



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS (Iesa)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (PPGeo)

VITOR PEREIRA CRUZ

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DINÂMICA DE USO E
COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO JOÃO LEITE: INSUMOS PARA AVALIAÇÃO DA
INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

GOIÂNIA
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

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

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

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

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

2. Nome completo do autor

Vitor Pereira Cruz

3. Título do trabalho

Análise Morfométrica e Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite: insumos para avaliação da infiltração e escoamento superficial.

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

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

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

a) consulta ao(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 **Gislaine Cristina Luiz, Professora do Magistério Superior**, em 29/05/2023, às 13:49, 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 **Vitor Pereira Cruz, Usuário Externo**, em 19/07/2023, às 20:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3775408** e o código CRC **7C8FEFC0**.

VITOR PEREIRA CRUZ

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DINÂMICA DE USO E
COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO JOÃO LEITE: INSUMOS PARA AVALIAÇÃO DA
INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obter o título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Natureza e Produção do Espaço

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientadora: Dra. Gislaine Cristina Luiz

Coorientador: Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento

GOIÂNIA
2023

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

Cruz, Vitor Pereira

Análise Morfométrica e Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite: Insumos Para Avaliação da Infiltração e Escoamento Superficial [manuscrito] / Vitor Pereira Cruz. - 2023.

XCII, 92 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Gislaine Cristina Luiz; co-orientador Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

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

1. Bacia hidrográfica. 2. MapBiomas. 3. Morfometria. I. Luiz, Gislaine Cristina, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **15/2023** da sessão de Defesa de Dissertação de **Vitor Pereira Cruz**, que confere o título de Mestre em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos **vinte e cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e três**, a partir das **14h**, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“Análise Morfométrica e Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite: insumos para avaliação da infiltração e escoamento superficial”**. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora **Gislaine Cristina Luiz (IESA/UFG)**, com participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Derick Martins Borges de Moura (UEG)**, membro titular externo; e Professor Doutor **Ivanilton José de Oliveira (IESA/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora **Gislaine Cristina Luiz**, 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 **vinte e cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e três**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Gislaine Cristina Luiz, Professora do Magistério Superior**, em 25/04/2023, às 16:05, 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 **Ivanilton José De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 25/04/2023, às 16:07, 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 **DERICK MARTINS BORGES DE MOURA, Usuário Externo**, em 25/04/2023, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



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



verificador **3694732** e o código CRC **F6AD96EE**.

Referência: Processo nº 23070.021832/2023-36

SEI nº 3694732

COMPOSIÇÃO DA BANCA DO EXAME DE QUALIFICAÇÃO

PROF. DRA. GISLAINE CRISTINA LUIZ

Orientador – PPGeo/UFG

**PROF. DR. DIEGO TARLEY FERREIRA
NASCIMENTO**

Examinador Interno – IESA/UFG

**PROF. DR. DERICK MARTINS BORGES DE
MOURA**

Examinador Externo – UEG

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos que precisei. Nos momentos de alegria e de tristeza, mesmo em meio às dificuldades enfrentadas, tenho sentido o seu poder operar em minha vida. Agradeço por me fazer chegar até aqui e por estar bem de saúde. Todas as conquistas que tive e que ainda terei nessa vida são através da Tua benção. Te agradeço.

Aos meus pais Carlos e Edilene que sempre me apoiaram nos caminhos dos estudos; sempre me disseram que única coisa mais valiosa que os pais podem passar para os filhos é a educação. Em especial minha mãe, que, desde que decidi traçar a vida acadêmica, não mediu forças para me apoiar e me ajudar nessa jornada. Amo vocês.

À minha esposa Aline pelo amor e companheirismo que você tem me dado todos os dias. Agradeço imensamente pela força e dedicação que você me deu para eu terminar essa dissertação. Amo muito você. Agradeço pela nossa pequena família que temos juntos com nossos cachorros (Jorge e Sukita) e a gata (Lilica). Nossa casa é mais alegre com a presença deles.

Aos meus familiares e amigos, por desejarem o melhor em minha vida e pelo esforço que fizeram para que eu pudesse chegar aqui. Aos meus grandes amigos de Goiânia, não tenho palavras para agradecer pela amizade que construímos juntos nesses 6 anos; que continuemos assim por toda vida.

À professora Dr. Gislaine Cristina Luiz, pela orientação deste trabalho; obrigado pela confiança em mim depositada, paciência e incentivos para sempre querer buscar o melhor para concretização dos meus objetivos.

Ao professor Diego Tarley Ferreira Nascimento, por ter aceitado o convite para fazer parte da banca da minha qualificação e posteriormente meu coorientador. Agradeço pela parceria que temos juntos desde 2016 quando fui seu orientando de iniciação científica na graduação. Sou imensamente grato por me ajudar a desenvolver diversos projetos e agora também no mestrado. Obrigado pela confiança em meu trabalho, pelo respeito, por me ensinar e pelos sábios conselhos.

Aos professores das disciplinas obrigatórias e optativas que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico no Instituto de Estudos Socioambientais – IESA/UFG. A eles, Prof. Dr. Ivanilton Jose de Oliveira, Prof.^a Dr^a Eliana Marta Barbosa de Moraes, Prof. Dr. Eguimar Felício Chaveiro e ao Prof. Dr. Vanilton Camilo de Souza, o meu muito obrigado.

Por fim, agradeço ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo fomento à pesquisa por meio da concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

A água é um importante elemento para a manutenção dos sistemas globais de produção e para a sustentabilidade social. Para evitar os problemas relacionados aos impactos da segurança hídrica, uma das principais formas de estudos é com as bacias hidrográficas. Chama-se atenção para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (BHRJL), que já encontra sérios problemas de manutenção, tendo em vista que, das 491 nascentes que o alimenta, apenas 70 encontram-se devidamente protegidas e outras 23 não podem mais ser recuperadas. A hipótese do trabalho considera que a bacia hidrográfica do ribeirão João Leite ao longo dos anos não poderá fornecer a mesma capacidade hídrica necessária para a região. O trabalho objetivou-se de realizar mapeamento espaço-temporal de cobertura e uso da terra para avaliar o comportamento hidrológico de infiltração de água no solo com intuito de avaliar o comportamento hidrológico de infiltração e do escoamento superficial de água no solo no interior da BHRJL para avaliar a capacidade de infiltração de água na bacia. O trabalho utilizou métodos e técnicas de análise ambiental e geoprocessamento, foi feita aquisição do mapeamento de cobertura e uso da terra disponibilizado pelo projeto MapBiomas e a avaliação das características morfométricas foram utilizadas cenas de imagens do MDE para avaliar a capacidade de infiltração de água na bacia. As análises de cobertura e uso da terra evidenciaram que a BHRJL sofreu uma dinâmica significativa em ocupação, principalmente nas áreas de pastagens pela mesma possuir a maior em geoprocessamento percentual de área da bacia. Através das análises da morfometria da BHRJL, compreendeu-se que ela não é propensa a inundações, e tem índices médios de drenagem, com alta facilidade do escoamento superficial. Em relação à erosão e ao carregamento de sedimentos, possui médio potencial, compreendendo-se, assim, que a bacia tem um favorecimento médio para a recarga hídrica da BHRJL.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Mapbiomas, Morfometria.

ABSTRACT

Water is an important element for the maintenance of global production systems and for social sustainability. To avoid the problems related to the impacts of water security, one of the main forms of studies is with the river basins. Attention is drawn to the Ribeirão João Leite Hydrographic Basin BHRJL, which already has serious maintenance problems, considering that, of the 491 springs that feed it, only 70 are properly protected and another 23 can no longer be recovered. The hypothesis of the work considers that the hydrographic basin of the Ribeirão João Leite over the years will not be able to provide the same water capacity necessary for the region. The work aimed to carry out a spatio-temporal mapping of land cover and use to evaluate the hydrological behavior of water infiltration in the soil in order to evaluate the hydrological behavior of infiltration and surface runoff of water in the soil within the BHRJL. to evaluate the water infiltration capacity in the basin. The work used methods and techniques of environmental analysis and geoprocessing, acquisition of land cover and use mapping made available by the MapBiomas project was carried out and evaluation of morphometric characteristics were used scenes of images from MDE to evaluate the water infiltration capacity in the basin. The analyzes of land cover and use showed that BHRJL underwent a significant dynamic in occupation, mainly in pasture areas because it has the highest percentage of area in geoprocessing of the basin. Through the analyzes of BHRJL's morphometry, it was understood that it is not prone to flooding, and has average drainage rates, with high ease of surface runoff. In relation to erosion and sediment loading, it has medium potential, thus understanding that the basin has an average favoring for BHRJL's water recharge.

Keywords: Hydrographic Basin, Mapbiomas, Morphometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	40
Figura 2: formação florestal de cerradão na BHRJL.....	48
Figura 3: Pastagem na BHRJL em propriedade privada.....	51
Figura 4: Porção de plantação de milho na cidade de Terezópolis-GO.....	52
Figura 5: Porção de áreas urbanizadas em Anápolis-GO.....	54
Figura 6: Porção de área urbanizada em Terezópolis-GO.....	55
Figura 7: Mapa de uso e cobertura da terra da BHRJL nos de 1985, 2000, 2010 e 2020.....	56
Figura 8: Mapa comparativo de cobertura e uso da terra da BHRJL dos anos de 1985 e 2020.....	58
Figura 9: Altimetria da BHRJL.....	63
Figura 10: Distribuição de classes de altimetria.....	64
Figura 11: Faixas de declividade da BHRJL.....	65
Figura 12: Classes de declividade.....	66
Figura 13: Mapa de hierarquia fluvial da BHRJL.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes de cobertura e uso de terra com a potencialidade para infiltração da água no solo.....	43
Quadro 2: Parâmetros Morfométricos, equações e fontes.....	45
Quadro 3: Classes de cobertura e uso da terra da BHJRL 1985 a 2020.....	59
Quadro 4: Distribuição das classes de altitude.....	64
Quadro 5: Classes de declividade da BHJRL.....	66
Quadro 6: Resultados dos parâmetros analisados.....	68
Quadro 7: Índice de rugosidade.....	71
Quadro 8: Índice de circularidade.....	72
Quadro 9: Classificação do coeficiente.....	75
Quadro 10: Classificação do Coeficiente de Compacidade.....	75
Quadro 11: Classes de relação de bifurcação.....	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.2. Objetivo geral.....	19
1.3. Objetivos específicos.....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. Nexus água.....	20
2.2. O ciclo hidrográfico do Brasil.....	22
2.3. Bacia hidrográfica enquanto unidade espacial de estudos ambientais.....	23
2.4. Uso de geotecnologias para análise de bacias hidrográficas.....	25
2.5. Cobertura e uso da terra relacionado a bacias hidrográficas.....	30
2.6. Parâmetros morfométricos para análise de bacias hidrográficas.....	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1. Localização da área de estudo.....	39
3.2. Características geoambientais da área em estudo.....	40
3.3. Procedimentos metodológicos	42
3.3.1. Cobertura e uso da terra.....	42
3.3.2. Parâmetros morfométricos	44
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
4.1. Cobertura e uso da terra.....	47
4.1.1. Formação florestal.....	48
4.1.2. Formação savânica.....	49
4.1.3. Formação campestre.....	50
4.1.4. Outras formações vegetais.....	50
4.1.5. Pastagem.....	50
4.1.6. Agricultura	51
4.1.7. Silvicultura.....	53
4.1.8. Mosaico de agricultura e pastagem.....	53
4.1.9. Área urbana e outras áreas não vegetais.....	54
4.2. Caracterização morfométrica.....	62
4.2.1. Altimetria.....	62
4.2.2. Declividade.....	64
4.2.3. Ordem hierárquica dos canais.....	66
4.3. Área da bacia.....	68

4.4. Perímetro da bacia.....	69
4.5. Número de canais de 1º ordem.....	69
4.6. Comprimento vetorial do canal principal.....	70
4.7. Comprimento do canal principal.....	70
4.8. Índice de rugosidade.....	70
4.9. Gradiente do canal principal.....	71
4.10. Índice de circularidade.....	72
4.11. Densidade de drenagem.....	73
4.12. Densidade hidrográfica.....	73
4.13. Coeficiente de manutenção.....	74
4.14. Coeficiente de compacidade.....	74
4.15. Fatos de forma.....	75
4.16. Frequência dos canais de cada ordem.....	76
4.17. Relação de bifurcação.....	76
4.18. Índice de sinuosidade do canal principal.....	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
REFERÊNCIAS.....	80

1. INTRODUÇÃO

Conforme Gain Giupponi e Wada (2016), a água é um importante elemento para a manutenção dos sistemas globais de produção e para a sustentabilidade social. O bem-estar da população e a sua segurança alimentar estão ligados à estabilidade dos recursos hídricos por todo o mundo. A segurança hídrica não depende apenas do uso racional para se ter o equilíbrio, mas também trabalhar sobre as questões de sua demanda, através dos fatores sociais, econômicos e políticos, compreendendo a sua distribuição de forma que haja preservação e sustentabilidade.

O Brasil se encontra em primeira posição no ranking de maior quantidade de água doce no mundo; são cerca de 12% de disponibilidade em relação a todo o planeta; a água que está no país, em seu maior volume, é encontrado na Região Norte, com aproximadamente 80%, onde reside apenas 5% da população. Por sua vez, a Região Sudeste e regiões próximas ao litoral representam 45% da população brasileira, entretanto, possuem menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2019). Portanto, no Brasil, a questão da segurança hídrica se torna algo imprescindível para ser estudado, já que o país enfrenta diversos problemas em relação à distribuição e ao mau uso desse recurso natural.

Cyne, Santos e Pereira (2010) abordam que, para evitar os problemas relacionados aos impactos à segurança hídrica, uma das principais formas de estudos é com as bacias hidrográficas, pois a partir delas é possível elaborar planejamentos que visem evitar os diversos problemas ambientais (desmatamentos, poluição, aterros das nascentes, mudança na ocupação do solo, etc.). Uma bacia hidrográfica é uma junção de drenagem que se reúne em ponto de toda água precipitada escoando até seu ponto mais baixo, conhecido como exutório (TEIXEIRA *et al.*, 2009). As bacias hidrográficas são importantes unidades de planejamento, visto que o modelo de ocupação desses locais influencia diretamente na disponibilidade hídrica da região.

A qualidade e quantidade do recurso hídrico em uma bacia hidrográfica pode ser identificado a partir da análise da sua paisagem, se grande presença de cobertura vegetal ou não. Compreender as causas que afetam essas modificações se torna fundamental para reduzir os impactos negativos a esse recurso. Para a realização de um diagnóstico ambiental com vistas à avaliação da segurança hídrica de uma bacia hidrográfica, recomenda-se o uso de geotecnologias. Essas tecnologias permitem identificar áreas com potenciais restrições com relação ao ciclo da água, tendo em vista a entrada e a saída de água da bacia, a influência do

uso do solo, a configuração fisiográfica da bacia no escoamento, a infiltração e permanência de água na bacia.

Assim, as técnicas de geoprocessamento, as imagens de sensoriamento remoto (orbital e suborbital) e os sistemas de informações geográficas (SIG) têm subsidiado um gama de estudos e insumos ao planejamento urbano e ambiental, especialmente por fornecerem dados históricos, que integram informações espaciais e subsidiam o diagnóstico de um panorama do passado e/ou atual, e o prognóstico futuro de um determinado fenômeno em questão. Dentre as possibilidades, destaca-se, aqui, a aplicação das geotecnologias na análise do uso do solo e da morfometria de bacias hidrográficas, de modo a averiguar as potencialidades e restrições ambientais, seja em termos de produção de água ou quaisquer outras condições ambientais.

Nesse contexto, chama-se atenção para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (BHRJL), na qual foi implementado, em 2005, um reservatório para o fornecimento de água para a Região Metropolitana de Goiânia até o ano de 2040 (SANEAGO, 2012), mas que já encontra sérios problemas de manutenção, tendo em vista que, das 491 nascentes que o alimenta, apenas 70 se encontram devidamente protegidas e outras 23 não podem mais ser recuperadas (RESENDE, 2015).

Conforme apontado por Oliveira (2013), a BHRJL é de grande importância por ser umas das principais fontes de abastecimento público de água para a Região Metropolitana de Goiânia. Entretanto, essa bacia sofreu um intenso processo de ocupação sem planejamento ao longo dos anos, com ocupação indevida em áreas remanescentes de vegetação natural inclusive algumas delas foram anteriormente destinadas à proteção de nascentes e de drenagens, em termos de área preservação permanente, o que pode vir a diminuir a capacidade de infiltração de água no sistema (SOUSA, 2013).

Diante do contexto apresentado, a hipótese do trabalho se baseia nos problemas mencionados à BHRJL, a qual enfrenta diversos problemas relacionados à ocupação e uso da terra e do aumento da demanda hídrica da região metropolitana de Goiânia. Dessa forma, considera-se que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, ao longo dos anos, não poderá fornecer a mesma capacidade hídrica necessária para a região. Portanto, o presente trabalho aplica uma metodologia de avaliação de cobertura, uso da terra e análise morfométrica da BHRJL, com vistas a avaliar o comportamento hidrológico e a disponibilidade hídrica superficial da bacia.

1.2 Objetivo geral

O trabalho objetivou em analisar um mapeamento espaço-temporal de cobertura e uso da terra, entre os de 1985 a 2020 (35 anos) com uso do MapBiomas, e avaliar as características morfométricas da Bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, a fim de avaliar o comportamento hidrológico de infiltração e do escoamento superficial de água no solo.

1.3 Objetivos específicos

- Mapear e analisar as mudanças de uso e cobertura da terra na BHRJL nas últimas 4 décadas de 1985 a 2020;
- Averiguar a capacidade de infiltração de água na BHRJL conforme as classes de cobertura e uso da terra;
- Aplicar parâmetros morfométricos a partir do modelo digital de elevação (MDE);
- Avaliar a capacidade de infiltração e escoamento superficial de água na BHRJL conforme as condições morfométricas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico tem o objetivo de apresentar discussões sobre o a influência da água no mundo, contextualizando a abordagem do Nexus água, que é uma proposta econômica para o mundo, idealizando uma nova ideia para o uso consciente dos recursos hídricos, levando em consideração a sustentabilidade. Aborda-se ainda o funcionamento do ciclo hidrológico com enfoque no Brasil, apresentando a distribuição hídrica pelo país e ponderando os aspectos dos fatores climáticos que interferem na total distribuição hídrica. O texto também apresenta bacias hidrográficas, entendendo como elas servem como modelo de estudo ambiental para avaliar o comportamento hídrico da região pretendida, a partir de técnicas subsidiadas pelo sistema de informação geográfica – SIG. Em seguida, aborda-se sobre a importância do uso da técnica de mapeamento de uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas por instruir uma análise das atividades antrópicas para estudos relacionados à recuperação de áreas degradadas, compreendendo o impacto causado sobre as mudanças da cobertura natural do solo. Por fim, o referencial teórico finaliza apresentando a importância de avaliar as bacias hidrográficas a partir da aplicação de parâmetros morfométricos, que têm o

objetivo de entender o comportamento hidrológico da bacia para definir métricas para a gestão hídrica da região.

2.1.Nexus água

O rápido aumento da população mundial atrelada à demanda por recursos naturais pode acarretar na falta de recursos hídricos para abastecer a todos. Embora a água esteja em toda parte na terra, sua qualidade e disponibilidade para uso das pessoas são muito limitadas (ALVES, 2019; UNDP, 2006). A sociedade de consumo que almeja melhores condições de vida e o rápido aumento da população em grandes centros urbanos são fatores determinantes na alta demanda por recursos naturais (MOURA, 2017, 2021).

Como bem reforça Moura (2017, p. 23), cada área do mundo tem “[...] sua característica pluviométrica intrínseca, que faz parte da sua particularidade. Essa particularidade quando coincide com características geológicas peculiares, pode fornecer ao lugar uma maior potencialidade de armazenamento da água”. O aumento da temperatura causado pelas alterações climáticas está diretamente ligado ao ciclo hidrológico (MOURA, 2017). E o Brasil sofrerá negativamente com as mudanças climáticas, pois sua economia depende intrinsecamente de questões hídricas e climáticas, como agricultura, produção de energia e abastecimento urbano (FERRAÇO e MORAES, 2018).

A água é um dos recursos mais importantes para o desenvolvimento, devido aos seus múltiplos usos no mundo natural e pode ser contaminada por poluentes próximos. Dessa forma, os problemas de abastecimento são cada vez mais frequentes, tais como erosão do solo e degradação de lençóis freáticos relacionados a atividades agropecuárias e industriais realizadas sem preocupação com o uso consciente desse recurso (BATISTA e SOUSA, 2015).

A diminuição da disponibilidade de recursos gera desequilíbrio ambiental e, como resultado direto, conflito entre os setores de água, energia e alimento. Na perspectiva de melhorar o desenvolvimento sustentável no futuro, realizar uma gestão integrada é fundamental para garantir a melhor disponibilidade desses recursos para toda a sociedade (ALVES, 2019). As mudanças climáticas agravarão eventos hidrológicos no Brasil, que já são uma das maiores causas de desastres no país.

Nesse contexto, foram surgindo pesquisas que buscaram associar a relação água, energia e alimento, tratando esses três recursos de forma integrada, objetivando também diminuir a insegurança hídrica, energética e alimentar (MACEDO *et al.*, 2011).

Na Conferência de Bonn, realizada em 2011, foi divulgado o documento intitulado “Understanding the Nexus - Background Paper for the Bonn2011 Nexus Conference” por Holger Hoff. Esse texto versou sobre as mudanças climáticas e propôs a abordagem no nexus de água, segurança alimentar e energia. O documento também propôs recomendações de políticas públicas governamentais que promovam a melhor utilização desses recursos naturais (TORRES, 2020; GIATTI, 2021).

Nesse contexto, a abordagem Nexus água-energia-alimento foi estruturada a partir da iminente escassez de recursos hídricos, energéticos e a produção de alimentos na atual cadeia de consumo da sociedade. Sua proposta é embasada na substituição do modelo econômico tradicional de minimizar custos e maximizar lucros em cada setor isoladamente para a utilização dos recursos hídricos de forma consciente (HOFF, 2011; VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016; FERREIRA, 2020; TORRES, 2020).

O nexu, nome dado à metodologia integradora dos eixos água-energia-alimentos, é uma oportunidade de melhoria da eficácia jurídica ambiental, [...] do ponto de vista do direito, ao se tomar a gestão dos recursos hídricos levando-se em conta os efeitos em energia e alimentos, ou vice-versa, tem-se a oportunidade de melhoria da resiliência ambiental na gestão do uso múltiplo da água. [...] defende-se a inserção do nexu como metodologia de gestão dos recursos hídricos para uma política ambiental multisetorial pela aplicação do princípio da integração no direito ambiental (FERRAÇO e MORAES, 2018, p. 54-55).

O cenário de crises hídricas, energéticas e alimentares, recorrentes em virtude do mau uso dos recursos hidrológicos, trouxeram à tona diversas discussões acerca dessa abordagem, que parte de um eixo estrutural a partir de três temas centrais: a segurança hídrica, energética e alimentar e o uso ineficiente dos recursos naturais. (SILVA e VIANNA, 2022).

