A. Dispersal syndromes related to edge distance in cerrado sensu stricto fragments of central-western Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 5, p. 1167–1177, 2009.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology**. New York: Dover Publications, 1994.

JORGE, N. L. et al. Identificação de áreas prioritárias para a conservação e recuperação no município de Santa Lúcia-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1, p. 332–346,

2017.

KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1997.

KERTÉSZ, Á. The objectives and tasks of landscape and environmental planning. In: **Landscape and Environment Planning**. [s.l: s.n.]. p. 5–17.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. April, p. 147–155, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). . **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69–90.

LAMINE, S. et al. Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS®. **Geocarto International**, p. 1–17, 2017.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. DE. **Geomorfologia Goiás e Distrito Federal**. Goiânia, GO: GOIÁS (Estado) - Secretaria de Indústria e Comércio, 2006. v. 2

LAURANCE, W. F. et al. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605–618, 2002.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

LIMA, M. C. et al. Sulcos, Ravinas e Voçorocas. In: SALES, M. M. et al. (Eds.). . **Erosão em borda de reservatório**. [s.l.] Gráfica UFG, 2017. p. 584.

LIMBERGER, L. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia**, v. 15, n. 2, p. 95–109, 2006.

MAPBIOMAS, P. **MapBiomas General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD\\_Collection\\_4\\_v2\\_Dez2019.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_4_v2_Dez2019.pdf)>.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 243–253, 2000.

MARTINS, É. DE S. et al. **Ecologia de paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004a.

MARTINS, É. S. et al. **Unidades de Paisagem do Distrito Federal, escala 1:100.000**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004b.

MATHIAS, P. V. C.; MENDONÇA, C. V.; MELLO, B. M. DE. **Plano de Manejo RPPN Parque Botânico dos Kaiapós**. Senador Canedo, GO: [s.n.].

MAXIMIANO, L. A. Considerations about landscape concept. **RA’E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, p. 83–91, 2004.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Pacific Northwest, Research Station: U.S. Department of

Agriculture, Forest Service, 1995.

MENDONÇA, A. H. et al. Edge effects in savanna fragments: a case study in the cerrado. **Plant Ecology and Diversity**, v. 8, n. 4, p. 493–503, 2015.

MENDONÇA, F.; MARQUES, G. DE S. Degradação Ambiental e Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica de Abastecimento Público: Rio Timbú-PR. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 2, p. 111–136, 2011.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2001.

MMA. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007.

MMA, M. DO M. A. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. Brasília: MMA, 2003.

MMA, M. DO M. A. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa - PLANAVEG**. Brasília, DF: MMA, 2017. v. 1

MOURA, D. V.; SIMÕES, C. DA S. A evolução histórica do conceito de paisagem. **Ambiente & Educação**, v. 15, p. 179–186, 2010.

OLIVEIRA, M. C. DE; RIBEIRO, J. F. Impactos na vegetação em área de implantação de reservatório no bioma Cerrado. In: SALES, M. M. et al. (Eds.). **Erosão em borda de reservatório**. Goiânia, GO: Gráfica UFG, 2017. p. 584.

OLIVEIRA, R. B. DE. **Geocologia das Paisagens do Cerrado: Análise das Relações Socioambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantinzinho-GO**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

OLIVEIRA, R. R. DE; MONTEZUMA, R. DE C. M. História ambiental e ecologia da paisagem. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 9, n. 19, p. 117–128, 2010.

OLIVEIRA, W. N. DE; FERREIRA, N. C. Avaliação multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando imagens landsat-5. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 38, p. 46–62, 2015.

PASQUALETTO, A. et al. **Escassez da Água Como Limitador do Desenvolvimento da Região Metropolitana de Goiânia**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...Campo Grande-MS: ABES, 2005

PEDROSA, A. DE S.; SOUZA, R. DE C. M. DE. As unidades de paisagem no Triângulo Mineiro: “Desaparecimento” da paisagem Cerrado. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 13–26, 2014.

