

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SANTA MARIA (DF/GO) A PARTIR DE DADOS MONITORADOS E DO ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO

LEON MORTARI

ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA, FEVEREIRO DE 2023

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SANTA MARIA (DF/GO) A PARTIR DE DADOS MONITORADOS E DO ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO

LEON MORTARI

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

_____

PROF. RICARDO TEZINI MINOTI, Dr. (ENC/FT/UNB)
(ORIENTADOR)

_____

PROF. WAGNER SANTOS DE ALMEIRA (ENC/FT/UNB)
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

ENGA. AMBIENTAL ALICE ROCHA PEREIRA (PTARH/FT/UNB)
(EXAMINADORA EXTERNA)

DATA: BRASÍLIA/DF, 24 DE FEVEREIRO DE 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

MORTARI, LEON.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SANTA MARIA (DF/GO) A PARTIR DE DADOS MONITORADOS E DO ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO

xi, 78 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2023)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MORTARI, L. (2023). Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Santa Maria (DF/GO) a partir de dados monitorados e do atendimento ao Enquadramento. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 78 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: LEON MORTARI
TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Santa Maria (DF/GO) a partir de dados monitorados e do atendimento ao Enquadramento.
GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2023

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

_____

Leon Mortari
leonmortari@gmail.com

AGRADECIMENTOS

A conquista de finalizar essa fase é uma vitória coletiva de diversas pessoas que passaram pela minha vida e de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui. Primeiramente, é preciso agradecer aos meus pais, que me deram todo o suporte possível para que eu pudesse ingressar e me manter na UnB. À minha mãe, que me motivou sempre a ir atrás dos meus sonhos e fazer o que me fazia feliz, sempre me incentivando a dar o meu melhor e me desenvolver cada vez mais. Como sempre, me impulsionou, me orientou e me acolheu em cada escolha que eu fiz ao longo dessa jornada. Sou muito grato pela atenção e preocupação que ela depositou sobre mim. Agradeço também ao meu pai, que fez o possível e o impossível para que nada me faltasse, que me deu todos os recursos que precisei para que tivesse o melhor desempenho em tudo que fazia. Obrigado por estar sempre presente e querer o meu melhor.

Agradeço também aos meus amigos, que me acompanham desde antes de eu sonhar cursar engenharia e me viram crescer ao longo desses anos, me acompanhando em tudo, nos momentos bons e ruins, na dificuldades e levezas. Vivi e cresci muito com o Bagaceira. Obrigado pelas festas, pelas tardes de estudo, pelos desabafos e colos, amor e brigas, pela simples companhia de estar. Sou grato por todas as histórias, e são muitas, que vivemos juntos e como sempre fizeram questão de fazer parte ativa da minha vida e dessa trajetória que agora se encerra de forma brilhante por conta de vocês. Obrigado Ágatha, Bruna, Clara, Duda, Isadora, Lissa, Nana, Ohashi, Pt, Pejô, Vieira e Romeu. Sempre serão para sempre.

Sou grato pelos amigos que fiz na faculdade e que ajudaram e me apoiaram durante toda a minha graduação. Foram muitos desafios e obstáculos nesses anos, mas todos são pequenos diante essas amizades. Obrigado Leo, Anna e Priscilão, pelo crescimento pessoal e profissional que cultivamos uns aos outros, além de todo o suporte em sala de aula e fora dela. Obrigado Ester, Washington, Batavo, Bruno, Pedro por toda a base que me deram diante as adversidades.

Alguns laços que fiz nesse tempo sei que durarão muito além da faculdade e sei que realmente serão para sempre. Obrigado pela irmandade, pelas reflexões, discussões e

conversas engrandecedoras. Agradeço à Thati, Renata, Juliana, Isadora, Pato, Felipe, Pasqua, Julia e Priscilão. Por me darem além de um lugar de conforto e amor, me darem muito apoio e me instigarem a sempre me desenvolver mais. Pessoas que me induzem a sonhar cada vez mais alto e sempre com ótimas risadas e conversas boas.

Agradeço ao Fausto, meu companheiro a época, que confiou e torceu por mim quando eu mesmo achei que não daria conta de seguir em frente. Finalizar esse ciclo envolve muitos pensamentos, confusões e ansiedades, e Fausto me deu forças e motivações, conforto, amor e carinho, para que eu pudesse finalizar dar melhor forma possível. Obrigado pelos puxões de orelha e companhia, pela confiança e admiração, pelo exemplo e coragem, pelos sonhos e conversas que compartilhamos. Obrigado também por acreditar, por ajudar a me enxergar e por segurar a minha mão. Te amo.

Por fim, agradeço à todos os professores da UnB, por me darem a oportunidade de me desenvolver dessa maneira engrandecedora. Em especial aos professores do departamento, principalmente Yovanka, Ariuska e Ricardo, que me deram a honra de serem meus orientadores em diferentes pesquisas. Ao Professor Ricardo, por trazer tranquilidade e orientação frente às dificuldades desse projeto final. Obrigado pelo apoio e confiança para realizar esse trabalho. Agradeço ainda à Juliana da Adasa, por disponibilizar os dados necessários para a conclusão desse estudo.