Assim, surge o conceito de "Gestão Integrada de Recursos Hídricos" (GIRH), ou seja, o planejamento integrado com diversos níveis administrativos e governamentais para o estabelecimento de medidas para melhor gestão dos recursos naturais visando acelerar o acesso à água, segurança alimentar e energética e melhorar a qualidade dos serviços e a qualidade de vida das populações em todo o planeta (MACEDO *et al.*, 2017; FERREIRA, 2020; RODRIGUES e FIDÉLIS, 2021).

O conceito nexus é objeto de pesquisas e ainda está em processo de avaliação e aplicação, mas representa um ponto de partida para uma gestão pública concatenada com os recursos naturais.

Para isso, pode-se inferir que o conceito nexus é pautado em 04 premissas básicas: (1) Teoria Geral dos Sistemas e Teoria da Complexidade representam suas bases conceituais; (2) políticas públicas interligadas respondem melhor aos problemas sociais e econômicos; (3) a Gestão dos recursos naturais deve ser intersetorial e com compartilhamento de riscos; e (4) deve-se almejar em toda e qualquer estrutura nexus a máxima eficiência dos processos com a menor perda possível, devendo sempre avaliar os trade-off entre seus elementos (TORRES, 2020, p. 225).

A constatação de que os modelos tradicionais de gestão desses recursos não atendem mais às complexas questões sociais e econômicas atuais, impulsionou novas pesquisas divulgadas na “*Nexus Resource Platform*”¹, que apontam para outros modelos de gestão dos recursos naturais os quais propõem políticas públicas de maneira sistematizada, interdisciplinar e multissetorial dos desafios ambientais, inclusive em escalas regionais e locais (FERREIRA, 2020; TORRES, 2020; SILVA e VIANNA, 2022).

Nesse sentido, a abordagem nexus ganha mais espaço nos fóruns de discussão científica e técnica “para avaliar setores e recursos que enfrentam desafios ambientais, particularmente no contexto hídrico da relação entre energia e segurança alimentar” (FERREIRA, 2020, p. 31). Ela representa o reconhecimento social dessas mudanças que vêm acontecendo progressivamente.

2.2.O Ciclo Hidrológico do Brasil

O Brasil possui abundância em recursos hídricos, mas a distribuição não é uniforme em todas as regiões do país, devido a atuação diferenciada de sistemas atmosféricos produtores de tempo, associado a fatores climáticos, como a presença do relevo em diversas áreas, a proximidade com os oceanos, que influenciam na distribuição da água entre as regiões. Além disso, o país não possui uma gestão de recursos de modo sustentável, o que é demonstrado pelas constantes crises hídricas que ocorrem nas regiões Nordeste e, mais recentemente crises hídricas devastadoras, Sudeste e Centro-Oeste (UNDP, 2006; FERRAÇO e MORAES, 2018)

A disponibilidade não é uniforme em todo território nacional ocorrendo uma variação na precipitação, como se verifica no estado de Goiás, devido ao clima sazonal do Cerrado,

¹ A Nexus Resource Platform é o principal centro de conhecimento global para gerenciar e compartilhar recursos no Nexus de Água, Energia e Segurança Alimentar. Permite que profissionais, pesquisadores e formuladores de políticas pensem além dos setores para garantir o acesso à água, energia e alimentos para todos. Disponível em <https://www.water-energy-food.org/>. Acesso em 19 jul. 2022.

chove durante sete meses do ano acarretando em uma maior disponibilidade hídrica, mas os outros cinco meses são secos. (MOURA, 2021; NASCIMENTO, 2016).

O Brasil possui dois grandes biomas: a Amazônia e o Cerrado. O segundo é conhecido por diferentes tipos de natureza – florestas, pastagens e savana. Este bioma é importante para os recursos hídricos pela forma como a água interage com o solo (BRITO, 2019). Dadas a riqueza fisiológica vegetal e a contribuição hidrológica do Cerrado, é necessário estudar e reunir informações sobre os processos hidrológicos nesta área, especialmente a infiltração. (BRITO, 2019).

Os ciclos e os processos naturais alteram constantemente a matéria e a energia, renovando e sustentando as condições necessárias à vida na Terra (ALVES, 2019). O ciclo hidrológico terrestre é alimentado por energia solar, obtendo água através da evaporação das superfícies do mar e da terra. Essa água entra no sistema de circulação geral da atmosfera, e sofre interferências de outros fatores como as diferenças de absorção de energia, refletividade e grandes latitudes (TUCCI e CLARKE, 1997).

Os estudos hidrológicos pretendem compreender a ocorrência, distribuição, movimentação da água e de suas propriedades. Além disso, a água “[...] é o ponto de convergência de um sistema ambiental de múltiplas relações estabelecidas entre os diversos componentes físicos, bióticos e antrópicos” (MACHADO *et al.*, 2011, p. 1441).

Compreender o ciclo da água no ambiente físico e biológico é necessário quando se considera estudos de recursos hídricos. Além disso, fatores como a cobertura vegetal e os aspectos físicos do ambiente, como elevação e uso do solo, devem ser considerados (TUCCI e CLARKE, 1997; MOURA, 2017).

2.3. Bacia Hidrográfica enquanto unidade Espacial de Estudos Ambientais

As bacias hidrográficas são de suma importância para preservação dos recursos hídricos, visto que a água pode ser gerida de forma sustentável utilizando as bacias. O modelo de gestão de bacias hidrográficas estuda a dinâmica dos impactos causados pela ação antrópica e traça métodos para conter a degradação por meio de políticas adequadas e ações governamentais planejadas. (AGUIAR; TARGA e BATISTA, 2007; MOURA, 2017).

Uma bacia hidrográfica é uma unidade de análise ambiental e pode ser conceituada como uma área do relevo superficial, delimitada naturalmente pelos divisores de água e que fornecem água às redes de drenagem e ao lençol freático, através da chuva. Essa água da chuva chega ao solo e segue em direção a um córrego ou rio através da linha da bacia, que

une pontos de maior altitude formando a bacia e deixa a área fluindo para os rios, através da evaporação de corpos d'água e transpiração de plantas e animais (MACHADO *et al.*, 2011; MARTINI, 2012; MOURA, 2017; 2021; ALVES, 2019).

O conceito de bacia hidrográfica exige naturalmente a presença de uma nascente de um canal principal, afluentes e afluentes secundários. Ela é uma unidade fisiográfica complexa, composta por conjuntos de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e limitada por divisores topográficos (SOUZA, 2013). Por conseguinte, “A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório” (MOURA, 2017, p.21; MARTINI, 2012, p.65).

Compreender a disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica requer uma visão sistemática e integrada do meio ambiente, e diferentes modelos e abordagens têm sido desenvolvidos para avaliar o risco de erosão hídrica em uma bacia incluindo a disponibilidade de água e a erosão do solo. (CHRISTOFOLETTI, 1980). Inclusive os modelos matemáticos são um importante instrumento para a avaliação mais precisa dos estudos hidrológicos (TUCCI e CLARKE, 1997).

Moura (2021) compreende que bacia hidrográfica é um geossistema, e a abordagem geossistêmica é baseada na Teoria Geral dos Sistemas, que é uma ciência de amplo alcance e que abrange o todo ao redor de uma paisagem. (SOTCHAVA, 1977; ALVES, 2019). A paisagem é composta por todos os elementos existentes, como plantas, rochas, solo e água; e esses elementos trabalham juntos para formar um Geossistema (BERTRAND, 2004).

A bacia hidrográfica é composta por componentes, como terra, água, organismos vivos, dentre outros, e a análise geossistêmica é utilizada para avaliar o espaço onde esses componentes estão localizados, podendo ser utilizada nos estudos hidrológicos que avaliam uma bacia. (BERTRAND, 2004; BOTELHO E SILVA, 2004). As bacias hidrográficas rurais são essenciais na gestão dos recursos hídricos e a agricultura impacta os sistemas hídricos por meio da produção de sedimentos, do lançamento de águas residuais nos cursos d'água e da contaminação com pesticidas ou fertilizantes na água (MARTINI, 2012).

Usando a Teoria Geossistêmica (TG), os cientistas podem observar a paisagem mais ampla e gerenciar o planejamento de áreas, como bacias hidrográficas (GREGORY, 1992; ALVES, 2019), tendo em vista que essa metodologia auxilia ajuda a fornecer uma visão completa da área, inclusive dos “[...] fatores que contribuem para a disponibilidade e as intervenções antrópicas que causam a redução” (MOURA, 2021, p. 25).

A vegetação desempenha um papel fundamental no balanço energético e no fluxo de água. A parte inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior a superfície foliar, maior a área de retenção de água durante a precipitação. A capacidade de infiltração também depende do tipo e uso do solo. Essas superfícies desprotegidas e locais sem vegetação podem reduzir bastante a eficácia de infiltração, resultando em maior escoamento (TUCCI e CLARKE, 1997).

O avanço das intervenções antrópicas e a remoção da vegetação original e a substituição dos cultivos levaram a uma ruptura do equilíbrio entre solo e meio ambiente, perturbando as condições químicas, físicas e biológicas, exacerbando os efeitos da erosão na área da bacia hidrográfica (AGUIAR, TARGA e BATISTA, 2007). O aumento da atividade humana também está afetando o abastecimento de água na bacia, portanto, este é um fator importante a ser analisado, pois causa impactos significativos nestes ecossistemas, o que exige um melhor planejamento ambiental do poder público (TUCCI e CLARKE, 1997).

Excetuando a Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, não há parâmetro de medidas participativas, integradoras e descentralizadas. A crise hidrológica pela escassez de água e seus múltiplos usos encontra também o percalço do problema de gestão (FERRAÇO e MORAES, 2018).

Um aspecto muito importante do conceito Nexus água é a descentralização, ou seja, aumentar o diálogo e projetos maiores entre empresas privadas, ciência, grupos sociais e órgãos do governo local/nacional. No intuito de uma maior integração hídrica, criar melhores linhas de comunicação entre as diferentes camadas do governo, o setor empresarial, a comunidade científica e os grupos sociais (SILVA e VIANNA, 2022).

2.4. Uso de geotecnologias para análise de bacias hidrográficas

Gerenciar práticas de conservação de água em pequenas bacias hidrográficas deve ser uma preocupação constante, pois a água pode ser utilizada para diversas atividades antrópicas (SANTOS e ZARONI, 2019). As nascentes naturais podem ter sua qualidade de água alterada devido os mananciais carregarem sedimentos e sujeira ao longo de seu curso. Essa água suja altera a qualidade original das nascentes, fazendo com que a vazão diminua, as fontes sejam reduzidas ou eliminadas e a vida útil dos reservatórios seja diminuída. (PINTO e GARCIA, 2005, 2011).

Uma bacia hidrográfica possui muitos elementos interagindo, tanto naturais quanto por interferência humana. Desse modo, todos os elementos físicos, econômicos, sociais e até

culturais devem ser considerados na análise de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980; TUCCI, 1997, 2004). Nesse contexto, as ferramentas geotecnológicas podem ser utilizadas nos estudos de bacias hidrográficas “como subsídio à compreensão do comportamento hidrológico, possibilitando a obtenção de resultados representativos, de forma rápida e econômica” (MOURA, 2021, p. 26-27).

A compreensão das condições do solo no Brasil leva a pesquisas em geotecnologias e modelos utilizados para analisar áreas hidrográficas regionais maiores (PINTO e GARCIA, 2005, 2011). Como bem reforça Alves (2019, p. 101), com o uso dessas pesquisas é possível “gerar produtos cartográficos sobre dissecação do relevo, tipos de solos, erosividade, uso e cobertura da terra” de maneira rápida e econômica.

As geotecnologias podem ser conceituadas como um conjunto de ferramentas tecnológicas utilizadas para coletar, processar analisar e tratar informações com referências geográficas (ARRAES, 2008; MACHADO *et al.*, 2011). Elas podem ser aplicadas em diferentes finalidades e utilizam desde dados computacionais, georreferenciados, imagens de sensores remotos, cruzamento de dados matemáticos e estatísticos, no intuito de compreender os elementos geomorfológicos do ambiente e as variáveis biofísicas de uma região, como clima, solo, relevo, rede hidrográfica, uso e cobertura da terra. (CHEREM, 2008; PINTO e GARCIA, 2011; SANTIAGO *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016).

A aquisição e análise desses dados ocorrem de forma mais rápida e objetiva, reduzindo os custos operacionais e permitindo que eles sejam amplamente utilizados (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004). As geotecnologias viabilizam o avanço de pesquisas, verificação de ações de planejamento, gestão, processamento e outros aspectos relacionados a diversos dados geoespaciais (SANTOS *et al.*, 2016).

Os computadores têm ajudado a coletar e a analisar grandes quantidades de dados e informações que antes exigiam levantamentos de campo e de escritório caros e de longo prazo (CHEREM, 2008). Isso facilita diagnósticos em feições topográficas, análises morfométricas de bacias hidrográficas e mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal (NUNES, RIBEIRO e FIORI, 2006; MOURA, 2017; MOURA *et al.*, 2018).

Na década de 1950, fotos aéreas começaram a ser usadas com frequência. A partir de 1970, as imagens tiradas da órbita também foram utilizadas para verificar mudanças na vegetação e indicadores de erosão (PINTO e GARCIA, 2005). Em 1980, em um período de grandes melhorias científicas na geociência, foram criados programas computacionais para processamento de informações geográficas e novas técnicas de medição à distância, que

possibilitaram o avanço dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG (CHEREM, 2008; SOUSA, 2013).

A geomorfologia é uma ciência que se originou com base em observações empíricas de campo. Essas observações foram utilizadas em conjunto com mapas topográficos e mapas geológicos para validar as informações. Os mapas cruzavam informações relativas aos materiais cartográficos e validavam cientificamente a pesquisa (CHEREM, 2008).

Os radares interferométricos são uma das tecnologias geoespaciais que fornecem informações sobre a topografia e dados de sensoriamento remoto utilizados na análise de sistemas geomorfológicos, como em bacias hidrográficas, além de criar procedimentos de diagnóstico de uma área. (BARBOSA *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2017).

Em se tratando de recursos hídricos e bacias hidrográficas o uso de geotecnologias permite, por exemplo, identificar, modelar e integrar informações para subsidiar o gerenciamento e outorgas do direito de uso prioritários da água (consumo humano e dessedentação de animais) e irrigação, análises de potencial hidroelétrico, controle de enchentes, potencial de abastecimento hídrico, vulnerabilidade ao processo erosivo, dinâmica de transporte de sedimentos, principais vias de contaminação hídrica, condições de navegabilidade, locais propícios ao uso recreativo da água, entre outras aplicações diretas. (SANTOS *et al.*, 2016, p.131).

Existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas na análise de recursos hídricos em bacias hidrográficas. Estes incluem *Global Navigation Satellite System* - GNSS, sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica - SIG, cartografia automatizada, geoprocessamento, dentre outros. Essas tecnologias auxiliam na análise das influências de aspectos físicos e das ações antrópicas na dinâmica hídrica das bacias, permitindo aplicar modelos matemáticos e podendo ser utilizadas em conjunto ou individualmente (ALVARENGA *et al.*, 2016; ALVES, 2019,).

Os Sistemas de Informações Geográficas - SIG conseguem processar imagens SRTM e obter um Modelo Digital de Elevação – MDE para fazer o mapeamento fisiográfico das bacias hidrográficas. A extração de dados morfométricos da área a partir do MDE examina o relevo, faz o levantamento de drenagens e delimita bacias, essenciais para facilitar a pesquisa e a interpretação de inúmeros dados ambientais (MOURA, 2017).

O SIG foi implantado, pela primeira vez, pelo governo canadense em 1964 por meio de um programa de desenvolvimento e recuperação agrícola. E pode ser conceituado como um conjunto de sistemas computacionais para aquisição, armazenamento, manipulação e suporte à análise de dados geocodificados (PINTO e GARCIA, 2005).

Nesse sistema, o processo de análise e combinação de informações relacionadas a diferentes tópicos podem ser conduzidos através de sobreposição de dados, determinadas por regras empíricas de cruzamento ou por meio do uso de modelos matemáticos e estatísticos (PINTO e GARCIA, 2005). Alguns dos Sistemas de Informações Geográficas são: “ArcGIS, GvSIG, QGis, Spring, TerraView, entre outros, que possuem compatibilidade com Windows, Linux e MacOS” (SANTOS *et al.*, 2016, p. 131).

Eles são cruciais na análise ambiental usando sistemas de informação geográfica e na obtenção de informações remotas e, apesar de relativamente recentes, constituem uma poderosa ferramenta em estudos geotemáticos. (BARBOSA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016). Com o auxílio da tecnologia SIG, a análise do ambiente físico, em especial o estudo morfométrico, pode ser feita de forma mais rápida e precisa, permitindo maior agilidade nas tomadas de decisão (SANTIAGO *et al.*, 2015).

A sigla SRTM se origina de (*Shuttle Radar Topography Mission*), mais precisamente de um projeto que teve o intuito de mapear 80% do planeta terra entre as latitudes 54°S a 60°N e gerar Modelos Digitais de Terreno – MDT, por meio de interfometria. As duas imagens de radar da mesma área que formam um interfograma foram obtidas através de sensores “Spaceborn Imaging Radar C-band/X-band Synthetic Aperture Radar - SIRC/X-SAR”. (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004, p. 86).

Cumprir destacar que as cenas geradas através do SRTM são, cada vez mais, constantes em estudos geomorfológicos, hidrológicos, geológicos e ecológicos (MOURA, 2017). Elas são meios facilitadores, pois propiciam estudos na escala 1:25.000 ou menores, o que, na maioria dos casos, é suficiente para os trabalhos regionais e locais. (MACHADO *et al.*, 2011).

Através do processamento SIG de imagens SRTM, é gerado um modelo de imagens com dados morfométricos de uma determinada área (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004). O resultado disso é um Modelo Digital de Elevação – MDE, que pode se dar na forma de um Modelo Digital de Terreno - MDT. Os MDE's são gerados a partir de dados de mapas topográficos, dados de radares interferométricos e utilizados na interpretação da paisagem e na análise de áreas hidrográficas (ALVES, 2019). Tais técnicas facilitam a análise do terreno de forma semiautomática, para olhar os parâmetros morfométricos de uma bacia, por exemplo (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUIMARÃES *et al.*, 2017).

O MDE é a representação de elementos que conjugam dados altimétricos para realização de mapas topográficos em uma determinada área. Inclui a observação de variáveis geoquímicas e físicas, as altitudes topográficas, altimetria e elementos presentes na superfície

da terra. (IBGE, 2022; INPE, 2022). Ele pode realizar diversas tarefas, como criar mapas hipsométricos, preparar mapas de declividade, analisar redes hidrográficas em mapas, delimitar pequenas bacias e áreas inundadas (MOURA, 2017).

O sensoriamento remoto pode ser conceituado como um método de obtenção de informações de um objeto, sem que ocorra contato físico, tendo como chave o uso de sensores de radiação eletromagnética para inferir propriedade dos objetos (MOREIRA, 2011; JENSEN, 2015).

Os sensores remotos podem registrar a energia eletromagnética emitida ou refletida por alvos específicos na superfície da terra (ALVES, 2019). Imagens de satélites e outros sensores remotos podem identificar os diferentes elementos constitutivos da paisagem, como espaços construídos e naturais, assim como os diferentes aspectos temporais e espaciais (SOUZA, 2013).

Uma das principais aplicações do sensoriamento remoto é no processamento digital de imagens para reconhecer padrões de uso e cobertura da terra. E nesse processamento digital de imagens, os valores dos pixels estão relacionados à cobertura do solo por meio de um processo estatístico e probabilístico chamado de classificação (SCHOWENGERDT, 2007; MACHADO *et al.*, 2019).

A ciência geográfica e o sensoriamento remoto são interligados e se relacionam com o espaço geográfico e suas representações, com os detalhes geográficos sobre os objetos, a com localização de fenômenos e suas características. Uma imagem de satélite, por exemplo, pode auxiliar um observador de conceitos de geografia, podendo inclusive ser utilizada para aprimorar a cartografia e auxiliar na criação de mapas. (MENESES *et al.*, 2015; CHAN *et al.*, 2019).

A Série de Satélites Landsat começou a ser lançado no ano de 1972, marcando o início das observações sistemáticas da superfície da Terra. Ao longo dos anos, mais seis outros satélites foram lançados, derivando no maior banco de dados de informações da superfície terrestre atualmente (NASA, 2006). Desde então, houve grandes melhorias em hardware e software, o que levou à criação de modernas tecnologias de computação. Esses avanços levaram ao desenvolvimento de Estações Totais e dos receptores GPS - incrivelmente precisos, bem como levaram à criação de veículos aéreos não tripulados - VANT's. (SOUZA, 2013).

O Landsat fornece cobertura consistente da superfície terrestre e é uma ótima fonte de dados para monitorar a mudança na cobertura vegetal ao longo do tempo e do espaço. No Brasil, isso é importante, tendo em vista que a ocupação do solo geralmente não é adequada e

pode causar erosão muito mais rápido (PINTO e GARCIA, 2005). Os dados de sensoriamento remoto oriundos do Landsat são disponibilizados de forma gratuita no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, constituindo um dos principais bancos de dados para os diversos mapeamentos no país. (INPE, 2019).

As imagens Landsat têm se mostrado eficazes no Brasil, mesmo com resolução menor do que as fotos aéreas (CHANDER *et al.*, 2009). Essas imagens podem ser utilizadas no monitoramento de alguns indicadores de erosão de forma mais rápida, e tem grande potencial para mapeamento de uso e de cobertura da terra em abordagens locais e regionais (FERREIRA *et al.*, 2008).

A criação de uma base de dados de Indicadores Ambientais é acessível, o que permite a criação de uma base de dados consistente. Isso melhora a gestão do meio ambiente e auxilia no desenvolvimento da qualidade de vida das pessoas por meio de um uso mais racional do espaço físico (MACHADO *et al.*, 2011).

Técnicas como produtos de sensoriamento remoto e modelos matemáticos são utilizadas na análise morfométrica. O software QGIS, que é um software livre, e as imagens SRTM obtidas do TOPODATA, do INPE e da EMBRAPA: Brasil e Relevo ajudam a proporcionar à operação um baixo custo, além de ser uma ferramenta útil na análise da área de bacias hidrográficas (MOURA *et al.*, 2018; ALVES, 2019).

As geotecnologias são o ponto de partida para colheita dos dados do solo. O uso do sistema de informação geográfica – SIG e o sensoriamento remoto permitem de forma rápida e econômica mapas morfométricos de tipos de solo, níveis de erosão, cobertura do solo e outros produtos cartográficos em uma dissecação do relevo (MENEZES *et al.*, 2014; SANTIAGO *et al.*, 2015). O modelo digital de elevação (MDE) e a rede hidrográfica digital são as ferramentas mais comuns utilizadas para determinar atributos morfológicos de um relevo (CHEREM, 2008).

2.5.Cobertura e uso da terra relacionado a bacias hidrográficas

Um dos principais modelos de desenvolvimento agrícola moderno se encontra na região Centro-Oeste do Brasil. Com inúmeras agroindústrias, fica nítido o grande impacto no desenvolvimento econômico regional e nacional. Modernas técnicas de gestão e controle da produção, bem como recursos hídricos abundantes para obtenção de matérias primas indispensáveis para abastecimento, irrigação e produção de energia são o que possibilitam

altas taxas de produtividade da região (PINHEIRO, TEIXEIRA e KAUFMANN, 2009; BATISTA e SOUSA, 2015; ALVES, 2019).