PEREIRA, M. R. D.; SANTOS, A. A. DOS; SOUSA, S. B. DE. APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUSP) NA PREVISÃO A EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO FRANCISQUINHA – PORTO NACIONAL - TO. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 10, p. 100–112, 2017.

PINHEIRO, M. R. DE C.; KURY, K. A. Conservação ambiental e conceitos básicos de ecologia. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 2, n. 2, p. 15–28, 2008.

- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. DOS; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Eds.). . **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. p. 293.
- PONCIANO, T. A. **Dinâmica da estrutura da paisagem na Microrregião do Vão do Paranã (GO)**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- QUEIROZ NETO, J. P. DE. **Pedologia: conceito, método e aplicações**. [s.l: s.n.].
- QUIRINO, D. T.; CLEMENTINO, N. F.; CASAROLI, D. **Análise exploratória-espacial do município de Santo Antônio de Goiás-GO**. Anais do XVIII Simpósio de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...**Santos, SP: Galoá Proceedings, 2017
- RENARD, K. G. et al. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. [s.l.] United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1997.
- REZZADORI, T.; HARTMANN, M. T.; HARTMANN, P. A. Proximidade de rodovias pode influenciar a fragmentação florestal? Um estudo de caso no norte do Rio Grande do Sul. **Biotemas**, v. 29, n. 3, p. 21–28, 2016.
- RIBEIRO, B. R.; ATADEU, M. Systematic conservation planning: Trends and patterns among highly-cited papers. **Journal for Nature Conservation**, v. 50, p. 125714, 2019.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. DE; RIBEIRO, J. F. (Eds.). . **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 153–212.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.
- RIBEIRO, M. P.; MELLO, K. DE; VALENTE, R. A. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 819–834, 2020.
- RISSER, P. G.; KARR, J. R.; FORMAN, R. T. T. **Landscape Ecology: Directions and Approaches**. Illinois: Illinois Natural History Survey, 1984.
- RODRIGUEZ, H. S. A importância da estrada de ferro para o Estado de Goiás. **Revista UFG**, v. 11, p. 69–74, 2011.
- RODRIGUEZ, J. M. M. **Geografía de los paisajes. Primera parte. Paisajes naturales**. Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria, 2008.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. DA. **Planejamento e Gestão Ambiental: Subsídios da Geocologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. DA; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5ª ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. DA; LEAL, A. C. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: **Planejamento Ambiental E Bacias Hidrográficas**. Fortaleza: Edições

UFC, 2011. v. 2p. 29–47.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81–90, 2005.

SANEAGO. **Plano de Racionamento do Abastecimento de Água Potável: Anápolis**. Disponível em: <[https://www.saneago.com.br/racionamento/Plano\\_Racionamento\\_anapolis\\_2019.pdf](https://www.saneago.com.br/racionamento/Plano_Racionamento_anapolis_2019.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2020.

SANO, E. E. et al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

SANTOS, E. H. M. DOS; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. DE. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826–834, 2010.

SANTOS, L. A. C. et al. Conflitos de uso e cobertura do solo para o período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. **Fronteiras**, v. 87, n. 2, p. 189–211, 2019.

SANTOS, P. T.; MARTINS, A. P. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 155–170, 2018.

SCIPIONI, B.; MEZZOMO, M. D. M.; CORNELI, V. M. Identificação De Áreas Prioritárias Para a Conservação Da Natureza Na Bacia Do Rio Mourão-Pr, Sob a Perspectiva Do Planejamento Da Paisagem. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 3, p. 149–158, 2016.

SFB, S. F. B. **Inventário Florestal Nacional: principais resultados - Distrito Federal**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2016.

SILVA, D. C. DA C. E et al. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 189–212, 2020.

SILVA, E. E. R. et al. Estimativa da Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite - GO a Partir de Análise Espacial de Dados. **Revista Estudo & Debate**, v. 24, n. 3, p. 85–115, 2017.