Um mau gerenciamento do uso dos solos, com escassez de práticas conservacionistas, pode prejudicar o meio ambiente, causando a contaminação da água, assoreamento de rios, perda de biodiversidade, erosão do solo, entre outros (MOURA, 2021).

Em 1965, o Código Florestal introduziu a ideia de Área de Preservação Permanente - APP. Sendo este um meio previsto na legislação brasileira para promover o desenvolvimento sustentável para proprietários rurais e para a sociedade em geral, dada a necessidade de manter determinadas áreas cobertas de vegetação natural (SOARES *et al.*, 2011). Existem categorias de vegetação nativa ao longo das margens dos rios que são predominantemente APP's, como as margens de cursos hídricos, as formações de serras com declive acentuado, os topos de morros e pequenos pedaços de reserva legal (MOURA, 2021).

O Brasil possui uma legislação ambiental rígida, mas os órgãos de fiscalização não têm conseguido cumprir suas responsabilidades. Devido à falta de procedimentos padronizados, infraestrutura e equipamentos necessários para investigar as agressões ambientais, os órgãos governamentais têm que lidar com muitos desafios para manter as Áreas de Preservação Permanente longe de ações antrópicas ilegais (SOARES *et al.*, 2011).

A área do Cerrado está comprovadamente ameaçada em termos ambientais. Embora ainda haja uma maior presença de vegetação natural nas principais bacias hidrográficas, a região está gradativamente vendo a proteção da biodiversidade na área reduzindo (SILVA e ROSA, 2011). Ações de educação ambiental que objetivam cumprir as leis ambientais vigentes são fundamentais para conscientizar que a degradação do solo não apenas causa prejuízos ambientais, como diminui a capacidade hídrica da bacia, por exemplo, além de prejuízos econômicos, como a desvalorização da propriedade e a improdutividade agrícola (ALVES, 2019).

O mapeamento de uso e cobertura da terra analisa as atividades antrópicas para estudos relacionados à recuperação de áreas degradadas, tais como a implementação de agricultura, a pecuária, áreas urbanizadas, atividades minerais, reflorestamento, entre outros (SILVA e ROSA, 2011). As variáveis socioeconômicas também devem ser levadas em consideração no mapeamento, tendo em vista que há relação entre áreas que experimentam um crescimento populacional acelerado com pressão populacional e manejo agrícola, e a degradação do ambiente analisado (SEABRA e CRUZ, 2013).

De acordo com o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), as emissões de GEE provenientes do setor agropecuário representam 17% do total de emissões mundiais no que diz respeito às mudanças de uso da terra provocado pelo setor. No Brasil, este setor é responsável por 55% do total das emissões do país, sendo provenientes, basicamente, de desmatamento. (TURETTA, 2011, p. 8).

A degradação dos recursos hídricos, bem como a redução da reposição hídrica em bacias naturais, são dois dos maiores problemas causados pelo errôneo manejo e uso do solo. Desse modo, torna-se primordial um planejamento ambiental que considere o equilíbrio sustentável, de modo que os recursos hídricos presentes na região não sejam ainda mais danificados por ações antrópicas (ALVES, 2019).

Tucci e Clarke (1997) reforçam que o comportamento hidrológico e a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas são afetados diretamente pela substituição da vegetação natural por coberturas e usos antrópicos. Áreas com maior vegetação são mais protegidas e estáveis, podendo reter água no solo por muito tempo (ALMEIDA *et al.*, 2018; MOURA, 2021). Várias condições como o clima, a cobertura, o solo, a geologia da região, dentre outros, foram evidenciadas para se analisar a estimativa dos impactos sobre o escoamento, produção de sedimentos e qualidade da água de uma bacia hidrográfica (TUCCI e CLARKE, 1997).

A cobertura vegetal influencia na capacidade de infiltração da água no solo e conseqüentemente de condutividade hidráulica, fundamental para a recarga de aquíferos, lagos e rios. No Centro-Oeste, houve grandes mudanças na cobertura da terra causadas predominantemente pela agricultura, áreas de pastagens e urbanização expressiva. A vegetação nativa vem perdendo espaço para as atividades antrópicas e a retirada da vegetação altera o ciclo hidrológico e as características dos solos, prejudicando mananciais hídricos (PINHEIRO, TEIXEIRA e KAUFMANN, 2009; BATISTA e SOUSA, 2015).

Segundo Souza (2013, p.7), no caso do bioma cerrado, as mudanças na cobertura e uso da terra ocorreram de forma acelerada nas últimas décadas, e cerca de “50% das superfícies antes ocupadas por fisionomias savânicas cederam espaço às atividades agropastoris. Da mesma forma, também se registra expressivo crescimento urbano, com destaque para a Região Metropolitana de Goiânia, Distrito Federal e seu entorno”. Desse modo, a análise do impacto do uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrológicas é essencial na preservação e uso dos recursos hídricos (TUCCI e CLARKE, 1997).

O termo “uso do solo ou da terra” pode ser conceituado como um espaço utilizado pelos homens ou como o monitoramento de uma determinada área. (LEITE e ROSA, 2012;

SEABRA *et al.*, 2014). Já a distribuição de elementos biofísicos, em uma determinada área, é chamada de cobertura da terra. A cobertura está diretamente relacionada aos tipos de cobertura natural ou artificial de uma superfície, que é o que as imagens de sensoriamento remoto registram (TUCCI e CLARKE, 1997; LEITE e ROSA, 2012).

O mapeamento de cobertura e uso da terra é oriundo da análise e interpretação de imagens ou fotografias provenientes de sensoriamento remoto. (SEABRA e CRUZ, 2013). Essas imagens podem ser processadas e classificadas usando softwares de geoprocessamento, trabalho predominantemente visual, que permite caracterizar diferentes usos e coberturas da terra em bacias hidrográficas (MOURA, 2021).

Tais imagens podem ser sintetizadas por meio de mapas que identificam os padrões típicos da atividade humana na superfície da Terra, identificando a distribuição espacial, a tipologia e seus padrões característicos (LEITE e ROSA, 2012). Os mapas detalhados do uso e cobertura da terra fornecem um indicador completo da área analisada e eles são utilizados para medir padrões quantitativos na paisagem, como clima, terreno e água (SILVA e ROSA, 2011; SEABRA *et al.*, 2014).

A principal técnica de processamento de imagens oriundas do sensoriamento remoto e identificação das categorias de cobertura e uso do solo para produção de um mapa é chamada de Classificação Digital (SOUZA, 2013; SEABRA e CRUZ, 2013) Ela pode ser conceituada como um processo de obtenção de informações em imagens almejando padrões e objetos homogêneos; dessa forma, os analistas pré-configuram as categorias em que uma imagem pode se encaixar e usam classificadores que exigem conhecimento das classes de destino para classificar a imagem (ALVES 2019). Os métodos de classificação de imagens separam seções da terra com significados espectrais semelhantes, essas seções classificam os tópicos, recursos e objetos dispostos sobre a superfície terrestre. (SEABRA e CRUZ, 2013).

Tucci e Clarke (1997) se basearam no estudo de McCulloch e Robinson para abordarem o impacto de mudanças físicas nas bacias hidrográficas. Segundo os autores, há estudos experimentais baseados em uma única bacia hidrográfica, considerando a climatologia e estabelecendo a relação entre as condições prévias e as mudanças ocorridas ao longo do tempo naquela área (TUCCI e CLARKE, 1997).

Os autores ainda reforçam acerca das alterações na precipitação em virtude do desmatamento na bacia, que influenciam no escoamento e alteram o ciclo hidrológico e acarretam em diversos efeitos como:

[...] maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas; o volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal pela retirada da vegetação das árvores; menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 m, enquanto a vegetação rasteira como pasto age sobre profundidades de cerca de 20 cm. (TUCCI e CLARKE, 1997, p 142).

Para gerar um mapa temático de uso e cobertura da terra, em um primeiro momento utiliza-se da interpretação visual a partir do cruzamento de dados obtidos das tecnologias de sensoriamento remoto. Como bem reforçam Leite e Rosa (2012), as imagens oriundas do sensoriamento remoto não registram a atividade antrópica diretamente, cabe à pessoa que visualiza a imagem interpretar as informações com base em padrões de formas, texturas, refletâncias e estruturas presentes na área.

Na geração do mapa temático de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu – MG, Soares *et al.* (2011) realizaram uma interpretação visual baseada em nove classes, sendo elas: pastagem, floresta natural, floresta plantada, agricultura, cafezal, área urbana, benfeitorias, hidrografia e vias de acesso.

Ao elaborarem o mapeamento da terra e cobertura vegetal natural nas bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro, Silva e Rosa (2011) classificaram as regiões fitoecológicas em: floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual, savana, área de formações pioneiras, área de tensão ecológica, áreas antrópicas e água.

Por outro lado, ao analisarem a bacia hidrográfica do Rio Formiga – Tocantins, Leite e Rosa (2012) categorizaram os elementos em duas classes temáticas: áreas antrópicas agrícolas e áreas de vegetação natural subdivididas em subclasse e níveis I, II, e III, conforme modelo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Ainda a respeito do tema, para a realização da análise da bacia hidrográfica do Rio do Coco, Almeida *et al.* (2018) levaram em consideração 11 classes para a classificação: agricultura, área urbana, cerrado sentido restrito ralo, cerrado sentido restrito denso, corpos d'água, formações florestais, floresta plantada, estradas, mosaicos de ocupação, pastagem e praias.

Os exemplos acima demonstram que a depender da bacia hidrográfica objeto de estudo, ou do enfoque do estudo ora pretendido, as classificações presentes nos mapas de uso e cobertura da terra variam em alguns elementos. No entanto, todos objetivam avaliar a disponibilidade hídrica das bacias e mapear um meio de diminuir a pressão antrópica nesses ambientes.

2.6. Parâmetros morfométricos para análise de bacias hidrográficas

Ao analisar os padrões da hidrografia, pode-se entender como a água se comporta em determinada área e como a forma do relevo ao redor afeta esse comportamento (MOURA, 2021). Por conseguinte, estudos hidrológicos concentram-se nas redes de drenagem fluvial, pois o movimento e distribuição da água e suas propriedades são utilizadas para tentar compreender os processos morfológicos nas paisagens do planeta (MACHADO *et al.*, 2011).

A análise morfométrica examina o espaço e os elementos de determinada área, como solo, clima, vegetação, forma, relevo, geologia, rede de drenagem, geomorfologia, dentre outros (TONELLO *et al.*, 2006). Tais atributos, correlacionados entre si, geram os parâmetros morfométricos (CHEREM, 2008). Essa análise permite vislumbrar como diferentes elementos podem afetar uns aos outros dentro do espaço, usando dados topográficos oriundos via geoprocessamento. (SANTOS *et al.*, 2012; SANTIAGO *et al.*, 2015).

Os parâmetros correspondem às correlações existentes entre esses atributos e o relevo de uma bacia, sendo agrupados em lineares, zonais e hipsométricos. Os lineares abordam unicamente os atributos da rede de drenagem; os zonais tratam dos atributos da rede de drenagem e das áreas não hidrográficas do relevo (encostas e topos); já os hipsométricos tratam do relevo, além de correlacioná-lo à rede de drenagem e à bacia hidrográfica. (CHEREM, 2008, p. 23).

O estudo de análise morfométrica de bacias hidrográficas, por exemplo, visa descrever os aspectos geométricos e composicionais dessas bacias, estabelecendo a composição entre elementos índices relacionados à forma e ao arranjo estrutural dessa área (CHEREM, 2008). As características físicas e bióticas influenciam o ciclo hidrológico por meio da infiltração, da quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficiais, dentre outros (TONELLO *et al.*, 2006).

Estudar as propriedades morfológicas de uma bacia fornece uma visão significativa sobre como a água se move através dela. Isso ocorre porque analisar a terra em termos de topografia e hidrologia fornece uma abordagem quantitativa para a compreensão do sistema. Medidas de parâmetros morfométricos ajudam a determinar a capacidade de armazenamento de água no solo, ou escoamento superficial. Consequentemente, isso ajuda os pesquisadores a compreenderem a dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas. (CHEREM, 2008; NUNES, RIBEIRO e FIORI, 2016; MOURA *et al.*, 2018; ALVES, 2019; MOURA, 2021).

Como bem preceitua Martini (2012, p. 65), “A delimitação e caracterização física de bacias hidrográficas constitui etapa básica nos estudos relacionados à dinâmica da água superficial e subterrânea”. Nesse sentido, o autor ressalta que bacias hidrográficas rurais são primordiais na gestão de água. A agricultura é a maior usuária direta da água dessas bacias e os impactos negativos no sistema hídrico podem incluir a produção de resíduos e contaminantes em rios e córregos, fertilizantes e pesticidas no solo e nas fontes de água. (MARTINI, 2012; MENEZES *et al.*, 2014).

Para realizar uma gestão adequada dos recursos hídricos, é necessário o conhecimento das características físicas das bacias hidrográficas e identificar os parâmetros daquela determinada área (MENEZES *et al.*, 2014). Os estudos morfométricos de uma bacia hidrográfica são definidos como a análise quantitativa da relação entre a topografia de uma bacia hidrográfica e sua dinâmica hidrológica (SANTOS *et al.*, 2012).

Essa análise é necessária para compreender o comportamento hidrológico, uma vez que os parâmetros morfológicos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (SANTOS *et al.*, 2012). O uso da terra e a caracterização morfométrica de uma bacia podem ajudar a mostrar a probabilidade de vulnerabilidade a grandes eventos, como enchentes e transbordamentos (MENEZES *et al.*, 2014).

Por meio de um conjunto de parâmetros morfométricos, a análise morfométrica pode ser conceituada como a dinâmica geral de uma bacia, incluindo suas características geográficas (ALMEIDA e BAYER, 2016). Essa análise possibilita a identificação de características geomorfológicas associadas ao relevo, à rede de drenagem, e à identificação de suas características gerais. Tais medidas podem servir como um referencial para o planejamento ambiental e para a compreensão da dinâmica ambiental local (SOARES e SOUZA 2012; SOARES *et al.*, 2016).

Antonio Christofolletti foi um dos principais expoentes no levantamento dos parâmetros morfométricos e conceituou a análise morfométrica como um conjunto de procedimentos que “caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica” (CHRISTOFOLLETTI, 1980). Embasado no trabalho de Robert E. Horton (1945), que procurou estabelecer leis do desenvolvimento das bacias, o autor elaborou um trabalho que buscou integrar diversos parâmetros morfométricos de variados aspectos de bacias hidrográficas (TONELLO *et al.*, 2006; MACHADO *et al.*, 2011).

Christofoletti (1980) desenvolveu índices e parâmetros para o estudo de bacias hidrográficas sendo eles: a hierarquia fluvial da rede; a análise areal que abrange vários índices que utilizam medições planimétricas; a análise linear da rede de drenagem, que inclui as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento e a análise hipsométrica, que trata da distribuição altimétrica da bacia (SOARES *et al.*, 2016).

A hierarquia fluvial nada mais é que o processo de se estabelecer a classificação de um determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica da qual ele faz parte. Tal processo é realizado para tornar mais objetivos os estudos morfométricos acerca das bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento e sua unidade de medida é linear em km (SOARES e SOUZA, 2012). Dentre essas linhas de escoamento é possível citar a relação de bifurcação; relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação; comprimento do rio principal; extensão do percurso superficial; relação do equivalente vetorial e gradiente dos canais. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os parâmetros de zoneamento quantificam as propriedades de uma bacia hidrográfica correlacionando-a com valores ideais e uma rede de drenagem na mesma área de estudo. No que diz respeito à análise real das bacias hidrográficas, vários índices estão abrangidos, dentre os quais é possível citar: a área da bacia (A), o comprimento da bacia (L), o índice de circularidade, a relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, a forma da bacia, a densidade de rios, a densidade de drenagem, a densidade de segmentos da bacia (F), a relação entre as áreas da bacia (Ra) e o coeficiente de manutenção (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A análise hipsométrica objetiva estudar as correlações em determinada unidade horizontal de espaço no que diz respeito a sua distribuição em faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre. A curva hipsométrica restringe sua área de estudo para determinada bacia hidrográfica; o coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico servem para calcular a altura média das bacias, a amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm), relações de relevo (Rr) e índice de rugosidade (Ir) (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Ainda de acordo com o autor, quanto à análise topológica de redes fluviais, ela está relacionada com a maneira como vários canais se encontram conectados sem levar em conta medida de comprimento, área ou orientação. Para os estudos topológicos, a rede de canais é

compreendida como uma trajetória entre dois pontos aleatórios com ligamentos, e conecta-se com outros ou terminam em uma nascente. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Todos os parâmetros acima descritos foram utilizados por diversos pesquisadores para analisar os parâmetros morfométricos de determinadas bacias hidrográficas como objeto de estudo. Alguns adaptaram o método de classificação de acordo com a bacia hidrológica e a região estudada.

Tonello *et al.*, (2006) utilizaram os parâmetros de densidade de drenagem, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e forma da bacia, dentre outros, para a morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira Das Pombas, Guanhões – MG. Ao realizar estudos da morfometria da bacia do Alto do Rio das Velhas – MG, Cherem (2008, p.23) utilizou os seguintes atributos: “área da bacia; perímetro da bacia; comprimento da bacia; comprimento dos canais fluviais; comprimento vetorial dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade da bacia; declividade dos canais; e altimetria”.

Guadagnin, Trentin e Alves (2015) classificaram os tipos de vertentes e zonaram 12 unidades definidas de relevo utilizando os parâmetros de altitude, declividade, perfil e plano de curvatura, para analisarem a morfometria da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-oeste do RS.

Nunes, Ribeiro e Fiori (2016, p. 5) determinaram índices que envolvessem “a densidade de drenagem, densidade hidrográfica, comprimento do rio principal, coeficiente de compacidade, fator de forma da bacia, sinuosidade, extensão do percurso superficial, relação de relevo, gradiente do canal principal e a hierarquia da rede de drenagem” para análise dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná.

Por outro lado, ao realizarem o mapeamento na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu - MG., Soares *et al.* (2016) utilizaram nove parâmetros de análise morfométricas em bacias hidrológicas, que estivessem relacionados à degradação do ambiente e à interferência disso na qualidade da água da bacia. Dessa forma, os parâmetros analisados foram: “densidade hidrográfica, fator de forma, relação de bifurcação, densidade de drenagem, índice de circularidade, razão de alongamento, razão de textura, coeficiente de compacidade e forma da bacia” (SOARES, *et al.*, 2016, p. 84).

Por conseguinte, como bem ressalta Moura (2021), dentre os vários índices morfométricos que a literatura sugere, é primordial selecionar aqueles que melhor se adequam ao objetivo proposto pelo trabalho. As ferramentas geotecnológicas demonstram que é possível executar um estudo de qualidade, rápido e prático. A utilização delas tem se mostrado um meio eficiente e acessível por se tratar de um software livre, técnicas como

produtos de sensoriamento remoto e modelos matemáticos são utilizadas com frequência na análise morfométrica de bacias hidrográficas (MOURA *et al.*, 2018; ALVES, 2019).

A partir do levantamento delineado de informações, é cabível avaliar o conflito funcional entre a produção de água e a expansão urbana, quando pode ser vista como nocivo à integridade do manancial. Nesse contexto, os mapas de cobertura e uso da terra também serão utilizados em conjunto a dados secundários, na análise da influência da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite – BHRJL e no uso e cobertura da terra, para determinar uma análise do comportamento hidrológico dessa bacia, assim como a sua capacidade de recarga hídrica, vital para o abastecimento da população ao redor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

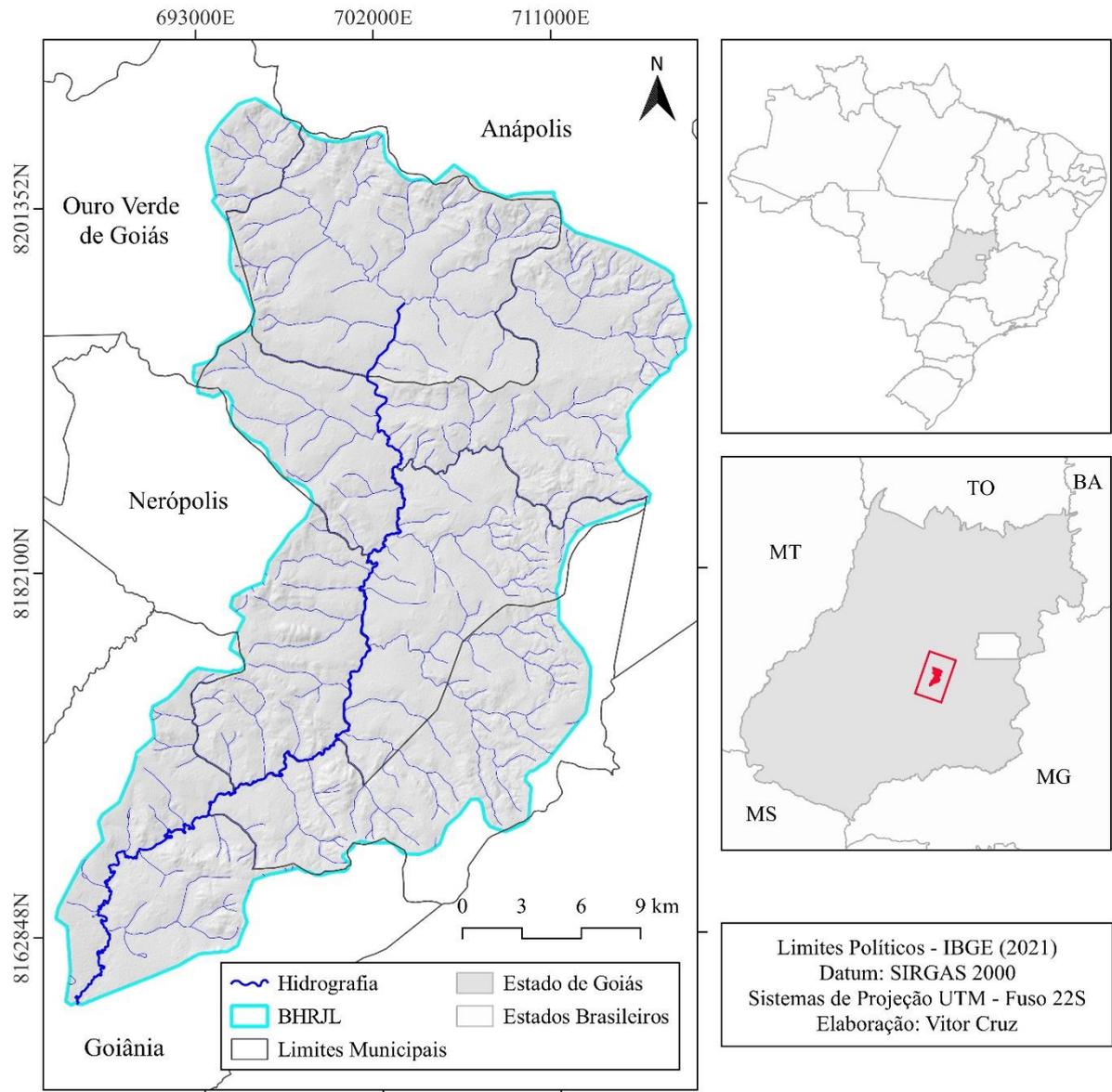
3.1. Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (BHRJL) localiza-se na região central do estado de Goiás de acordo com Instituto Mauro Borges, abrangendo os municípios de Goiânia, Anápolis, Nerópolis, Ouro Verde de Goiás, Goianópolis, Campo Limpo e Terezópolis de Goiás, ocupando uma área aproximada de 759,8 km². O Ribeirão João Leite é formado pelos córregos Pedreira e Jurubatuba, compondo a Bacia hidrográfica Rio Paraná, percorrendo cerca de 85 km e deságua no Rio Meia Ponte, sendo um dos responsáveis por parte do abastecimento de água da capital de Goiás (SANTOS *et al.*, 2010).

Conforme a SANEAGO (2012), a Barragem do Ribeirão João Leite está situada junto ao morro do Bálsamo e Lindeira no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco – PEAMP, à 6,5 km de Goiânia. O reservatório da BHRJL foi construído em 2005, com intuito de abastecer as cidades de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Aparecida de Goiânia até o ano de 2040. A região contém cerca de dois milhões de habitantes. O reservatório possui uma estrutura capaz de armazenar 13° bilhões de litros de água (PÁDUA E SOUZA, 2014; SECOM-UFG, 2014).

A BHRJL constitui uma Área de Proteção Ambiental (APA) estabelecida pelo Decreto Nº 5.704 de 27 de dezembro de 2002, fazendo parte da unidade de conservação permanente do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco - PEAMP de 4.123 ha. (SEMARH, 2009). A figura 1 apresenta a localização da BHRJL.

Figura 1 - Localização da Área de Estudo



Fonte: org. do autor.

3.2. Características geoambientais da área em estudo

A BHRJL, por estar localizada na porção central do Centro-Oeste brasileiro, possui o clima tropical semiúmido com um período chuvoso e outro de estiagem (MACHADO & SANTOS, 2000). O Bioma Cerrado é predominante com suas diversas fitofisionomias no qual a BHRJL está inserida na região considerada como “Mato Grosso Goiano”, principalmente onde está inserido seu reservatório, com a presença de floresta estacional decidual e semidecidual, ocorrendo também cerradão e de galeria próximas aos cursos d’água (SANTOS *et al.*, 2010).

A precipitação média anual da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, é de 1593 mm identificado nos anos de 1979 a 2005, foi possível ser utilizada por meio da análise de regime pluvial a partir de informações de precipitação existentes em estações localizadas no interior e nos arredores da bacia (PEREIRA *et al*, 2006) e corroborados por dados do ANA (2019):

“No período de 1979 a 2005 as vazões médias na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite apresentaram valor de longo termo próximo a 10,93 m³/s. Durante este período, a precipitação média anual apresentou tendência de redução, da ordem de 6,39 mm ano⁻¹, com significância de 53,39%. Refletindo a tendência de declínio apresentada pelo regime pluvial, o deflúvio médio anual indicou comportamento semelhante, com magnitude próxima a 6,78 mm ano⁻¹, e significância de 96,65%; (SANTOS *et al.*, 2010).

Um estudo feito por Nascimento et al (2019), identificou a origem de eventos extremos climáticos da cidade de Goiânia – GO, para isso foi preciso coletar dados de precipitação dos anos de 1961 a 2018, obtendo um média de precipitação anual de 1596 mm, sendo um dado importante para BHRJL para descrição de precipitação, já que a cidade de Goiânia está localizada na jusante da bacia.

Considerando a localização da barragem na região central do cerrado goiano, o clima sazonal desse bioma deve ser levado em consideração, tendo em vista que em um período do ano há abundância na disponibilidade hídrica sendo entre outubro e abril (primavera e verão) e no outro período há escassez sendo entre maio e setembro (outono e inverno), especialmente nos últimos meses da estação seca. (MOURA, 2021). Esse fenômeno é denominado ciclo hidrológico e está diretamente relacionado à disponibilidade hídrica da bacia.

Por conseguinte, a partir da caracterização do clima tropical existente na região, com duas estações definidas e, predominantemente, opostas. Luiz (2012), Nascimento (2016) e Neves (2018), indicam que o clima da região é definido principalmente pela atuação dos sistemas atmosféricos de origem equatorial e tropical, com incidência de sistemas de origem polar, assim determinando dois períodos durante o ano: um chuvoso e outro seco. O período de maior precipitação é relacionado pela atuação da massa equatorial continental (mEc) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Entretanto, para o período seco é originado pelo predomínio da massa tropical continental (mTa), contando com incursões da massa polar (mP), repercutindo em quedas de temperaturas.

Os solos da BHRJL são relativamente profundos e aplanados, característica dos latossolos, com sua declividade predominante variando de suave ondulado (3-8%) a ondulado (8-20%) conforme a classificação de drenagens da Embrapa (1979). As classes de solo da

referida bacia hidrográfica podem ser sequenciadas por Argissolo Vermelho; o Argissolo Vermelho-Amarelo; o Cambissolo Háplico; o Latossolo Vermelho; o Latossolo vermelho distroférico; o Latossolo Vermelho-Amarelo; Plintossolo Pétrico; Plintossolo háplico; Neossolo flúvico (SEMARH, 2007). Há uma grande variedade de solos na bacia BHRJL. O Latossolo Vermelho Distrófico, um solo argiloso com textura geralmente plana a levemente côncava, apresentava gradientes e declives suaves (OLIVEIRA, 1996).

Os Latossolos Vermelhos cobrem as partes mais altas da bacia. Eles também cobrem mais áreas no norte do que outras partes do terreno. Também ao norte está o Argissolo Vermelho-Amarelo, que apresenta alto grau de uniformidade com composição mineral e boa drenagem. Os latossolos vermelhos distróficos são solos de baixa fertilidade que possuem uma textura argilosa (ARANTES, 2017).

O Latossolo Vermelho abrange áreas de terreno mais movimentado e declividades mais elevadas; também é intemperizado, de baixa fertilidade natural e resistente à erosão superficial. Já os Argissolos Vermelho-Amarelos cobrem toda a bacia hidrográfica. Esses solos têm alta fertilidade devido à presença de Argissolos Eutróficos em sua faixa nativa. (MARQUES, 2017).

Por conseguinte, tais variabilidades de solo permitem uma fertilidade natural no solo da região, fator de extrema importância para atividades antrópicas como pastagem. Oliveira (1996) reforça ainda que a presença de cascalhos na região pode dificultar a atividade agrícola.

3.3.Procedimentos metodológicos

Para a realização desse trabalho inicialmente foi feita a revisão bibliográfica, no que diz respeito à caracterização da área a ser estudada; a contextualização da bacia hidrográfica como recorte espacial de estudos ambientais; aos métodos e técnicas de análise ambiental por geoprocessamento, especialmente no tocante ao mapeamento de uso e cobertura da terra, à avaliação da capacidade de infiltração e ao escoamento superficial a partir da avaliação sob os parâmetros morfométricos em foco da avaliação da capacidade de armazenamento de água em bacias hidrográficas. Após a revisão bibliográfica, foi realizada a captação dos dados para a cobertura e uso da terra e aplicação dos parâmetros morfométricos conforme é descrito nos tópicos a seguir.

3.3.1. Cobertura e uso da terra

Para identificar a cobertura e uso da terra foi realizada a aquisição de mapeamento disponibilizado pelo projeto MapBiomias Souza et al (2020). Os anos utilizados foram de 1985, 2000, 2010 e 2020. Os anos foram escolhidas conforme a disponibilidade inicial (1985) do projeto Mapbiomas até o seu último dado (2020), disponível durante a realização dessa atividade da pesquisa. A escolha dos anos por décadas, é para uma melhor interpretação das alterações da cobertura e uso da terra da BHRJL, e início da implementação do reservatório até o fim de sua construção (2004 a 2009).

Os arquivos matriciais foram recortados utilizando o divisor topográfico da bacia hidrográfica. Em seguida, realizou-se a identificação das classes existentes no interior da bacia, empregando-se a orientação de legenda para cada classe do mapeamento de cobertura e uso da terra do Mapbiomas, que pode ser encontrado na plataforma: https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda?cama_set_language=pt-BR). Após a identificação das classes, foi realizada o sistema de vetorização automática, para calcular as áreas e percentual das classes de cada ano (1985, 2000, 2010 e 2020). Resultando assim, os mapas de cobertura e uso da terra.

Como o trabalho está visando avaliar influência que cada classe possui para a disponibilidade hídrica superficial da bacia, foi utilizada uma classificação de uso e cobertura da terra conforme a potencialidade das categorias para a infiltração da água no solo, proposto por Moura (2021) que aplicou em duas bacias hidrográficas da cidade de Iporá-GO. Assim a categoria considerada com maior capacidade de infiltração foi a Cobertura Vegetal classificada como elevada para infiltração, seguida como classificação moderada para a categoria Pastagem. Já a categoria de Agricultura é considerada baixa para infiltração da água no solo e para a categoria de Infraestrutura Urbana foi considerada muito baixa com o menor índice de potencialidade a infiltração da água no solo (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de Cobertura e uso da terra com a potencialidade para infiltração da água no solo.

Categorias de uso e cobertura da terra	Potencialidade na infiltração da água
Formação Florestal	Elevada
Formação Savânica e floresta plantada	Boa
Formação Campestre e Pastagem	Moderada
Agricultura	baixa
Infraestrutura Urbana e Outras áreas não vegetadas	Muito baixa

Fonte: baseado em Moura (2021), Stein *et al.* (1987 apud BRITO, 1998), Tucci (1993), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), Helfer *et al.*, (2003), Martins *et al.* (2010), Barbosa *et al.* (2015), Brito (2019).

Através da geração dos mapas de cobertura e uso da terra foi possível analisar as classes existentes na BHRJL. Posteriormente, foi feita a marcação das classes no interior da bacia em coordenadas geográficas para seguir pelo receptor de GPS GARMIN *eTrex Legend® HCx* através da visita técnica. Em decorrência de a bacia estar situada em região de muita pastagem e agricultura, locais os quais são de propriedade privada, não foi possível identificar algumas classes conforme os mapas de cobertura e uso da terra; devido a isso, algumas classes estão sem registro fotográfico.

3.3.2. Parâmetros Morfométricos

Para obter os dados dos parâmetros morfométricos, foram utilizadas cenas de imagens do banco de dados geomorfológicos da Embrapa: Brasil em Relevo, que pode ser encontrado no site: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/>. A partir do Modelo Digital de Elevação – MDE, foi possível extrair variáveis morfométricas, derivado do processamento de imagens do SRTM de 90 m.

Sob o aporte do programa QGIS (*versão estável 3.10*), inicialmente, foi feito ao SRTM o processo chamado Fill Sinks (Wang & Liu, 2006), que é um módulo que utiliza um algoritmo para identificar e preencher depressões superficiais em modelos digitais de elevação. O método foi aprimorado para permitir a criação de modelos hidrológicos de elevação, ou seja, não apenas para preencher a(s) depressão(ões), mas também para preservar uma inclinação descendente ao longo do caminho do fluxo. Se desejado, isso é feito preservando um gradiente de inclinação mínimo (e, portanto, diferença de elevação) entre as células.

O processo de delimitação da bacia se deu de forma manual, utilizando a cena do Modelo Digital de Elevação – MDE, ficando a cargo do operador a escolha do ponto definido como o exutório da bacia, que corresponde ao ponto de maior acúmulo de fluxo de água de toda a área da BHRJL, resultando o mapa de altimetria com o SRTM hidrológicamente corrigido.

Após ser gerada a altimetria, foi obtida a declividade, sendo a mesma reclassificada por 5 classes de declividade conforme a orientação proposta da Embrapa (1979). Posteriormente, foi feita a vetorização para poder calcular as áreas de declividade definidas, e

finalizando foi feito o Polygon dissolve (by attribute) para generalizar as feições de declividade, resultando no mapa de declividade. Utilizando o mesmo SRTM que foi delimitado foi aplicado o *Channel network and drainage basins*, para obter as ordens dos canais de drenagem. Assim foram gerados os mapas de altimetria, declividade e hierarquia fluvial, contendo neles os dados das classificações das drenagens da BHRJL para a aplicação dos parâmetros morfométricos.

Para aplicação dos parâmetros, foi feito o levantamento de variáveis secundárias do MDE, sendo eles: altimetria (A), declividade (D), área (A), perímetro (P), ordem dos canais (O), ponto mais alto (P1b), ponto mais baixo (P2b), comprimento do canal principal (Cccp), altitude máxima do canal principal (P1), altitude mínima do canal principal (P2), número total de canais fluviais (N), número de canais fluviais de cada ordem (Nu), frequência dos canais de cada ordem (Nu), Comprimento total dos canais fluviais (Cc), Distância vetorial do canal principal (Ev).

Os parâmetros morfométricos selecionados foram os que melhor descreveram a infiltração e escoamento superficial da água das chuvas a serem utilizados no trabalho, haja vista o objetivo de compreender o comportamento hidrológico de escoamento e infiltração da BHRJL. Os parâmetros foram coletados a partir do processamento digital das variáveis secundárias, através das equações matemáticas, que estão apresentadas no quadro 1 a seguir:

Quadro 2 - Parâmetros Morfométricos, equações e fontes.

Índice	Descrição	Equação	Fonte
Amplitude Altimétrica Máxima	Diferença entre a cota máxima e a mínima	$Hm = P1 - P2$ Hm = amplitude altimétrica máxima, em m, P1 = a altitude máxima do divisor topográfico, em P2 = a altitude da foz, em m.	Strahle r (1952)
Declividade do canal principal	É a declividade média entre pontos extremos do canal principal, que é obtida através da diferença entre as cotas máximas na cabeceira e mínima, na foz.	$S1 = 100 * Hm/Lp$ S1 é a declividade do canal principal, em %; Hm, a amplitude altimétrica máxima, ou seja, a variação da cota entre os dois pontos extremos em m; e Lp, o comprimento em nível do curso de água principal, medido da foz à nascente principal, em m.	Villela e Mattos (1975)

Densidade hidrográfica	É a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia, também conhecida como frequência de drenagem.	$D_h = N_{cpo} / A$ N _{cpo} , o número dos canais de primeira ordem; e A, a área da bacia, em km ² .	Horton (1945)
Densidade de Drenagem	Reflete a distância espacial entre os canais de uma determinada área através da análise da relação entre o comprimento total dos canais de uma bacia com sua área	$D_d = L_t / A$ D _d é a densidade de drenagem, em km/km ² ; L _t , o comprimento total dos canais, em km; e A, a área da bacia, em km ² .	Horton (1945)
Índice de Circularidade	É a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.	$L_c = 12,57 A / P$ A, a área da bacia, em km ² ; e P, o perímetro da bacia, em km.	Muller (1953)
Índice de Rugosidade	Corresponde ao produto entre a amplitude altimétrica máxima e a densidade de drenagem da bacia.	$I_r = H_m * D_d$ I _r é o índice de rugosidade, adimensional; H _m , a amplitude altimétrica máxima, em m; e D _d , a densidade de drenagem, em km.km ⁻² .	Melton (1957)
Sinuosidade do canal principal	Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal.	$I_s = l_p / E_v$ I _s é o índice de sinuosidade, em km.km ⁻¹ ; L _p , o comprimento do curso hídrico principal, em km; e E _v , o equivalente vetorial médio em linha reta, em km.	Schumm (1963)
Coefficiente de compacidade	Corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia hidrográfica.	$K_c = 0,282 * (P / \sqrt{A})$ Onde: P, o perímetro da bacia, em km; e A, a área em km ² .	Villela e Mattos (1975)
Fator de Forma	Relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o	$K_f = A / L_a^2$ Onde: A, a área da bacia, em km ² ; e L _a , o comprimento axial da bacia, em km.	Villela e Mattos (1975)

Coeficiente de manutenção	Indica a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.	$Cm = (1/Dd) * 1000$ Cm é o coeficiente de manutenção, em m ² .m ⁻¹ ; Dd, a densidade de drenagem, em km/km ² .	Schumm m (1956)
Gradiente do canal principal	É a relação entre sua amplitude altimétrica e o seu comprimento.	$Gcp = Acp / Ccp$	Santos (2006)
Razão de bifurcação	É a relação do número total de segmentos de certa ordem e o número total de segmentos (canais, rios) de ordem imediatamente superior.	$Rb = Nu / Nu + 1$ Rb: relação de bifurcação, Nu: número de segmentos de determinada ordem e Nu+1: número de segmentos da ordem imediatamente superior	Horton (1945)

Fonte: baseado em Villela e Mattos (1975), Schumm (1956), Santos (2006) e Horton (1945)

As análises de mapeamento, cobertura e uso da terra e caracterização morfométrica, foram gerados e tratados pelo Software livre QGIS (*versão estável 3.10*).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Cobertura e uso da terra

A análise do mapeamento da cobertura e uso da terra para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020 foram adquiridos a partir de onze respectivas classes de cobertura presentes na área em estudo: agricultura, Cobertura vegetal, hidrografia, infraestrutura urbana e pastagem. Nesses 35 anos estudados, houve um intenso processo de desmatamento e expansão urbana, principalmente nos municípios de Anápolis e Goiânia. É percebido que as pastagens já eram predominantes desde o primeiro ano estudado, e se manteve praticamente estável durante os anos analisados, apenas no último ano que houve uma redução em sua cobertura.

A bacia, por estar situada em região de crescimento urbano, principalmente das cidades de Goiânia e Anápolis, sofre diversas alterações em sua cobertura, havendo uma dinâmica aos anos estudados. As classes de cobertura e uso da terra e seus níveis de contribuição para infiltração da água no solo, são detalhadas em tópicos para cada uma em seguida.

4.1.1. Formação Florestal

No interior da bacia, as áreas de formação florestal representam uma área de 22,86% da bacia para o último ano estudado (2020). Visualizando os mapas de uso da terra, percebe-se o quanto a bacia vem sofrendo um processo de antropização; com isso, há uma grande perda da cobertura vegetal pelo processo de desmatamento, restando pequenos fragmentos de vegetação nativa. Conforme Bonnet (2005), os 20% de reservas legais e 10% em Áreas de Preservação Permanente não são respeitados, com exceção da área do Parque Ecológico de Preservação Ambiental e Florestal Altamiro de Moura Pacheco onde há predominância das formações Florestais. A figura 2 ilustra a formação florestal de cerradão próximo ao reservatório da BHRJL.

Figura 2 - Formação Florestal de cerradão na BHRJL.



Fonte: próprio autor

As formações florestais apresentam em locais onde os solos são bastantes desenvolvidos, com uma abundante presença de material orgânica como a serapilheira. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a matéria como serapilheira é importante por promover estabilidade aos agregados, ao tamanho dos poros e a consistência do solo. Logo, a matéria orgânica influencia na diferença da capacidade de infiltração das classes de uso e cobertura da terra, percebendo que quanto maior a presença de serapilheira mais há aumento de infiltração dá água.

Esse resultado é consistente com outros estudos realizados em diferentes tipos de formações florestais no Brasil, que mostram que a infiltração de água no solo é maior em áreas cobertas por vegetação nativa do que em áreas desmatadas ou alteradas pelo uso

humano. Conforme realizado um estudo na Reserva Ecológica do IBGE – Distrito Federal, comparou a capacidade de infiltração do solo em duas fitofisionomias do bioma Cerrado: Campo sujo e Cerrado típico. O presente estudou evidenciou que a capacidade de infiltração foi maior no cerrado típico (1.030 mm/h) do que no campo sujo (630 mm/h), havendo essa diferença à maior presença de matéria orgânica e à menor compactação do solo no cerrado típico (BRITO, 2019).

Dessa forma, a classe de Formação Florestal foi considerada com elevada contribuição para a infiltração de água no solo. Conforme os mapas de cobertura essa formação foi identificada com maior incidência em torno do reservatório e pela presença do Parque Estadual de Altamira de Moura Pacheco.

4.1.2. Formação Savânica

A formação savânica ocupa 1,34% da BHRJL. De modo geral, a formação savânica pode ter efeitos positivos ou negativos na infiltração de água no solo, dependendo das condições do solo e do relevo em que ocorre. Em geral, a formação de savana aumenta a cobertura vegetal do solo, reduz a evaporação e o escoamento superficial e aumenta a infiltração da água no solo. Além disso, as raízes das plantas do cerrado melhoram a estrutura e a porosidade do solo, facilitando a entrada e movimentação da água no perfil do solo (SILVA et al., 2018). No entanto, em algumas situações, pode afetar negativamente a infiltração de água no solo. Por exemplo, a formação de savânica pode contribuir ligeiramente para a infiltração de água no solo se ocorrer em áreas de alto relevo e terreno plano. Isso porque a declividade e a pedregosidade do terreno dificultam a retenção da água na superfície, favorecendo o escoamento superficial e erosão (BRITO et al., 2019). Através do trabalho feito por Brito (2019), que fez uma avaliação de potencialidade de infiltração da formação savânica e campestre, ele detectou que a formação savânica possui uma melhor capacidade de infiltração do que no campestre.

Pela análise dos mapas de cobertura e uso da terra, a classe de formação savânica foi identificada em áreas do limite municipal de Anápolis, onde a localidade tem algumas fazendas de propriedade privada e, por isso, não foi possível registrar em fotografia essa formação pela visita técnica.

A formação savânica mesmo com pouca incidência na BHRJL foi classificada com boa contribuição para a infiltração da água conforme os trabalhos citados e por estar presente na cabeceira da BHRJL

4.1.3. Formação Campestre

A formação campestre tem 0,12% de incidência em 2020. De modo geral, esse tipo de formação se encontra em locais com elevada cota altimétrica como topos de morros. No entanto, em algumas situações, a formação campestre pode ter uma influência sobre a infiltração de água no solo. Por exemplo, quando ocorre em áreas de relevo íngreme e solos rasos, a formação campestre pode ter uma média contribuição à infiltração de água no solo, pois a declividade do terreno dificulta a retenção da água na superfície elevando o escoamento superficial (BARROS et al., 2014).

Por ser um tipo de vegetação nativa na região da bacia, possui uma média potencialidade de diminuir o escoamento superficial e facilitar a infiltração; essa diminuição pode ser mais expressiva se a formação estiver mais desenvolvida, facilitando o processo de infiltração de água no solo. Devido a formação campestre ter baixa incidência na BHRJL, não foi possível identificar em registro fotográfico através da visita técnica.

Considerado ser uma forma de vegetação nativa do cerrado e possui baixos índices nos mapas de cobertura e uso da terra, a formação campestre foi classificada como moderada à contribuição para infiltração de água.

4.1.4. Outras formações não florestais

As outras formações não florestais têm incidência de 0,26% na bacia, pelo fato de não estar identificada pelo tipo de cobertura vegetal. Foi classificada como moderada a sua contribuição para infiltração de água por ser uma cobertura vegetal presente na bacia.