SILVA NETO, J. C. A.; ALEIXO, N. C. R. Análise temporal da vulnerabilidade da paisagem à perda dos solos na bacia hidrográfica do rio Salobra-Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Formação (Online)**, v. 2, n. 23, p. 252–270, 2016.

SILVA NETO, J. B. et al. Diagnósticos dos Recursos Hídricos: Disponibilidade e Demanda para a Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 8, p. 149–167, 2015.

SIQUEIRA, M. N. **Influência do Efeito de Borda, da Perda de Habitat e de Fatores Abióticos na Estrutura da Comunidade Lenhosa em Fragmentos de Cerrado Denso na Alta Bacia do Rio Araguaia**. [s.l.] Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SIQUEIRA, M. N.; FARIA, K. M. S. Análise da dinâmica da paisagem no município de Rio Verde, Goiás, Brasil: uma ferramenta para a escolha de áreas prioritárias para a conservação. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. 1–20, 2019.

- SOARES, M. J. A. DE A. et al. **Mapeamento de pastagens convertidas para agricultura no município de Silvânia-GO**. XV Semana da Agronomia. **Anais...Areia**, PB: 2019
- SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1977.
- SOUSA, A. C. R. C. DE; OLIVEIRA, I. S. DE; MACHADO, L. F. C. **Caracterização da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas/GO**. Beau Bassin: Novas Edições Acadêmicas, 2019.
- SOUZA, V. DE; GASPARETTO, N. V. L. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos do município de Maringá – PR por meio de análises físicas e geotécnicas. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 5–16, 2010.
- STEIN, D. P.; PONÇANO, W. L.; SAAD, A. R. Erosão na Bacia do Rio Santo Anastácio, Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 143–162, 2003.
- STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. V.4 ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2017.
- TEIXEIRA, N. F. F.; SILVA, E. V. DA; FARIAS, J. F. Geocologia Das Paisagens E Planejamento Ambiental: Discussão Teórica E Metodológica Para a Análise Ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 9, p. 147–158, 2017.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- TRINDADE, S. P.; FARIA, K. M. S. DE; CASTRO, S. S. DE. Análise da expansão canavieira e as mudanças de uso do solo no Sudoeste Goiano de 1985 a 2016. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 569–590, 2018.
- TROMBETA, L. R.; CHÁVEZ, E. S.; LEAL, A. C. Unidades de paisagem como contribuição à gestão das águas: estudo aplicado na unidade de gestão de recursos hídricos Paranapanema - Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, n. c, p. 417–429, 2017.
- TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geocologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do Córrego Guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Revista Formação (Online)**, v. 3, n. 23, p. 187–216, 2016.
- UFG. Análise dos aspectos ambientais na Região Metropolitana de Goiânia. In: **Região Metropolitana de Goiânia: Plano de Desenvolvimento Integrado**. [s.l.] Ministério da Educação, 2017. p. 184.
- VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre, RS: IGEO/UFRGS, 2016.
- VEREZA, R. et al. **Dossiê propositivo: revisão dos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado**. Ministério ed. Brasília, DF: MMA, 2018.
- VICENS, R. S.; RODRIGUEZ, J. M. M.; CRONEMBERGER, F. M. A Paisagem Físico-Geográfica: Identificação e Classificação. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 64, n. 1, p. 202–219, 2019.
- VIDAL, M. M. et al. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521–532, 2007.

VILELA, B. P. **Interpretação das paisagens culturais na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas: uma proposta de princípios para ações em educação ambiental sustentada.** [s.l.] Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

VILELA, B. P.; OLIVEIRA, S. DE F. Interpretação de signos e símbolos da cultura tradicional - as paisagens da bacia hidrográfica do Rio Caldas – Goiás – Brasil: tópicos metodológicos sobre “História de Vida”. **Ateliê Geográfico**, v. 3, n. 1, p. 171–183, 2009.

VILLARD, M.-A.; METZGER, J. P. Beyond the fragmentation debate: A conceptual model to predict when habitat configuration really matters. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 309–318, 2014.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 11, n. 5, p. 965–974, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning.** [s.l.] Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.