4.1.5. Pastagem

Em ambientes de pastagem na bacia BHRJL, apresenta-se o percentual de 36,30% conforme os dados de 2020. Esses locais exercem principalmente atividade da pecuária extensiva para a criação de gado leiteiro e de abate. Esse tipo de atividade demanda uma grande quantidade de terras para o pastejo do animal. Com a presença do gado e a ausência de manejo adequado para o solo, ocorre o problema de compactação na área, redução na absorção de nutrientes e alterações na infiltração e redistribuição de água (GONÇALVES; MORAES, 2012).

Conforme analisado nos mapas de cobertura e uso da terra, a classe de pastagem se encontra por toda área da bacia; sua maior evidência está na parte noroeste e sudeste da área - regiões onde estão localizadas as cidades de Ouro Verde de Goiás e Goianápolis. A figura 3 ilustra uma porção de pastagem voltada para criação de gado em propriedade privada.

Figura 3 - Pastagem na BHRJL em propriedade privada – Terezópolis de Goiás



Fonte: próprio autor.

Para Souza e Alves (2003), realizar o manejo em áreas de pastagem proporciona uma boa cobertura do solo, porém em comparação à cobertura vegetal possui menores valores de infiltração de água no solo. Castro *et al.* (2012) realizaram o estudo comparando os níveis de infiltração e escoamento superficial em áreas de cobertura vegetal com as de pastagem no Cerrado. Logo, os autores tiveram bons resultados de infiltração e baixo escoamento superficial na cobertura vegetal, e para as áreas de pastagem tiveram resultados de médios para níveis de infiltração e escoamento superficial.

Conforme analisado sobre as áreas de pastagem, foram consideradas com contribuição moderada para infiltração da água no solo e recarga hídrica para bacia.

4.1.6. Agricultura

As áreas de agricultura correspondem a 4,30% em relação ao último ano analisado (2020) na BHRJL. Apresentando alguns tipos de agricultura com o uso de pivôs de irrigação, com sua concentração na parte central da bacia, a norte do reservatório, onde fazem parte os municípios de Goianápolis, Terezópolis e Campo Limpo de Goiás. Conforme Sousa (2013), a produção agrícola nos municípios que integram a BHRJL resume sua atividade em agricultura familiar, com pequenas propriedades; majoritariamente, as áreas são utilizadas para plantio de

gêneros de hortifruti. Terezópolis de Goiás e Goianópolis têm atividade com a plantação de soja, onde essa atividade requer um manejo intenso do solo. Segundo Moura (2021), durante os intervalos de colheita, o solo fica exposto no início do período de chuvas, afetando a dinâmica da infiltração da água e favorecendo o escoamento superficial. De acordo com Falcão *et al.* (2020), um dos problemas que acontece de forma habitual no Cerrado, é uso incorreto das terras rurais, deixando o solo exposto e o tornando mais suscetível a processos erosivos, comprometendo a infiltração e a recarga hídrica. Através da visita técnica, foram identificadas algumas culturas de plantio de milho, limão e hortaliças. A figura 4 ilustra o plantio de milho na BHRJL no período de estiagem.

Figura 4 - Porção de plantação de milho na cidade de Terezópolis-GO.



Fonte: Próprio autor.

O uso da terra pós-desmatamento na BHRJL se tornou em áreas destinadas principalmente para agricultura, prevalecendo em grande parte da bacia. Nessa técnica de cultivo, de modo geral, não há implementação de manejo adequado, o que propicia a perda de matéria orgânica do solo e favorece a formação do escoamento superficial, prejudicando as condições de recarga à bacia (FALCÃO *et al.*, 2020). O uso da terra de forma adequada, tratado por profissionais especializados em manejo do solo, pode apresentar taxas de infiltração da água no solo semelhantes à vegetação natural (SONE *et al.*, 2019)

Devido à falta de manejo e práticas que visem a conservação, foi determinado que a classe de agricultura possui baixa contribuição para a infiltração da água e recarga a nível freático.

4.1.7. Silvicultura

Em relação aos diversos usos e cobertura da terra, a silvicultura tem ganhado importância cada vez mais nos últimos anos no Brasil, destacando o crescimento expressivo das áreas plantadas e pelo rápido desenvolvimento, produtividade, vigor e adaptação a diferentes habitats (EMBRAPA, 2018).

Em relação esse tipo de plantação, conforme os estudos de Almeida (2003), o comportamento hídrico das bacias hidrográficas, com a presença desse tipo de plantio, demonstra uma necessidade intensa de água. Através do estudo, comparou-se a dinâmica hídrica nas bacias com cultivo de eucalipto e com pastagem. Dessa forma, foi comprovado o maior consumo de água em relação à pastagem, indicando menor disponibilidade hídrica nas bacias. Em contrapartida, com o maior consumo de água em plantios de silvicultura, sendo associado com a cobertura florestal, a qual intercepta maior porcentagem de precipitação pluvial e melhora a porosidade dos solos aumentando os níveis de infiltração de água no solo, os riscos de enchentes foram minimizados.

As áreas de silvicultura da BHRJL são de 1,04% (2020); essas áreas identificadas pelos os mapas de cobertura estão em região de agricultura e pastagem por fazendas privadas, onde a visita técnica não pode ser realizada. A presença da silvicultura se destaca no mapa, nos limites municipais de Terezópolis, Goinópolis e Anapólis sendo as partes central e norte da bacia.

Conforme os estudos mencionados sobre o comportamento hídrico em locais de presença de silvicultura, foi classificado com boa contribuição para a infiltração de água na BHRJL.

4.1.8. Mosaico de agricultura e pastagem

As áreas identificadas com agricultura e pastagem possuem 26,98% de incidência na bacia no ano de 2020. Esse tipo de cobertura está associado a locais com características de uso agropecuário, onde, à medida que é retirado o gado ou a cultura de plantio, há troca de atividade, tornando-se variável o uso desse solo durante os anos. Dessa forma, compreende-se o impacto gerado à cobertura do solo sobre este mosaico de agricultura e pastagem comprometendo a capacidade de infiltração de água no solo.

A capacidade de infiltração de água no solo envolve em três processos independentes: a entrada de água no solo, armazenamento e a transmissão de água através do solo

(REICHARDT, 1990). Logo, qualquer modificação dentro desses processos altera a resposta hidrológica de uma vertente, sobretudo, a alteração na infiltração no solo. O uso da terra em áreas de atividade agropecuária leva ao aumento da compactação do solo devido à mecanização e ao pisoteio do gado. A compactação causa redução na taxa de infiltração e na condutividade hidráulica no perfil do solo (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

As áreas com a presença de mosaico de agricultura e pastagem estão distribuídas em toda bacia, exceto as partes onde se encontra o reservatório do Ribeirão João Leite e o Parque Estadual do Altamira de Moura Pacheco. Por essas áreas sofrerem bastante modificação em sua cobertura, prejudicando o solo e a sua capacidade de infiltração, elas foram classificadas com baixa contribuição para a infiltração de água no solo da bacia

4.1.9. Área Urbana e outras áreas não vegetadas

A área Urbana faz parte de 4,54% e outras áreas não vegetadas possuem 0,45% da região da bacia conforme os dados de cobertura de 2020. A classe de Área urbana se concentra mais ao sul da bacia, sendo a região metropolitana de Goiânia; já na parte nordeste, da bacia se encontra no município de Anápolis, porém ocupando já seus limites (Figura 5).

Figura 5 - Porção de área urbanizada em Anápolis – GO.



Fonte: Próprio autor.

No interior da bacia, existem 3 cidades com a influência direta à recarga hídrica do local, como Terezópolis de Goiás, Goialândia e Campo Limpo de Goiás. De acordo com Tucci (2005), áreas urbanizadas ocorrem a substituição da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, também introduzindo condutos para viabilizar o escoamento superficial,

gerando alterações para o ciclo hidrológico. A figura 6 ilustra porção de área urbana a igreja católica na praça central da cidade de Terezópolis de Goiás.

Figura 6 - Porção de área urbanizada em Terezópolis de Goiás.

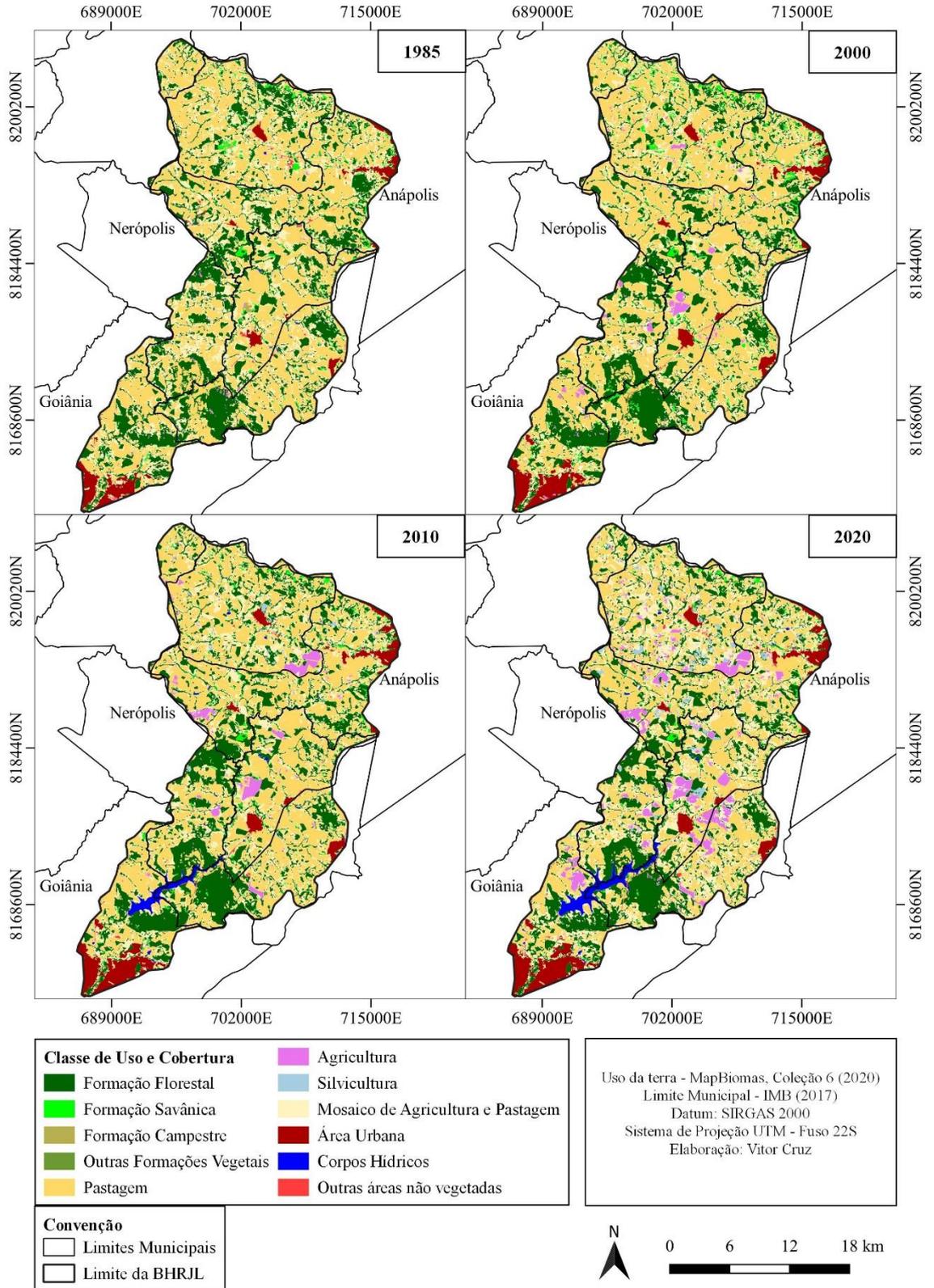


Fonte: próprio autor.

A classe de outras áreas não vegetadas é caracterizada pela presença do solo exposto, que acelera o processo de escoamento superficial desfavorecendo a potencialidade para infiltração de água. Esses locais geralmente são de estradas, de vicinais e de atividade que retiram a cobertura vegetal como a atividade mineradora, ocasionando em solo exposto e sofrendo o processo de compactação pelas máquinas de extração. Para Souza e Alves (2003), a ocorrência de retirada da cobertura vegetal e a degradação da estrutura do solo provocam a diminuição no tamanho dos poros no solo havendo a redução na área da seção transversal para o fluxo de infiltração de água.

Devido às áreas de infraestrutura urbana e às outras áreas não vegetadas interferirem diretamente na quantidade e na qualidade da água superficial e subterrânea da bacia e conterem partes consideráveis de terrenos impermeáveis, no caso de outras coberturas não vegetadas apresentarem compactação e solo exposto, por isso não contribui para infiltração da água e recarga da bacia. Logo, essa categoria é classificada como muito baixa contribuição para a infiltração da água no solo. A Figura 7 ilustra os mapas analisados de uso e cobertura da terra da BHRJL com seus respectivos anos.

Figura 7 - Mapa de uso e cobertura da terra da BHRJL nos de 1985, 2000, 2010 e 2020.



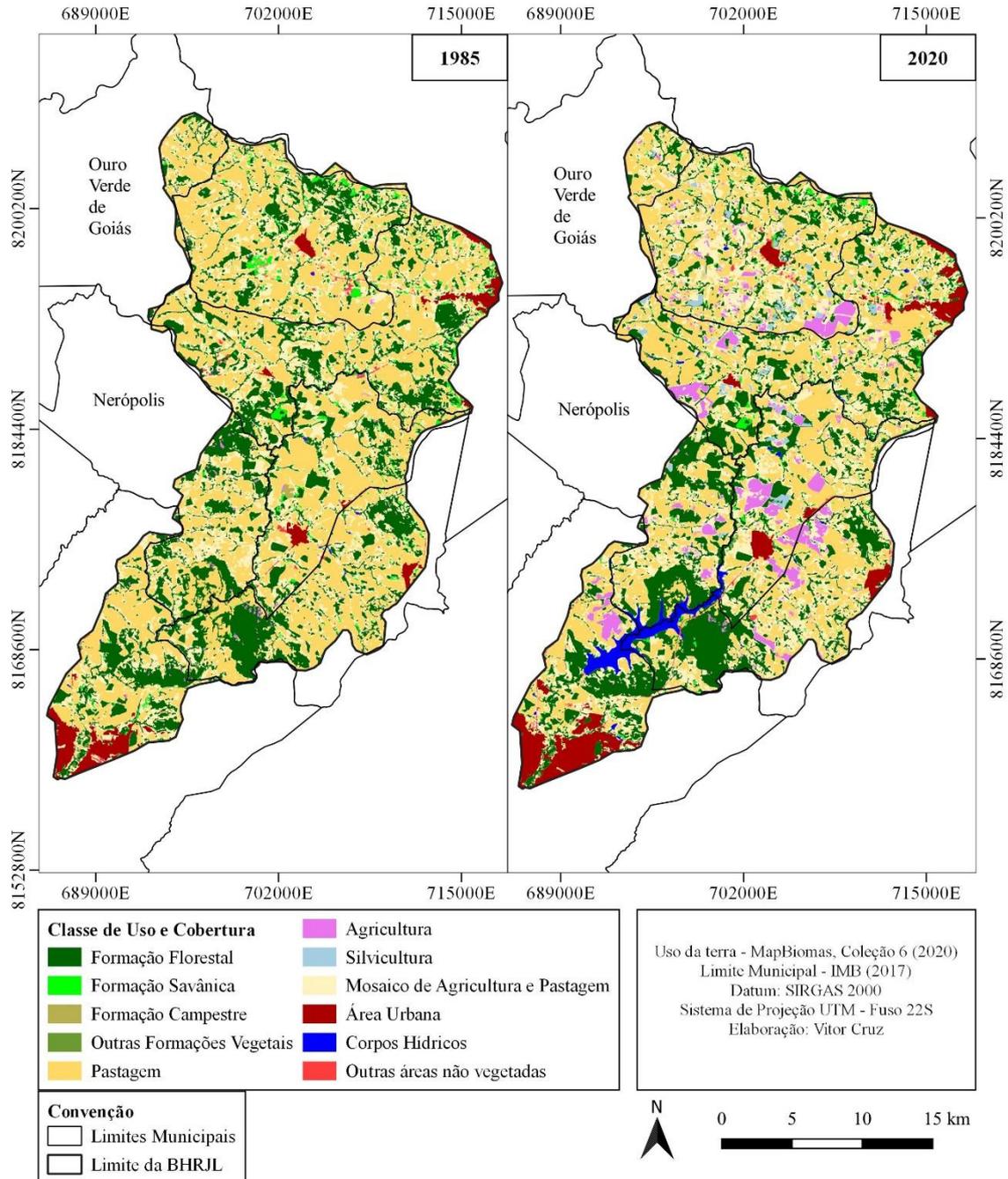
Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que os mapas de cobertura e uso da terra demonstram uma dinâmica na BHRJL, onde as classes para cada ano que foi analisado sofrem variações de perdas e ganhos e suas áreas. No ano de 1985, evidencia-se a cobertura de pastagem e mosaico de agricultura e pastagem de forma predominante dentro da bacia, com uso principalmente para a pecuária. De acordo com Sousa (2017), o Cerrado se consolidou como a zona central da pecuária do país, abrigando cerca de 44% do rebanho bovino brasileiro e cerca de 60 milhões de hectares de pastagem.

As classes de cobertura vegetal representando as formações florestais, savânica e campestre sofreram variações em sua ocupação dentro da bacia, uma vez que, com a criação do reservatório, foram determinadas Áreas de Preservação Permanente – APP, preservando algumas áreas de formação florestal aos redores do reservatório. Já outras áreas da bacia sofreram total supressão da cobertura vegetal sendo substituídas pela por áreas de agricultura e pastagem.

As áreas não vegetadas e área urbana se desenvolveram entre desses 35 anos analisados, já que o processo urbano avançou consideravelmente, principalmente as cidades de Goiânia, Terezópolis e Anápolis. As áreas não vegetadas estão relacionadas às explorações minerais e pedras preciosas, avançado o processo de solo exposto no interior da BHRJL. A figura 8 ilustra o mapa comparativo de 1985 e 2020 com relação a cobertura e uso da terra da BHRJL.

Figura 8 - Mapa comparativo de cobertura e uso da terra da BHRJL dos anos de 1985 e 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma melhor interpretação, os dados foram tratados e organizados em um quadro, representando o percentual de cada cobertura e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite por todos os anos estudados, gerando a tabela a seguir (Tabela 4).

Quadro 3 - Classes de cobertura e uso da terra da BHRJL 1985 a 2020.

Classes de cobertura	Contribuição na Infiltração de água	Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite			
		1985	2000	2010	2020
		Área (%)	Área (%)	Área (%)	Área (%)
Formação Florestal	Elevada	24,90	23,75	25,03	22,86
Formação Savânica	Boa	1,94	3,08	1,90	1,34
Formação Campestre	Moderada	0,29	0,13	0,07	0,12
Outras Formações Vegetais	Moderada	0,36	0,31	0,27	0,26
Pastagem	Moderada	45,26	49,13	45,27	36,30
Agricultura e Soja	Baixa	0,22	1,13	1,84	4,30
Mosaico Agri/Past	Baixa	23,78	18,08	19,54	26,98
Área Urbana	Muito baixa	2,66	3,96	4,29	4,54
Outras áreas não vegetadas	Muito Baixa	0,46	0,20	0,30	0,45
Silvicultura	Boa	-	-	0,22	1,04
Corpos Hidricos	-	0,09	0,19	1,19	1,76

Fonte: Coleção 6. Mapbiomas, dados tratados pelo próprio autor.

Conforme a representação do quadro acima, é possível analisar cada classe de cobertura e uso da terra em relação à alteração em percentual de incidência na bacia ao longo desses 35 anos, ou seja, as análises a seguir serão comparadas referentes ao primeiro ano analisado até último ano, para compreensão de toda a evolução da cobertura e uso da terra da BHRJL.

As Formações florestais para o ano de 1985 continham 24,90% de ocupação; já para o ano de 2000, houve uma diminuição para 23,75%. Em 2010, a formação florestal se desenvolveu para 25,03%, uma diferença de 1,28% com relação ao ano 2000. Para o último ano analisado, 2020, a formação florestal teve outro recuo em sua área, reduzindo para 22,86%.

A Formação Savânica, no ano de 1985, estava com 1,94% de incidência na bacia; no ano 2000, apresentou um acréscimo expressivo para 3,08%, com um aumento de 1,14% comparados esses dois anos. Em 2010, a ocupação de áreas de savanas formou 1,90%, e em 2020 estava com 1,34%. Compreendendo essa dinâmica, vê-se que a formação savânica diminuiu 0,6% dentro desses anos analisados.

A formação campestre possuía 0,29% em relação ao ano de 1985; em 2000, houve uma diminuição para 0,13%; em 2010, a porcentagem regrediu novamente para 0,07; no entanto, em 2020, a formação aumentou para 0,12%. Uma variação de 0,17% dentro desses anos analisados.

A classe de silvicultura, percebe-se que seu surgimento de ocupação no uso e cobertura da terra veio ter dado percentual apenas para o de 2010 seguinte, com sua ocupação de 0,22%, e posteriormente para 2020 com 1,04%. Esse tipo de classe cobertura, vem crescendo no interior do Brasil por causa de seu retorno econômico, principalmente no plantio de eucalipto.

Em relação às outras formações vegetais, são áreas que não foram identificadas como as mencionadas acima, pois sua porcentagem em 1985 era de 0,36%; no ano 2000, regrediu em 0,31%; em 2010, com 0,27% e 2020 com 0,26%. Cerca de 0,10% de variação de incidência nos anos analisados. Correlacionado essas modificações das classes de cobertura vegetal na BHRJL, compreende-se o avanço das outras classes, principalmente as de agricultura, pastagem e mosaico de agricultura e pastagem, que são classes criadas pela atividade antrópica, visando os fatores sociais e econômicos para a região sem se pensar em preservação e sustentabilidade. Como visto nas análises, devido à evolução da supressão das coberturas vegetais, estima-se que ao longo dos próximos anos as classes de cobertura vegetal possam perder mais sua incidência, ocasionando impactos ambientais para a BHRJL.

As formações que possuem grau evolutivo de ocupação de uso da terra estão ligadas ao setor de produção econômica. Dessa forma, é perceptível esse processo nas classes de pastagem, agricultura e mosaico de agricultura e pastagem. Logo, essas classes têm um potencial mais baixo para a infiltração da água no solo comparado as classes com cobertura vegetal, afetando diretamente a recarga hídrica da BHRJL, analisado através dos mapas figura 8 que suas áreas são mais extensas que as outras classes. Assim, percebeu-se que em 1985 as áreas de pastagem possuíam um percentual de 45,26% da bacia; no ano de 2000, evoluiu para 49,13%. Em 2010, o reduziu para 45,27%, e para o ano de 2020 diminuiu novamente para 36,30%, uma variação de 8,96% dos anos estudados. Analisando as classes de agricultura e soja, no ano de 1985, área tinha 0,22% de incidência; já em 2000 evoluiu para 1,13%; em 2010, estava com 1,84, e no ano de 2020, desenvolveu-se em 4,30%, uma evolução de 4,08% na ocupação comparado ao primeiro ano analisado. Estudando a classe de mosaico de agricultura e pastagem, percebe-se, na tabela 4, baixa variação em seus dados percentuais, pois em 1985 essas áreas tinham 23,78% de incidência; seguindo para o ano 2000 regrediram

para 18,08%; em 2010, evoluiu para 19,54% e em 2020, evoluiu novamente para 26,98%. A ocupação dessa classe teve variação de 3,2% na bacia.

Com a representação dos dados das classes de pastagem, agricultura e soja e mosaico de agricultura e pastagem, compreende-se uma tendência de evolução em suas áreas de ocupação dentro dos anos estudados, em que apenas a classe de pastagem demonstra uma diminuição em seu valor de incidência, levando em consideração que, com o crescimento das outras classes as quais sofrem alteração por viés econômico, as ocupações de uso da terra se configuram em uma dinâmica de modificações ao longo dos anos conforme as classes possuem um maior retorno econômico. Logo, sua cobertura e uso da terra terá uma maior ocupação no interior da bacia, ocupando lugar de outras classes de menor interesse, no caso das coberturas vegetais. Seguindo esse raciocínio, áreas com potencial produtivo sofrem especulação econômica, em que as áreas exploradas necessitam de mão de obra e setor industrial, sendo onde as áreas urbanas têm seu desenvolvimento, ocupando o uso e cobertura da terra da BHRJL, que compreende o avanço da malha urbana no interior da bacia. Conforme visto na tabela 4, em 1985 a área urbana era 2,66%; em 2000; desenvolveu para 3,96%; em 2010, para 4,29% e em 2020, evoluiu para 4,54%, sendo um crescimento de ocupação da bacia de 1,88% desde o primeiro ano analisado. Em relação às outras áreas não vegetadas, compreendem-se essa ocupação como atividade de extração mineral, sendo detectada baixo percentual de ocupação de uso e cobertura da terra, com incidência em 1985 de 0,46% e para último ano, em 2020, com 0,45%, ou seja, essa classe não teve variações significativas.

Por fim, as áreas de corpos hídricos são representadas principalmente pelo rio João Leite e pelo reservatório no interior da BHRJL. Com relação aos dados percentuais dessa classe, em 1985, mostrou um percentual de 0,09%; no ano de 2000, era 0,19; já para o ano de 2010, saltou para 1,19% e em 2020 para 1,76%. O crescimento efetivo das classes de corpos hídricos em 2010 é devido a criação do reservatório do Ribeirão João Leite para o abastecimento hídrico da região metropolitana de Goiânia.

Constata-se que, na BHRJL, as mudanças mais substanciais na cobertura e uso da terra foram da classe de pastagem - que diminuiu, mas cedendo espaço de ocupação para as classes de agricultura e soja, mosaico de agricultura e pastagem e área urbana, classes nas quais sua contribuição de infiltração do solo tem um grau baixo para a recarga hídrica da BHRJL, conseqüentemente afetando os níveis do reservatório para abastecimento hídrico da região.

Interessante frisar as classes de cobertura vegetal, principalmente a formação florestal que não sofreu tanta supressão para a substituição por outra classe de ocupação em

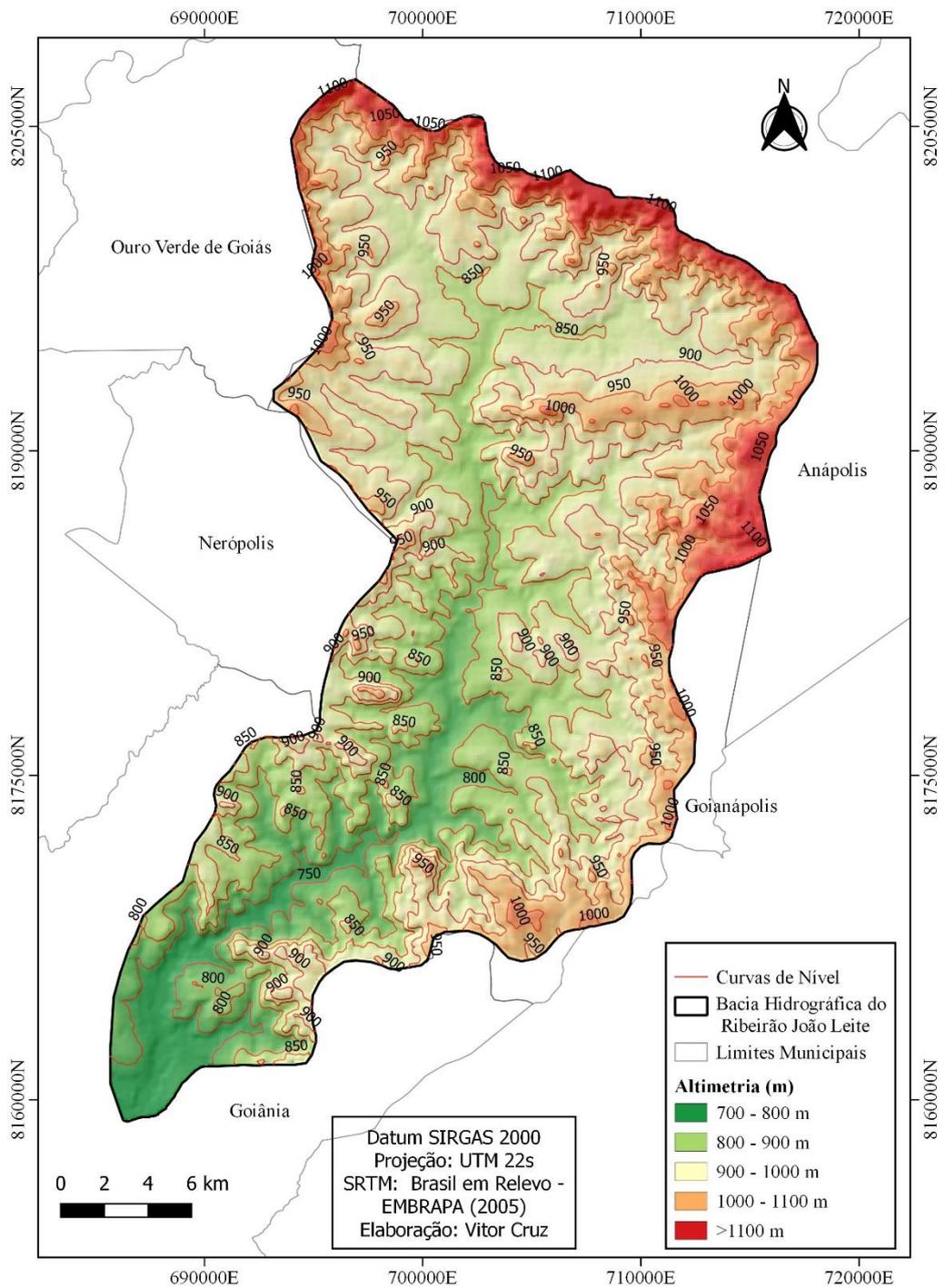
decorrência de as áreas florestais estarem em parques estaduais que estão protegidos pelas leis ambientais, fornecendo uma elevada contribuição para taxa de infiltração de água a bacia.

4.2. Caracterização morfométrica

4.2.1. Altimetria

As faixas altimétricas foram classificadas entre cotas com equidistância de 50 metros conforme observado na figura 9.

Figura 9 - Altimetria da BHRJL.

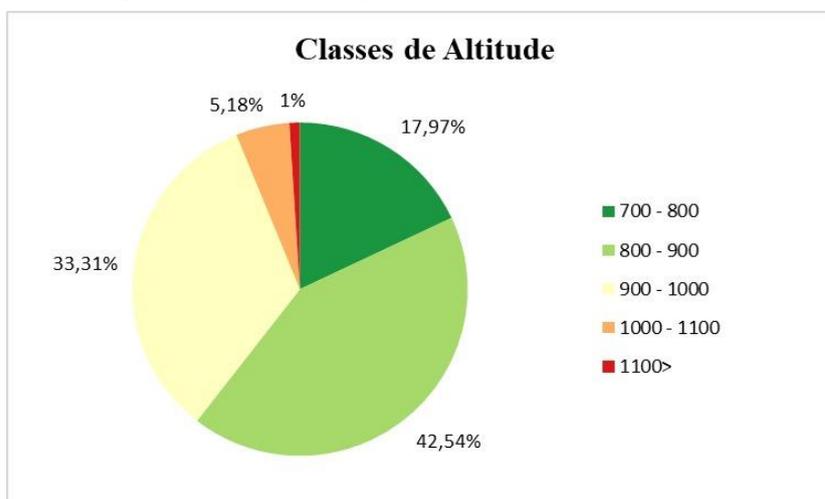


Fonte: baseado em EMBRAPA (2005)

A observação dos dados de altimetria da bacia demonstra uma amplitude de 438 metros, sendo essa variação entre a cota mínima de 703 e a máxima de 1.141 metros. Cerca de 75% da área se encontra nas cotas de 800 a 1000 metros. As cotas de 700 a 1000 metros

representam 2/3 da área total, cerca de 91%. Portanto, apenas um 8,27% da área da bacia demonstra as cotas acima de 1000 de altitude, podendo ser visto na figura 10.

Figura 10 - Distribuição das classes de altitude (m).



Fonte: baseado em EMBRAPA (2005)

Quadro 4 - Distribuição das classes de altitude.

Classes de Altitude (m)	Área (km²)
>1100	6,85
1000 - 1100	57,23
900 - 1000	250,23
800 - 900	336,39
700 - 800	123,21

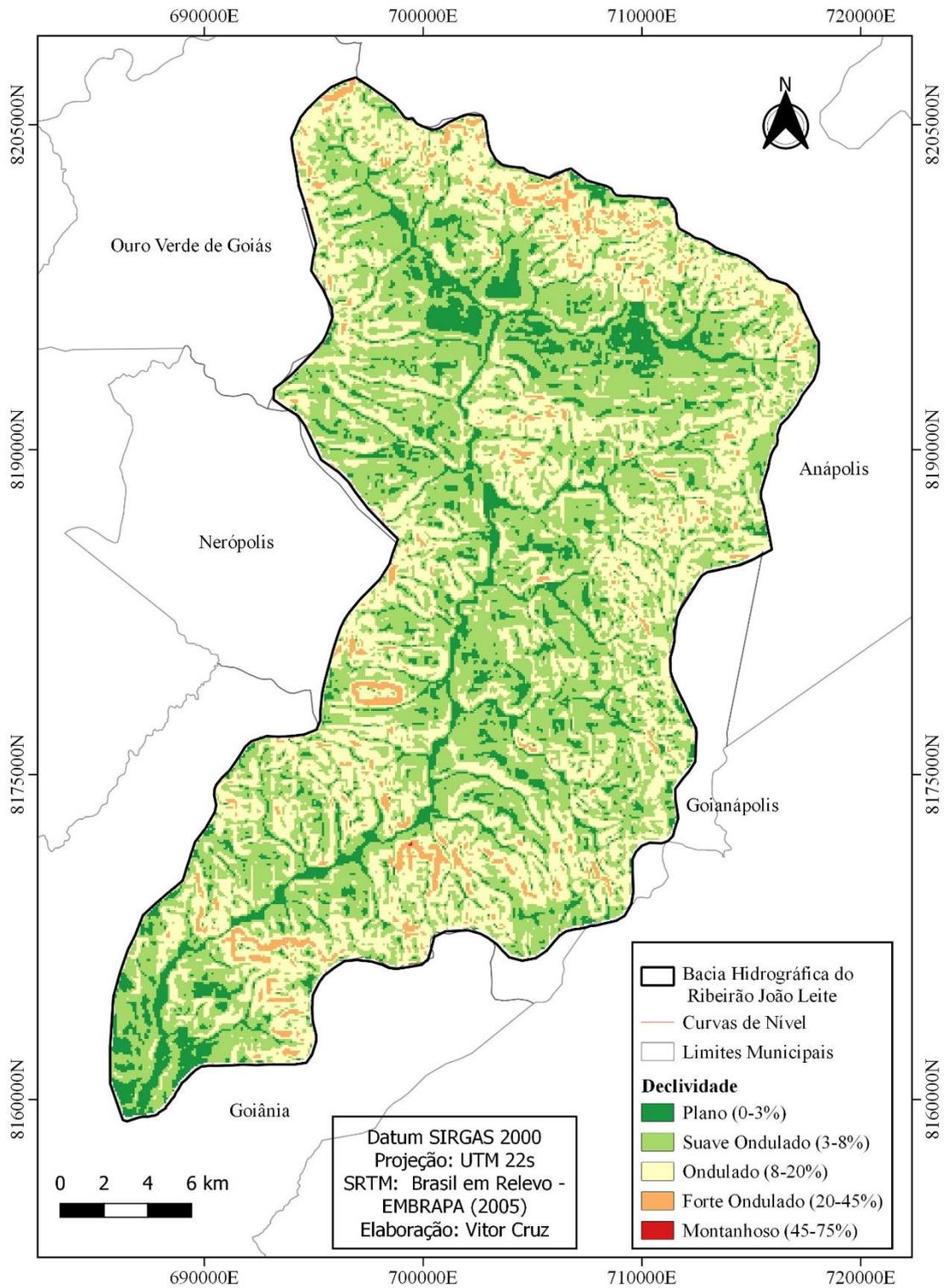
Fonte: baseado em EMBRAPA (2005)

4.2.2. Declividade

A declividade da bacia e o gradiente do curso d'água principal são características que afetam diretamente no escoamento da água ao longo do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1981). O tempo de concentração de uma bacia diminui com o aumento da declividade (TUCCI, 1998). A finalidade dos dados de declividade tem o objetivo de demonstrar as inclinações de uma superfície em relação a um eixo horizontal.

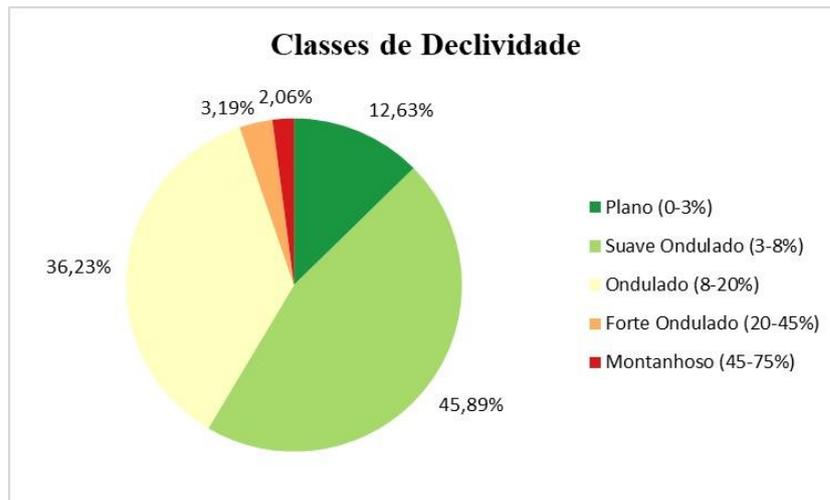
Conforme a classificação de declividade da Embrapa (1979) foi gerado no mapa os níveis de inclinação do relevo da BHRJL. Percebe-se que nas figuras 11 e 12, predomina na área da bacia relevo variando de suave ondulado (3-8%) a ondulado (8-20%), representando cerca de 76% e Predominantemente plano e suave ondulado 0-8% com 58,52% da área total da BHRJL.

Figura 11 - Faixas de declividade da BHRJL.



Fonte: baseado em EMBRAPA (2005)

Figura 12 - Distribuição de Classes de declividade.



Fonte: baseado em EMBRAPA (2005)

Quadro 5 - Classes de declividade da BHRJL.

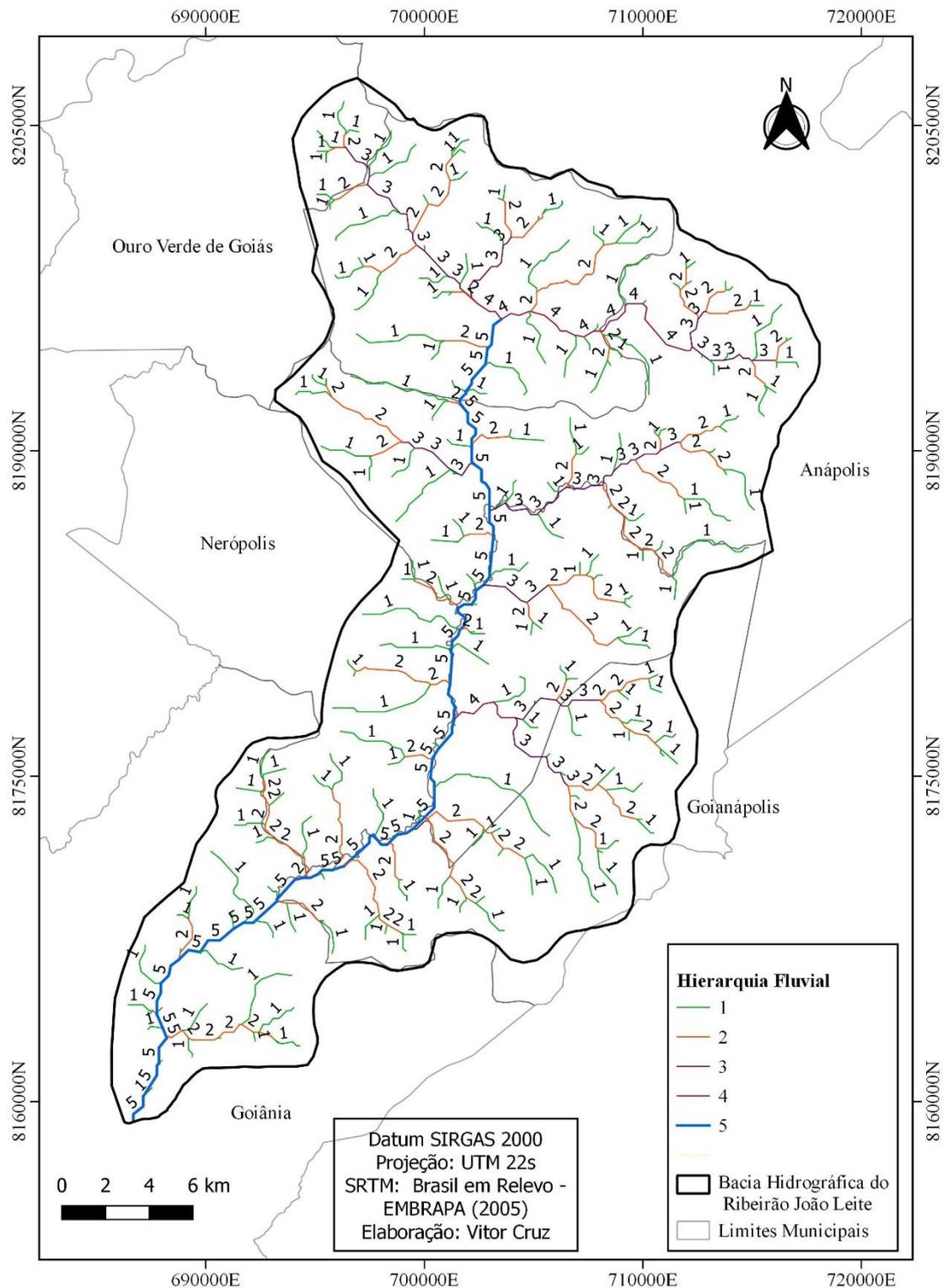
Tipos de Relevo	Declividade (%)	Área (km ²)
Plano	0 a 3	97,11
Suave ondulado	3 a 8	363,90
Ondulado	8 a 20	288,12
Forte ondulado	20 a 45	24,71
Montanhoso	45 – 75	0,7

Fonte: baseado em EMBRAPA (2005).

4.2.3. Ordem hierárquica dos canais

Conforme Strahler (1957), a ordem hierárquica fluvial demonstra os graus de ramificações dentro da bacia, podendo compreender a determinação da velocidade com a água escoando até o exutório. Assim, o fluxo de descarga do rio aumenta em relação exponencial com o aumento da ordem hierárquica do canal (SOUZA, 2005). A BHRJL contém uma hierarquia de drenagem de até 5°, dessa forma a hierarquia fluvial descreve que rios de baixa ordem são mais propensos a cheias repentinas e inundações locais, enquanto rios de alta ordem podem ter cheias mais lentas e mais controladas que é o caso da BHRJL. Isso pode afetar a segurança das populações que vivem próximas aos cursos d'água (SOUZA, 2005). Os dados de hierarquia fluvial podem ser vista na figura 13.

Figura 13 - Mapa de hierarquia fluvial da BHRJL.



Fonte: org. do autor.

Os parâmetros morfométricos são apresentados pelo quadro 6, representada a seguir, informado o parâmetro e o resultado. Os tópicos a seguir, discute os resultados dos parâmetros.

Quadro 6 - Resultados dos Parâmetros analisados.

Símbolo	Parâmetro	Resultado
Al	Altimetria da bacia	703 m à 1141 m
Dc	Declividade da bacia	0% à 75 %
A	Área da bacia	774,56 km ²
P	Perímetro da bacia	148,39 km
Ha	Amplitude altimétrica da bacia	438 m
Ccp	Comprimento do canal principal	49,5 km
Amax	Altitude máxima do canal principal	825,6 m
Amin	Altitude mínima do canal principal	703 m
Acp	Amplitude Altimétrica do canal principal	122,6 m
S1	Declividade média do canal principal	2,47 %
Gcp	Gradiente do canal principal	2,47 m/km
N	Número total de canais fluviais	270
Dh	Densidade Hidrográfica	0,34 canais/km ²
Lt	Comprimento total dos canais fluviais	509,2 km
Dd	Densidade de Drenagem	0,657 km/km ²
Ic	Índice de Circularidade	0,44 adimensional
Ir	Índice de rugosidade	287,76 adimensional
Ev	Distância vetorial do canal principal	40,5 km
Is	Sinuosidade do canal principal	1,235 km/km
Kc	Coefficiente de compacidade	1,49 adimensional
Kf	Fator de forma	0,31 adimensional
Cm	Coefficiente de manutenção	1.522 m ² /m
Fr	Frequência de canais	1 ^a ordem 77,0 %
		2 ^a ordem 17,8 %
		3 ^a ordem 3,7 %
		4 ^a ordem 1,1 %
		5 ^a ordem 0,4 %
Rb	Relação de bifurcação	1 ^a ordem – 4,24
		2 ^a ordem – 4,36
		3 ^a ordem – 2,5
		4 ^a ordem – 1,5

Fonte: org. do autor.

4.3.Área da bacia

Segundo Strahler (1957), a área da bacia é área total que está projetada sobre um plano horizontal da área de condução ao escoamento da água para uma determinada ordem, incluindo os outros afluentes de ordem inferior, representando a área de captação disponível. Logo, quanto maior a área, maior será o volume de precipitação infiltrando no sistema da bacia. Schumm (1956) aborda que a área da bacia desenvolve exponencialmente com a ordem dos canais. Dessa forma, quanto maior a área da bacia, maior o número de canais de 1ª ordem, e também maior o perímetro da bacia.

Conforme indicado pelo quadro 7, a BHRJL possui uma área de 774,56 km², sendo considerada uma bacia média para finalidade de abastecimento hídrico da região metropolitana de Goiânia que está registrada pelo IBGE (2019) com estimativa de 2.613.491 habitantes. Entretanto, conforme Resende (2015), o reservatório implementado na BHRJL encontra problemas de manutenção, já que 470 de suas nascentes que o alimenta, apenas 70 delas estão protegidas e outras 23 não podem mais ser recuperadas da degradação.

4.4. Perímetro da bacia

O perímetro da bacia é baseado na projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas, é importante pois está diretamente relacionado com o fluxo de água que passa por ela. Quanto maior o perímetro, maior será a quantidade de água que escoar pela bacia, e isso pode impactar o uso dos recursos hídricos em uma determinada região. Além disso, o cálculo do perímetro da bacia também é fundamental na elaboração de estudos hidrológicos permitindo calcular outros índices morfométricos e na gestão dos recursos naturais, visto que permite compreender a dinâmica da água na região e os riscos associados a eventos climáticos extremos, como enchentes e estiagem. (SOUZA, 2005). Em relação a BHRJL, o perímetro é de 148,39 km.

4.5. Número de canais de 1ª ordem

Este indicador demonstra a quantidade de nascentes associadas às áreas de recargas dos canais de drenagens. De modo geral, os fatores que influenciam a recarga hídrica incluem a quantidade e intensidade da precipitação, o tipo de solo e cobertura vegetal presentes na bacia. Já os fatores que influenciam o escoamento superficial incluem a topografia da bacia, a rede de drenagem, a permeabilidade do solo e a cobertura vegetal. Dessa forma, é importante considerar a relação entre recarga hídrica e escoamento superficial para uma gestão adequada

dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, visando garantir o uso sustentável e equilibrado desses recursos (CHRISTOFOLETTI, 1980). Na BHRJL existem 423 canais fluviais de 1º ordem.

4.6. Comprimento vetorial do canal principal

Conforme Horton (1945), o comprimento vetorial do canal principal é a distância em linha reta da nascente a foz do canal principal, este índice fornece informações essenciais sobre as características do canal. Este comprimento, em conjunto com outras métricas, ajuda a determinar a largura do canal, a profundidade, a velocidade da água, e outras propriedades fundamentais. Está relacionado com a área e o perímetro da bacia. O comprimento vetorial da BHRJL é de 40,5 km. Este valor em comprimento possui uma diferença de 9 km em relação ao comprimento real do canal principal, percebendo que o canal principal não tem tantas características de sinuosidade.

4.7. Comprimento do canal principal

O comprimento do canal principal da bacia hidrográfica tem a importância de indicar a distância e tempo de escoamento da água até o exutório de todo o sistema. O tempo de viagem da gota da chuva que atinge a parte mais distante da bacia até ao exutório é chamado de tempo de concentração da bacia, quanto mais longo for o canal, maior será a resistência à passagem da água e, conseqüentemente, menor será a vazão. O cálculo do comprimento é fundamental para o dimensionamento adequado do canal e para garantir que a vazão necessária seja alcançada. Além disso, o conhecimento preciso do comprimento também é importante para manter a eficiência do canal em longo prazo, pois permite identificar eventuais problemas de entupimento ou sedimentação. (TUCCI, 2002). O comprimento do canal principal da BHRJL é de 49.5 km.

4.8. Índice de rugosidade

O Índice de rugosidade relaciona as variáveis declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. Representa como um índice adimensional que corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, que indica o desnível médio da bacia hidrográfica (MELTON, 1957). Este índice

apresenta a declividade relacionada com os comprimentos dos canais. Assim, quanto maior o índice, mais o relevo é colinoso e dissecado (ALVES, 2019). O quadro 7 apresenta os índices de rugosidade e denominação para cada valor, conforme Sousa e Rodrigues (2012).

Quadro 7: Índice de Rugosidade

Índice de Rugosidade	Denominação
0 - 150	fraca
151 - 550	Média
551 - 950	Forte
>950	Muito forte

Fonte: baseado em Sousa e Rodrigues (2012).

O índice de rugosidade da BHRJL é de 287,76, sendo considerado um valor médio de potencial erosivo no interior da bacia. É interessante comparar esse resultado com outras bacias hidrográficas para avaliar a variabilidade do índice de rugosidade por cada região. Um estudo realizado por Santos et al. (2017) na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, na Bahia, obteve um valor de 267,93 para o índice de rugosidade, determinando um valor potencial erosivo moderado. Já um trabalho de Souza e Silva (2018) na bacia hidrográfica do rio Preto, em Minas Gerais, encontrou um valor de 445,7 para o índice de rugosidade, indicando um relevo mais acidentado e propenso à ocorrência de erosão. Portanto, a análise do índice de rugosidade é uma importante ferramenta para avaliar o potencial erosivo de uma bacia hidrográfica, considerando não apenas a declividade e o comprimento das vertentes, mas também outros fatores influentes. Comparando os valores obtidos para diferentes bacias é possível traçar um panorama mais amplo sobre as características geográficas de cada região.

4.9. Gradiente do canal principal

O gradiente do canal principal é a relação entre a amplitude altimétrica e o seu comprimento. Busca indicar o poder erosivo do canal através da energia potencial do rio (SANTOS, 2006). É utilizado para demonstrar a capacidade de transporte de sedimento de um rio, pois maior é sua declividade.

Na BHRJL apresentou um gradiente do canal principal de 2,47 m/km indicando que seu poder erosivo é relativamente baixo. Isso significa que há menor capacidade de transporte de sedimento e menor tendência a formar feições erosivas como cachoeiras e desfiladeiros. Esse resultado pode ser comparado com dados de outros rios para avaliar suas características

em relação a outros sistemas fluviais. Em um estudo sobre os rios da bacia do Paranapanema no Paraná, por exemplo, Tavares et al. (2014) verificaram que a maioria dos rios avaliados apresentavam gradientes do canal principal superiores a 3 m/km, indicando maior capacidade erosiva. Já em um estudo sobre rios da bacia do São Francisco, Ribeiro et al. (2018) encontraram gradientes que variavam de 0,13 a 7,4 m/km, indicando grande variação na capacidade erosiva desses rios. Assim, a comparação dos dados obtidos para a BHRJL com outros estudos pode ajudar a entender suas características em relação a outros sistemas fluviais, bem como auxiliar na avaliação de seu potencial para a ocorrência de processos erosivos e na gestão de suas águas.

4.10. Índice de circularidade

Através da proposta de Miller (1953) e citado por Strahler (1958), esse índice determina a relação da área total da bacia junto à área do círculo de mesmo perímetro. O índice indica a capacidade de acúmulo das águas recebida pelos afluentes. Dessa forma, a medida que a bacia possui um baixo valor de unidade, essa bacia está propensa a escoamento e, a medida que bacia possui um valor alto do padrão do índice a bacia possui uma maior capacidade a inundação. O quadro 8 demonstra os valores referentes do índice, determinando a forma da bacia conforme seu valor obtido.

Quadro 8 – Índice de Circularidade.

Índice de Circularidade	Denominação
<0,51	Bacia alongada, propensa a escoamento
0,51	Escoamento moderado
>0,51	Bacia circular, propensa a inundação

Fonte: baseado em Miller (1953, apud STRAHLER, 1958).

Para Christofolletti (1970), bacias com formato circular tendem a concentrar um grande volume de água em seu canal principal, por receberem em toda sua extensão chuvas intensas simultaneamente.

O índice de circularidade da BHRJL é de 0,44, representando uma bacia de formato alongado, sendo uma bacia com prospecção a escoamento da água; logo, com maior força de erosão e transporte de sedimentos.

4.11.Densidade de drenagem

Para Christofolletti (1980), a densidade de drenagem representa o grau de dissecação topográfica. Este parâmetro demonstra a quantidade de canais disponíveis para o escoamento, ou seja, conforme há mais canais presentes na bacia, mais rápido a água precipitada chega ao exutório, podendo ser interferido por alguns fatores como a precipitação, declividade das vertentes, tipo de solo, geologia, e cobertura vegetal, sendo a resposta ao ajuste entre a precipitação e os outros fatores. A densidade de drenagem também é responsável sobre o escoamento e o transporte de sedimentos dentro da bacia hidrográfica.

Horton (1945) definiu a densidade de drenagem está relacionada entre o comprimento dos canais e a área da bacia, considerando um essencial índice morfométrico para compreensão dos fatores atuantes sobre a drenagem, descrevendo-a como uma variável para os estudos geomorfológicos, sendo relacionado a duas funções distintas indicadas pelo índice.

1 Relação entre a dinâmica do clima, vegetação, litologia e outras correlações para área drenada.

2 Fator que determina a geração do escoamento e o transporte sedimentar no interior da bacia.

Segundo Villela e Mattos (1975), o índice de densidade de drenagem é considerado muito baixa quando os valores são menores que 0,5 km/km² e mediana entre 0,5 e 2,00 km/km², alta entre 2,01 e 3,50 km/km² e muito alta para valores acima de 3,5 km/km².

A densidade de drenagem da BHRJL de 0,657 km/km², representando uma densidade mediana

4.11 Densidade hidrográfica

É a relação entre o número de canais e a área da bacia hidrográfica. Tem o objetivo de comparar a frequência de cursos de água existentes em uma área, de tamanho padrão. Este índice expressa os valores da rede hidrográfica da bacia, demonstrando a capacidade de gerar novos afluentes (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Para Silva *et al.* (2002), a drenagem de uma bacia pode ser modificada conforme a mudança do gradiente de descarga do rio, por ajustes neotectônicos ou elevação súbita de vasiao da bacia, correlacionados a eventos de extremos de precipitação associados ao desmatamento de larga escala, transformando-se em uma erosão basal das margens mais acentuadas até as convexas, levando sedimentos à jusante da bacia.

A densidade hidrográfica é descrita conforme os valores que Horton (1945) propôs que: valores menores que 0,5 canais/km² demonstram um valor baixo de densidade; valor médio de densidade acima de 0,5 canais/km² até 1,5 canais/km²; de 1,5 canais/km² até 2,5 canais/km² com bons valores densidade; e muito boas até 3,5 canais/km² e excepcionais maiores que 3,5 canais/km².

A densidade hidrográfica da BHRJL é de 0,34 canais/km², significando que existem 0,34 canais de drenagens a cada 1 km² na bacia, sendo considerada uma bacia com um valor de densidade hidrográfica baixa.

4.13. Coeficiente de manutenção

Shumm (1956) apresenta o coeficiente de manutenção como um parâmetro que utiliza a área mínima necessária para manutenção de um metro de escoamento, utilizando da qualidade da rede de drenagem da bacia. Esses parâmetros têm o objetivo de corresponder à área necessária para formação de um canal com fluxo perene. Coeficiente de manutenção indica a razão inversa da densidade de drenagem da bacia, demonstrando a quantidade de área necessária em km² para manter o fluxo contínuo de um canal fluvial, sem sofrer com a estiagem das chuvas. O coeficiente de manutenção relaciona as áreas de recargar a partir da impermeabilização do solo e do substrato rochoso, avaliando o potencial hidrológico das bacias (MACHADO *et al.*, 2011).

Na BHRJL, o coeficiente de manutenção é 1.522 m²/m, ou seja, são necessários 1.522m² de área para formar um metro de canal com fluxo perene; isso também vai depender dos fatos de uso e cobertura da terra, pela influência da capacidade de infiltração e escoamento da água, sendo importante a conservação natural destas coberturas para melhor desempenho hidrológico.

4.14. Coeficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade é representado a partir da relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual à da bacia. É determinado por um valor numérico adimensional podendo variar conforme a proporção da bacia que está sendo estudada; quanto mais irregular for à bacia, maior será o coeficiente de compacidade (VILLELA e MATTOS, 1975). O quadro 9 a baixo representa o os índices desse parâmetro.

Quadro 9 - Classificação do Coeficiente de Compacidade.

Coeficiente de compacidade	Denominação
1,00 – 1,25	Alta propensão a grandes enchentes
1,25 – 1,50	Mediana a grandes enchentes
>1,50	Não sujeita a grandes enchentes

Fonte: baseado em Villela e Mattos (1975)

A tendência de uma bacia hidrográfica sofrer cheias será maior quanto mais próximo de 1.0 for o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próximo de um círculo for a forma da bacia menor o tempo de concentração e maior a tendência de haver picos de enchentes. Logo, bacias que se aproximam a um formato circular convergem o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do rio principal, havendo a potencialidade de picos de enchentes elevado.

Na BHRJL, o coeficiente de compacidade é de 1,49 representando que a bacia, de maneira geral, é mediana a grandes enchentes e possui um formato alongado

4.15.Fator de forma

O Fator de forma relaciona a forma da bacia com um retângulo. O quadro 10 representa os valores e significados para cada resultado conforme a classificação de Villela e Mattos (1975).

Quadro 10 - Classificação do Fator de Forma (F).

Fator de Forma (F)	Denominação
<0,50	Não sujeito a enchentes
0,50 – 0,75	Tendência mediana a enchentes
0,75 – 1,00	Sujeita a enchentes

Fonte: baseado em Villela e Mattos (1975)

O fator de forma da BHRL possui o valor de 0,31, significando que a bacia, de modo geral, não está sujeita a inundações possuindo um formato alongada.

4.16.Frequência de canais de cada ordem

Conforme Horton (1945), os canais são formados a partir das nascentes e considerados canais de 1º ordem. Esses canais não possuem tributários; canais considerados de 2º ordem recebem tributários de primeira ordem; canais considerados de 3º ordem recebem de segunda ordem ou de primeira. O rio principal é formado pela junção de números de ordem de canais desde a nascente (STRHLER, 1952). As frequências de canais de cada ordem da BHRJL são:

- Frequência de canais de 1ª ordem: 77 %
- Frequência de canais de 2ª ordem: 17,8 %
- Frequência de canais de 3ª ordem: 3,7 %
- Frequência de canais de 4ª ordem: 1,1 %
- Frequência de canais de 5ª ordem: 0,4 %

O resultado demonstra que a bacia possui uma elevada frequência de canais de 1ª ordem; em consequência, um menor tempo entre a precipitação e a descarga no canal principal. Uma bacia hidrográfica com até 5ª ordem que é o caso da BHRJL em frequência de canais geralmente resulta em um relevo mais suave e com menor variação altimétrica. Os rios podem ser mais estreitos e com menor fluxo, o que resulta em menor erosão e sedimentos transportados. Ainda assim, a mata ciliar pode desempenhar um papel crucial na defesa e estabilidade do solo. De modo geral, essa classificação indica uma bacia hidrográfica com menor impacto humano e possivelmente com maior riqueza hídrica para uso e conservação (STRHLER, 1952).

4.17.Relação de bifurcação

É uma proposta por Horton (1945), a qual demonstra a relação entre o número total de segmentos de uma determinada ordem e o número total de segmentos (canais, rios) de ordem superior. Possui o objetivo de averiguar se está acontecendo o alongamento ou alargamento da bacia hidrográfica. A relação da bifurcação é denominada para todas as ordens dos rios de uma bacia (STRAHLER, 1952).

Para Strahler (1952), a relação de bifurcação não deve ser relacionada ao relevo, devido à estabilidade, possuindo pouca variação de uma área ou de uma região para a outra, a

menos que a região tenha um controle estrutural e muito significativo. Esse parâmetro serve para determinar as características ambientais, através do desenvolvimento da rede de canais com a relação da topografia e o substrato rochoso da bacia. O quadro 11 indica os índices de relação da bifurcação conforme o estudo de Horton (1945).

Quadro 11 - Classes de relação de bifurcação.

Relação de Bifurcação	Denominação
2	Plana e Suave ondulada
3	Montanhosa
4	Altamente dissecada

Fonte: baseado em Horton (1945)

A relação de bifurcação varia entre 2 para bacias planas a suave onduladas; 3 para bacias montanhosas, e 4 para bacias altamente dissecadas. A Relação de bifurcação encontrada na BHRJL foi de:

- Canais de 1ª ordem = 4,24
- Canais de 2ª ordem = 4,36
- Canais de 3ª ordem = 2,5
- Canais de 4ª ordem = 1,5

Quando essa dissecação atinge o nível 4, significa que a bacia hidrográfica já sofreu um grande desgaste e escavação, apresentando rios que correm em vales profundos e estreitos, além de muitos afluentes e vários níveis de elevação altimétrica. Esse nível de dissecação indica que a bacia já tem uma certa estabilidade em termos de hidrologia, mas também pode tornar a região mais propensa a enchentes e outros fenômenos relacionados à água (HORTON, 1945). A BHRJL possui valores acima de 4, verifica-se que a bacia é altamente dissecada; logo, favorece o nível de escoamento superficial de água.

4.18.Índice de sinuosidade do canal principal

Este parâmetro feito por Schumm (1963) e descrito por Alves e Castro (2003), através da determinação dos padrões de canais fluviais, a compreensão da dinâmica de modificação das margens dos rios pode ser obtida pelo índice de sinuosidade, que identifica as características morfológicas, sedimentológicas e hidráulicas de um rio.

Schum (1963) apresentou que, com o aumento da porcentagem de silte e argila no perímetro do canal, ocorre a sinuosidade. Dessa forma, realizar o estudo de índice de sinuosidade pode dar a compreensão da dinâmica de modificação das margens dos rios da bacia hidrográfica.

O cálculo utilizado é dado por: Lcp dividido por Ev , em que Lcp é o comprimento em plano do curso de água principal e Ev , o equivalente vetorial médio em linha reta do canal principal. Portanto, valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural ou alta energia, e valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo dados intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandrantos.

O índice de sinuosidade do canal principal da BHRJL é de 1,23, sendo mais próximo de 1, indicando a fase juvenil do canal principal e seu considerável poder de escoamento e carreamento de sedimentos.

Através das análises dos parâmetros morfométricos, foi possível identificar que a BHRJL é propensa a escoamento superficial das águas e possui índice moderado a infiltração. A bacia é mediana em relação à drenagem, tendo um relevo com dissecação médio a partir da captação da precipitação ao exutório, compreendendo a velocidade do escoamento superficial da água com média velocidade de tempo para o escoamento da água até o exutório. A área da bacia foi considerada mediana por se tratar de uma bacia que fornece água para região metropolitana de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Aparecida de Goiânia com a estimativa populacional de 2.613,491 habitantes (IBGE, 2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi evidenciado pelas análises de cobertura e uso da terra, a BHRJL sofreu uma dinâmica significativa em ocupação, principalmente nas áreas que reflete nas manchas urbanas, à agricultura e as massas d'água que cresceram significativamente nos períodos analisados. Dessa forma, as mudanças mais representáveis foram nas classes de mosaico de agricultura e pastagem, agricultura e soja, área urbana e pastagem. Esse processo evidenciou que a bacia possui um alto potencial agrícola, devido as áreas de mosaico de agricultura e pastagem estarem em evolução em cada ano analisado aumentando o setor agropecuário. Logo, esse potencial é correlacionado pelo desenvolvimento econômico da região, causando um maior crescimento nas áreas urbanas; como visto, um maior avanço nas cidades de Goiânia e Anápolis. Durante a visita técnica, observou-se que as áreas de propriedade dentro da bacia apresentam diferentes tipos de cobertura e uso da terra, que influenciam na infiltração de água no solo. As áreas com maior infiltração são aquelas que mantêm o solo

coberto e protegido da erosão, enquanto as áreas com menor infiltração são aquelas que deixam o solo exposto e compactado. Assim, concluiu-se que a BHRJL tem uma contribuição moderada para a infiltração de água no solo, segundo a análise de cobertura e uso da terra realizada na visita técnica.

Através das análises da morfometria da BHRJL, compreendeu-se que ela não é propensa a inundações, e tem índices médios de drenagem, com alta facilidade do escoamento superficial. Em relação à erosão e ao carregamento de sedimentos, possui médio potencial, demonstrando que a bacia tem um favorecimento médio para a recarga hídrica da BHRJL.

Contudo, a combinação dos dois métodos de análise do comportamento hidrológico da BHRJL foi possível identificar que cada classe de cobertura uso da terra determina um tipo de contribuição para infiltração de água no solo onde quanto maior a presença de cobertura vegetal melhor a contribuição para infiltração, conseqüentemente coberturas na qual foram modificadas pela ação antrópica como a supressão da cobertura vegetal e ampliação das manchas urbanas diminui o processo de infiltração. As características morfométricas determinaram um comportamento hidrológico moderado ao escoamento superficial e infiltração do solo.

Conforme analisado os mapas de cobertura e uso da terra percebeu-se a evolução em anos das classes com baixos níveis de contribuição para a infiltração de água no solo, com essa propensão a bacia diminuirá sua capacidade na recarga hídrica, afetando diretamente a população urbana e as comunidades que vivem no interior da bacia e que dependem do fornecimento da água. Dessa forma, este trabalho apresenta uma alerta à gestão pública que necessita ter um planejamento estratégico de recuperação das nascentes e proteção das matas ciliares para evitar a escassez hídrica da região.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das águas**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acessado em: 25 de setembro de 2019.
- _____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: Informe 2014. Brasília: ANA, 2014, p. 103. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acessado em: 25 de setembro de 2019.
- AGUIAR, L. S.; TARGA, M.; BATISTA, G. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Ambiente e Água**, v. 2, n. 1, 2007. P. 44-56. Disponível em: <https://redalyc.org/pdf/928/92820107.pdf>. Acessado em: 25 de setembro de 2022.
- ALBUQUERQUE, F. Segurança Hídrica é discutida em seminário da Fiesp sobre o reuso da água. **Agência Brasil**. São Paulo: 19 de março de 2013. Disponível em: <https://mentoria.ebc.com.br/wp2/documentos/>. Acesso em 11 out. 2021
- ALMEIDA, A.C; SOARES, JV. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila densa (Mata atlântica). na costa leste do Brasil. *Revista Árvore*, v.27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M. Compartimentação Morfométrica da Bacia Do Rio Coco Como Subsídio a Análise de Fragilidade Ambiental. *Mercator*, Fortaleza, v.15, n.4, p. 83-94, out./dez., 2016. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-22012016000400083. Acessado em: 25 de setembro de 2019.
- ALMEIDA, R. F. B. *et al.* Análise da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre as áreas de preservação permanente como instrumento na gestão dos recursos hídricos. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 49, p. 60-82, dezembro 2018. Vol. 49, dezembro 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/58652>. Acessado em: 10 de janeiro de 2020.
- ALVES, W. S. **Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho** – Sudoeste de Goiás – Brasil. 212 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.
- ARRAES, T. M. **Proposição de Critérios e Métodos para Delimitação de Bacias Hidrogeológicas**. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Instituto de Geociências – UNB, Brasília, DF. 2008.
- BATISTA, D. F.; SOUSA, F. A. de. Avaliação da Condutividade Hidráulica do solo sobre Condições de Cobertura por Cerrado e Pastagem. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 25, p.1-25, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/35332/20000>. Acessado em: 10 de janeiro de 2020.
- BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; Aplicação da equação universal de Perda do solo (USLE) em softwares livres e gratuitos. **Anu. do Inst. Geociências** 38, p.170–179, 2015. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VFuNZZ2ObyMJ:https://revistas.ufpr.br/index.php/aigeo/article/download/7855/6336&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acessado em: 17 de janeiro de 2020.

BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L.; OTTONELLI, A. S. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 620-631, 2014.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acessado em: 17 de janeiro de 2020.

BONNET, B. R. P. Relações entre qualidade de água e uso do solo em bacias hidrográficas no cerrado brasileiro: Aspectos físicos e sociais e proposição de diretrizes. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

BORGES DE MOURA, D. M., DE OLIVEIRA, R. M., DE OLIVEIRA, I. J., FERREIRA NASCIMENTO, D. T., DOS SANTOS ALVES, W. (2018): O uso de geotecnologias na análise morfométrica da alta bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-Goiás, Brasil, **GeoFocus (Artículos)**, nº 21, p. 19-37, 2018. Disponível em: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/493>. Acessado em: 30 de janeiro de 2020.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 153-192, 2004. Disponível em: <https://www.trabalhosgratuitos.com/Sociais-Aplicadas/Geografia/FICHAMENTO-BACIA-HIDROGR%C3%81FICA-E-QUALIDADE-AMBIENTAL-607987.html>. Acessado em: 30 de março de 2020.

BRITO, G. Q. de. **Capacidade de infiltração de água no solo em fitofisionomias do bioma cerrado**. 2019. 43 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CALDER, I.R. Forests and water: ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p. 110-120, 2007.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. “Aplicação De Modelos Digitais Do Terreno (MDT) Em análises macrogeomorfológicas: O Caso Da Bacia hidrográfica Do Araguaia”. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, vol. 5, nº 1, dezembro de 2004. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/3982>. Acessado em: 3 de fevereiro de 2020.

CASTRO, M. A. de; CUNHA, F. F. da; LIMA, S. F. de; PAIVA NETO, V. B. de; LEITE, A. P.; MAGALHÃES, F. W.; CRUZ, G. H. M. da. Atributos físico-fídricos do solo ocupado com

pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-grossense. **Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.

CHAN, H. C.; CHANG, C. C.; CHEN, P. A.; LEE, J. T. Using multinomial logistic regression for prediction of soil depth in an area of complex topography in Taiwan. **CATENA**, Volume 176, 2019, p. 419-429. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.030>. Acesso em: 15 out. 2019.

CHANDER, G., B. MARKHAM., D. HELDER. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of the Environment**, Vol. 113, p. 893-903, 2009. Disponível em: <https://lcluc.umd.edu/documents/chander-g-markham-bl-helder-dl-%E2%80%9Csummary-current-radiometric-calibration-coefficients>. Acesso em: 15 out. 2019.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7KWLTH>. Acesso em: 15 out. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas. 1970. 375 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

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

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia In: **GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B** (orgs): Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: Debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, v. 22, n. 1, p. 94–102, fev. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378011001804>. Acessado em: 3 de fevereiro de 2020.

CYSNE, A. L. N.; SANTOS, J. H. S. D.; PEREIRA, E. D. A Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento Socioambiental: Caracterização Geomorfológica e Hidrográfica da 54 Sub-bacia do Rio Maracanã. São Luís-MA. **Encontro Nacional dos Geógrafos**, 26 julho 2010. 1-10.

Embrapa. (2005). Embrapa Monitoramento por Satélite. Miranda, E. E. de. (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas, Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 11 jul. 2021

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS).

FALCÃO, K. S.; PANACHUKI, E.; MONTEIRO, F. N.; MENEZES, R. S.; RODRIGUES, D. B.; SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Surface runoff and soil erosion in a natural

regeneration area of the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, 2020. ISSN 2095 6339, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.004>.

FERRAÇO, A. A. G.; MORAES, G. G. B. L. A abordagem científica-instrumental do nexus water-food-energy como método para a construção de uma política ambiental na gestão dos recursos hídricos. **Revista Videre**, [S. l.], v. 10, n. 19, p. 53–68, 2018. DOI: 10.30612/videre.v10i19.7007. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/videre/article/view/7007>. Acesso em: 23 jul. 2022.

FERREIRA, J. L. **Estudo da Relação entre Dimensões do Nexus Água-Energia-Alimento e a Vulnerabilidade no Submédio Rio São Francisco**. 2020. 191 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. **Acta Sci. Biol. Sci.**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008. Disponível em: <https://doaj.org/article/1a43161c4ac542208eee45b53d71533a>. Acessado em: 3 de fevereiro de 2020.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C.; WADA, Y. Measuring global water security towards sustainable development goals. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 12, p. 124015, 1 dez. 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Measuring-global-water-security-towards-sustainable-Gain-Giupponi/4da7d67e085437ae04d6043f37715c4d33554cc9>. Acesso em: 15 out. 2020.

GIATTI, L. L. **O nexo água-energia-alimentos e o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://pp.nexojornal.com.br/bibliografia-basica/2021/07/19/O-nexo-%C3%A1gua-energia-alimentos-e-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 23 jul. 2022.

GONÇALVES, F.C.; MORAES, M.H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v.17, n.3, 2012.

GRANELL-PÉREZ, M. D. C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas**. Ijuí/RS: Editora Unijuí, 2001.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP - GWP. **Towards water security: a framework for action**. Estocolmo, Suécia: GWP, 2000.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUADAGNIN, P.; TRENTIN, R. e ALVES, F. Relação entre as variáveis Geomorfométricas e a Vegetação Florestal na Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá - Oeste do RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume 29 (2015), p. 246 a 261. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282398487_Relacao_entre_as_variaveis_Geomorfo metricas_e_a_Vegetacao_Florestal_na_Bacia_Hidrografica_do_Arroio_Cavera_-_Oeste_do_RS/link/5786a74008aef321de2c6f80/download. Acesso em: 23 jul. 2022.

GUIMARÃES, F. S., CORDEIRO, C. M., BUENO, G. T., CARVALHO, V. L. M., NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista**

Brasileira de Geomorfologia, v. 18, n. 1, 2017. Disponível em:
<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1163/591>. Acesso em: 30 jul. 2021.

GUIMARÃES, M.; DORADO, A. J.; COUTINHO, A. C. Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal. **In: GIS BRASIL**, 2000, Salvador. Anais... CD-ROM.

HESPAÑHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n.63 p. 131-158, 2008.

HOFF, H. **Understanding the Nexus**. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute (SEI). Stockholm. 2011. Disponível em: <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Paper-Hoff-UnderstandingTheNexus-2011.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2022.

HORTON, R. E., Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative geomorphology, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275-370, 1945.

IBGE. **Modelo Digital de Elevação**. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html>. Acesso em: 23 jul. 2022.

_____. Arranjos populacionais e Concentrações Urbanas no Brasil. Disponível em
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2019

INPE. **Teoria: Modelagem Digital de Terreno**. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>. Acesso em: 23 jul. 2022.

JACOBI, P. R. Licenciamento ambiental e ampliação da cidadania: o caso da hidrelétrica de Tijuco Alto. **Organizações & Sociedade**, Salvador, v. 18, n. 57, p. 245-263, 2011.

JENSEN, J. R. **SENSORIAMENTO REMOTO DO AMBIENTE: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2.ed. - traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p.

LAUTZE, J.; MANTHRITHILAKE, H. Water security: Old concepts, new package, what value? **Natural Resources Forum**, V. 36, n. 2, p. 76-87, 2012. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1477-8947.2012.01448.x>. Acesso em: 23 ago. 2022.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/339354117_ANALISE_DO_USO_OCUPACAO_E_COBERTURA_DA_TERRA_NA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RIO_FORMIGA_TOCANTINS_ANALYSIS_OF_THE_USE_OCCUPATION_AND_COVERAGE_OF_THE_LAND_IN_THE_RIVER_BASIN_OF_FORMIGA_RIVER_TOCANTINS_STATE. Acesso em: 23 ago. 2022.

LIU, X.; HE, J.; YAO, Y.; ZHANG, J.; LIANG, H.; WANG, H.; HONG, Y. Classifying urban land use by integrating remote sensing and social media data. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 31, n. 8, p. 1675-1696, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658816.2017.1324976?journalCode=tgis20>. Acesso em: 3 ago. 2021.

LUIZ, G. C. Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso - município de Goiânia-GO. 2012. 246 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

MACEDO M. B.; LAGO, C. A. F.; ROSA, A.; MENDIONDO, E. M. Técnicas Compensatórias de Bioretenção para Cidades Resilientes: Integração com Nexus – Água, Energia, Alimento. **In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320287626_LIDSUDS_Bioretenção_Techniques_for_Resilient_Cities_Integration_of_the_Water-Energy-Food_Nexus_in_Portuguese. Acesso em: 3 ago. 2021.

MACHADO, C. A. S. & QUINTANILHA, J. A. Módulo de Treinamento: Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Geoposicionamento: Uma Aplicação Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Brasil, 2008.

MACHADO, L. de S. M.; SANTOS, C. R. A. dos. Avaliação do Nível de Contaminação da Água em um Sistema Lótico de Cerrado e sua Relação com Alguns Fatores Abióticos. **In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000. Disponível em: <https://1library.org/document/qvldv9pl-avalia%C3%A7%C3%A3o-contamina%C3%A7%C3%A3o-sistema-l%C3%B3tico-cerrado-rela%C3%A7%C3%A3o-fatores-abio%C3%B3ticos.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. de M. C. DO; SOUZA, A. P.M. J. de. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1441.

MACHADO, D. F. T. *et al.* Transferability, accuracy, and uncertainty assessment of different knowledge-based approaches for soil types mapping. **CATENA**, v. 182, p. 1- 12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104134>. Acesso em: 30 nov. 2019.

MARTINI, L. C. P. Características Morfométricas de Microbacias Hidrográficas Rurais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 13, n. 1, 2012. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/343/0>. Acesso em: 30 nov. 2019.

MELTON, M. A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. Columbia University, New York. Borges, 1957.

MENESES, B.M. *et al.* Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — Water quality implications. **Science of The Total Environment**. v. 15, p. 439-447. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.092>. Acesso em: 20 out. 2019.

MENEZES, J. P. C.; FRANCO, C. S.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; FIA, R. Morfometria e Evolução do uso do solo e da Vazão de Máxima em uma Micro Bacia Urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 15, n. 4, 2014. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/597>. Acesso em: 20 out. 2019.

MILLER, J.P. - High mountain streams; effects of geology of channel characteristics and bed material: Memoir - New Mexico. **Bureau of Mines and Mineral Resources**, 53p, 1958, Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/High-Mountain-Streams%3A-Effects-of-Geology-on-and-Thompson/e63edfec1802d0dd067f2d3bb54d1ed0dae1f8e>.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4° ed. Viçosa, UFV, 2011, 422p.

MOURA, D. M. B. **Avaliação ambiental e fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, com vistas ao abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO)**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

MOURA, D. M. B. **Proposta metodológica para avaliação e definição de fontes superficiais de abastecimento público: uma análise comparativa entre duas bacias hidrográficas, visando a segurança hídrica de Iporá (GO)**. 2021. 247 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

MOURA, D. M. B., OLIVEIRA, R. M. D., OLIVEIRA, I. J. D., NASCIMENTO, D. T. F., & Alves, W. D. S., (2018). O uso de Geotecnologias na Análise Morfométrica da Alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, no Município de Iporá-Goiás, Brasil. **GeoFocus. Revista Internacional De Ciencia Y Tecnología De La Información Geográfica**, n.21, p.19–37, 2018. Disponível em: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/493/452>. Acesso em: 25 set. 2021.

NASA. **Earth Observations and the Role of UAVs**. August 2006. Disponível em: https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/175939main_Earth_Obs_UAV_Vol_1_v1.1_Final.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

NASCIMENTO, D. T. F. **Chuvas no Estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica**. 2016. 202 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, 2016.

NASCIMENTO, D. T. F.; LIMA, L. V. V.; CRUZ, V. P. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 57, p. 583-608, 2019.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Bacia do Rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar**. 1998, 176 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1998.

NEVES, G. Z. de F. **Distribuição geográfica das chuvas no estado de Goiás e Distrito Federal: dinâmica e aplicações nos estudos rítmicos**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2018.

NISHI, E.; TEGERINA-GARRO, F. L.; MAIA, T. C. B. Caracterização da cobertura vegetal remanescente e implicações na conservação da biota na bacia do Ribeirão João Leite, Goiás, Região Centro-oeste. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, v. 04, pp. 649-660, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279638984_CHARACTERIZACAO_DA_COBERTURA_VEGETAL_REMANESCENTE_E_IMPLICACOES_NA_CONSERVACAO_DA_BIOTA_NA_BACIA_DO_RIBEIRAO_JOAO_LEITE_GOIAS_REGIAO_CENTRO-OESTE. Acesso em: 5 set. 2021.

NORMAN, E. *et al.* **La SécuritéHydrique**: guide d'introduction. Vancouver: BibliothèquetArchives Canada, 2010. Disponível em: http://watergovernance.ca/wp-content/uploads/2010/05/Water-Security-Primer_FRENCH.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

NUNES, F., RIBEIRO, N. e FIORI, A. Propriedades Morfométricas e Aspectos Físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 2022. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/fandrade/teaching/files/artigo_rio_atuba.pdf. Acesso em: 5 set. 2021.

OELKERS, E. H. *et al.* Water: Is there a global crisis? **Elements**, v. 7, n. 3, p. 157-162, 2011. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/elements/article-abstract/7/3/157/137889/Water-Is-There-a-Global-Crisis>.

OLIVEIRA, W. N. Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da Bacia Hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

PÁDUA, G. de O.; SOUZA, H. A. de. Reservatório da barragem do ribeirão joão leite em goiás: análise, importância e uso. In: **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG** - 24 a 27/11/2014. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VIII-003.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solo sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiental e água**, Taubaté, v.4, n. 2, p. 188-199, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240842414_Capacidade_de_infiltracao_de_agua_em_solos_sob_diferentes_usos_e_praticas_de_manejo_agricola. Acesso em: 22 nov. 2022.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista Do Departamento De Geografia**, n. 17, p. 30-37, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0003>. Acesso em: 2 nov. 2020.

RABELO, C. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, J. V. G.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; GOMES, M. P. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 172-187, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237042241_Influencia_do_uso_do_solo_na_qualidade_da_agua_no_bioma_Cerrado_Um_estudo_comparativo_entre_bacias_hidrograficas_no_Estado_de_Goiás_Brasil/link/5580724308ae47061e5f3140/download. Acesso em: 2 nov. 2020.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Monole, 1990.

RESENDE, P. Ribeirão João Leite tem 23 nascentes que já não podem ser recuperadas. **G1**. Disponível em: <http://g1.globo.com/goias/noticia/2015/02/ribeirao-joao-leite-tem-23-nascentes-que-ja-nao-podem-ser-recuperadas.html>. Acessado em 07 out. 2020.

RODRIGUES C.; FIDÉLIS, T. O Contributo dos Programas de Medidas dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica para a Disseminação de Abordagens Integrativas. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 42, N.º 1, 9-17, março de 2021. Disponível em: https://www.aprh.pt/congressoagua2021/docs/15ca_115.pdf. Acessado em 07 out. 2020.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.68256825

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

SANEAGO, 2012. As obras do Sistema que vai abastecer moradores da Grande Goiânia até o ano de 2040 serão visitadas pelo governador Marconi Perillo nesta sexta-feira. <<http://www.saneago.com.br/site/?id=programas4&tit=programas4>>Acesso em 25 de setembro de 2020.

SANTIAGO, C.M.C.; GOMES, L.C.F.; SALES, M.C.L.; PAULA, J.E.A. Arranjo Espacial da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a Partir da Análise Morfométrica e dos Aspectos Ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física Vol.** 08 N. 02 (2015) 402-421.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>).

SANTOS *et al*, E. H. M. dos. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.8, p.826–834, 2010. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista 172 Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v.14, n.8, p.826–834, 2010.

SANTOS, L. S.; GUTIERREZ, C. B. B.; PONTES, A. N.; SOUZA, A. A. de A.; MARTORAN, L. G.; SILVA JUNIOR, O. M. Geotecnologia aplicada na análise de bacias hidrográficas e rede de drenagem: estudo das bacias hidrográficas do Murucutu e Aurá, Belém, Pará. **Revista SODEBRAS**, v. 11, n. 124, p. 131-135, abr. 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1047887>. Acessado em 25 de setembro de 2020.

SANTOS, G. F. (2006): Geomorfologia. In: AUMOND, J. J. FRANK, B. (org.). Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas. Edifurb. Blumenau.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Nitossolos**. Disponível em:

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_17_2212200611543.html. Acesso em: 15 ago 2022.

SANTOS, R. A. et al. Análise multivariada do uso do solo e elaboração do índice de rugosidade em trechos da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 1012-1022, 2017.

SCHOWENGERDT, R. A. Chapter 9 - Thematic classification, Remote Sensing (Third edition), **Academic Press**, Burlington, 2007, Pages 387-456. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thematic-classification>. Acesso em 2 de setembro de 2021.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

[http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)

SEABRA, V. D. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. D. C.

Mapeamento do uso e Cobertura Do Solo da Bacia do Rio Taperoá: Região Semiárida do Estado Da Paraíba. **Caminhos de Geografia**, [S. l.], v. 15, n. 50, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/318381440_MAPEAMENTO_DO_USO_E_COBERTURA_DO_SOLO_DA_BACIA_DO_RIO_TAPEROA_REGIAO_SEMIARIDA_DO_ESTADO_DA_PARAIBA. Acesso em 25 de setembro de 2021.

SEABRA, V. da S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ / Mapping the Dynamics of Land cover and Land Use in the watershed of São João River, RJ. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 25, n. 2, 2013.

<https://www.scielo.br/j/sn/a/Lf5zmjytjz6zRNHBSsx3sYj/>. Disponível em: Acesso em 2 de setembro de 2021.

SECOM-UFG. Ambiente em risco na região. **O popular**. 2014. Disponível em

<https://secom.ufg.br/n/76621-ambiente-em-risco-na-regiao>. Acesso em 18 nov. 2022.

SEMAD, 2015. **Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco – PEAMP**. Disponível em:

<http://www.meioambiente.go.gov.br/component/content/article/118-meio-ambiente/unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o/1110-parque-estadual-altamiro-de-moura-pacheco-peamp.html?Itemid=101>. Acesso em 08 out. 2022.

SEMARH, Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Relatório Final - Inventário Faunístico - Parque Altamiro de Moura Pacheco e Parque dos Ipês**. 2009. Disponível em:

<http://www.semarh.goias.gov.br/PEAMP/>. Acesso em 03 jan. 2022

SILVA, J. C. et al. Caracterização da vegetação savânica em áreas de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga no estado do Piauí - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física, Recife**, v. 11, n. 6, p. 2093-2103, 2018.

SILVA, L. G. T.; SILVA, B. N. R. da; RODRIGUES, T. E. **Análise fisiográfica das várzeas do baixo Tocantins: uma contribuição ao manejo e desenvolvimento dos sistemas de uso da terra**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2002.

SILVA, M. K. A.; ROSA, R. Uso da terra e cobertura vegetal natural nas bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE.

SILVA, P. R.; VIANNA, J. N. S. A Região de MATOPIBA (Brasil) e o Nexus Água-Energia-Alimentos. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 59, p. 338-353, jan./jun. 2022. Acesso em: 19 jul. 2022.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. de. Análise Morfométrica e Priorização de Bacias Hidrográficas como Instrumento de Planejamento Ambiental Integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 31, p. 82-100, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/107715>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SOARES, V. P.; MOREIRA, A. de A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; GLERIANI, J. M.; JUNIOR, J. G. Mapeamento de áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos legais de uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu - MG. **Revista Arvore**, 35(3), 555. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-67622011000300018>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SOARES, M. R. G. de J. e SOUZA, J. L. M. de. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Revista Geografia** (Londrina), v. 21, n. 1, p. 019-036, jan./abr. 2012.

SOUZA, F. F. de; SILVA, T. S. da. Análise da suscetibilidade de erosão linear em bacias hidrográficas utilizando o índice de rugosidade do terreno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1136-1148, 2018.

SONE, J. S.; SANCHES DE OLIVEIRA, P. T.; PEREIRA ZAMBONI, P. A.; MOTTA VIEIRA, N. O.; ALTRÃO CARVALHO, G.; MOTTA MACEDO, M. C.; ALVES SOBRINHO, T. Effects of long-term crop-livestock-forestry systems on soil erosion and water infiltration in a Brazilian Cerrado site. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5339, 2019.

SOTCHAVA, V. O estudo do Geossistema: método em questão. **São Paulo: IGEO-USP**, 1977.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator, Fortaleza**, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm.v11i25.699>. Acesso em: 15 mar.2022.

SOUSA, S. B. **Conflitos de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão João Leite (GO)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2013.

SOUSA, S. B. **Dinâmica territorial e padrões espaciais da pecuária brasileira**. 2017. 182 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SOUZA J.R., W. C.; FIDELMAN, P. J. A tecnopolítica da água no Brasil. **In: RIBEIRO, W. C. (Org.). Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar**. São Paulo: Annablume/Fapesp/CNPq, 2009. p. 195-211.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

STRAHLER, A.N. - Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/63/11/1117/4477/HYPOMETRIC-AREA-ALTITUDE-ANALYSIS-OF-EROSIONAL>. Acesso em: 15 mar.2021.

STUDART. T, CAMPOS, N. **Hidrologia Aplicada**. 2006

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos. São Paulo. 557 p, 2009.

TONELLO, K.C. *et al.* Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TORRES, C. J. F. **Bases metodológicas para a inserção do conceito nexus água – energia - agricultura em modelos intersetoriais de planejamento e gestão**. 2020. 289f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2020.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. **Livro água doce**, p. 1-40, 1997.

TUCCI, C.; CLARKE, R. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. (1997) 2.10.21168/rbrh.v2n1.p135-152.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento da drenagem urbana. In: RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre,RS Vol. 7, n. 1(2002 jan./mar.), p. 5-27. 2002

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**, 2005. Disponível em: http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/gruposdetrabalho/residuos/docs_resid_solidos/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf>

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

TUNDISI, J. G. Novas Perspectivas para a Gestão de Recursos Hídricos. **Revista USP**, São Paulo, v. 70, p. 24-35, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13529>. Acesso em 18 nov. 2022.

TUNDISI, J.G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Avanços conceituais e metodológicos. **Ciência e Ambiente**, n. 21, p. 9-20, 2001.

TURETTA, A. P. D. **Mudanças de uso da terra em bacias hidrográficas**. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 18 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 139)

UNESCO. **Water for a Sustainable World**. Paris, 2015.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Human Development Report 2006**. Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis. Nova Iorque: UNDP, 2006.

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

VON BRAUN, J.; MIRZABAEV, A. Nexus Scientific Research: Theory and approach serving sustainable development. In: **DODDS, F.; BARTRAM, J. The Water, Food, Energy and Climate Nexus: Challenge and an agenda for action**. London, New York: Routledge, 2016. p. 58-71.

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

WANG, L. & H. LIU (2006): Um método eficiente para identificar e preencher depressões superficiais em modelos digitais de elevação para análise e modelagem hidrológica. **Revista Internacional de Ciência da Informação Geográfica**, Vol. 20, n. 2, p.193-213, 2016.

Disponível em:

[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkpozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1659591](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkpozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1659591). Acessado em: outubro de 2021.

WORLD WATER COUNCIL - WWC. **Ministerial declaration of the Hague on water security in the 21st century**. Marselha: WWC, 2000. Disponível em: <https://www.ielrc.org/content/e0012.pdf>. Acessado em: outubro de 2021.

WWF. The 2nd World Water Forum. Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century. **The Hague**, Netherlands, 22 de março de 2000. Disponível em: <http://www.worldwatercouncil.org/forum/the-hague-2000>. Acesso em: outubro de 2021.