RESUMO

As bacias hidrográficas são a unidade de planejamento e gestão das águas, através das quais os parâmetros são avaliados e as políticas públicas são implementadas no que tange aos recursos hídricos. Como forma de auxiliar a tomada de decisão sobre as regiões das bacias, estudos e pesquisas visam o levantamento de dados, através de diversas ferramentas, incluindo o geoprocessamento e a análise dos dados monitorados disponíveis, para a caracterização e compreensão da dinâmica natural e visualização de possíveis impactos que a ação humana possa vir a gerar nesse ambiente. O presente trabalho se propôs a avaliar a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO) e caracterizar fisicamente e morfometricamente todo o território dessa unidade hidrográfica, avaliando as alterações no uso e na cobertura do solo ao longo dos últimos 40 anos e seus possíveis efeitos. A Bacia Hidrográfica foi escolhida como objeto de análise deste trabalho por conta da carência de estudos que contribuam para o aprimoramento do conhecimento com vistas a toda a sua área de abrangência. Os resultados do trabalho indicaram que a Bacia Hidrográfica não apresenta grandes riscos de inundações ou picos de cheia e não dispõe de grande capacidade para a geração de novos cursos d'água. Os dados monitorados revelam o atendimento ao enquadramento previsto para o trecho inserido dentro do DF, porém não se tem informação suficiente para avaliar o trecho goiano. O processo de classificação do uso e cobertura do solo nos anos proposto apresentou erros associados à mistura das classes de ocupação, o que impactou na avaliação dos resultados obtidos

Palavras-chave: Ribeirão Santa Maria (DF/GO); Geoprocessamento; Uso e Ocupação do Solo, Análise da Água, Avaliação espaço-temporal.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 2
2. OBJETIVO 4
2.1. Objetivo geral 4
2.2. Objetivos específicos 4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
3.1. Panorama das Águas no Brasil 5
3.2. Planejamento e gestão de recursos hídricos 6
3.2.1. Enquadramento de corpos d'água em classes de qualidade 9
3.3. Bacias hidrográficas 14
3.3.1. Avaliação espacial e temporal do uso do solo em Bacias Hidrográficas 16
3.3.2. Mapas temáticos 18
3.4. A Bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Maria 18
4. MATERIAIS E MÉTODOS 22
4.1. Materiais 22
4.1.2. Banco de dados 22
4.2. Metodologia 22
4.2.1 Caracterização da área de estudo 24
4.2.3. Análise espaço-temporal do uso do solo 29
4.2.4. Análise do Enquadramento do Ribeirão Santa Maria 30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 31
5.1. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria 31
5.1.1. Localização 31
5.1.2. Clima 31
5.1.3. Parâmetros morfométricos da bacia 34
5.1.4. Relevo 35
5.1.5. Pedologia e Geologia 38
5.1.6. Hidrografia 38
5.1.7. A comunidade da BHSM 42
5.2. Avaliação espaço-temporal do uso e ocupação da BHSM 47
5.3. Análise de Vazões e Qualidade da Água do Ribeirão Santa Maria 51

5.3.1. Vazão 52
5.3.2. Turbidez 53
5.3.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio 53
5.3.4. Oxigênio Dissolvido 54
5.3.5. Fósforo Total 55
5.3.6. Sólidos Totais 56
5.3.7. Nitrogênio Total 57
5.3.8. pH 58
5.3.9. IQA do Ribeirão Santa Maria 58
5.4. Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) 59
6. CONCLUSÃO 61
7. RECOMENDAÇÕES 63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

Lista de tabelas

Tabela 1 - Banco de dados..... 23

Tabela 2 - Definição dos parâmetros morfométricos. 28

Tabela 3 - Parâmetros morfométricos da da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 34

Lista de figuras

Figura 1 - Matriz Institucional dos Integrantes do SINGREH. 7
Figura 2 - Instrumentos da PNRH. 8
Figura 3 - Classificação dos corpos hídricos de acordo com seus usos. 10
Figura 4 - Requisitos de qualidade de água em função das classes de enquadramento. 11
Figura 5 - Fluxograma para o Enquadramento. 12
Figura 6 - Esquema de uma bacia hidrográfica. 14
Figura 7 - Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais. 19
Figura 8 - Mapa de situação da BHSM. 21
Figura 9 - Metodologia proposta. 24
Figura 10 - Chave para a classificação climática de Köppen 31
Figura 11 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 32
Figura 12 - Mapa de Classificação Climática da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 33
Figura 13 - Curva Hipsométrica e Frequência de Altitude da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 35
Figura 14 - Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 36
Figura 15 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 37
Figura 16 - Mapa de Pedologia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 39
Figura 17 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 40
Figura 18 - Mapa Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 41
Figura 19 - Mapa de Malha Urbana da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 43
Figura 20 - Mapa de Densidade Populacional da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 44
Figura 21 - Mapa de Renda Mensal da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 45
Figura 22 - Predominância de Esgotamento Sanitário da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 46

Figura 23 – Evolução do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO). 47

Figura 24 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 1976. 48

Figura 25 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 1999. 49

Figura 26 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 2021. 50

Figura 27 – Valores de Vazão – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 52

Figura 28 – Valores de Turbidez – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 53

Figura 29 – Valores de DBO – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 54

Figura 30 – Valores de Oxigênio Dissolvido – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 55

Figura 31 – Valores de Fósforo Total – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 56

Figura 32 – Valores de Sólidos Totais – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 56

Figura 33 - Valores de Nitrogênio Total – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa). 57

Figura 34 - Valores de pH – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).. 58

Figura 35 – Classificação do IQA (ADASA). 59

Figura 36 – Condição do IQA da Estação de Monitoramento do Ribeirão Santa Maria. 59

Figura 37 – Classificação do ICE (ADASA). 59

Figura 38 – Relação do ICE referente à Estação de Monitoramento do Ribeirão Santa Maria. 60

Lista de Abreviações, Nomenclatura e Símbolos

ADASA Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal

ANA Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BHSM Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria

CONAMA Conselho Nacional de Meio Ambiente

CNRH Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRH – DF Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal

DF Distrito Federal

ETE Estação de Tratamento de Esgotos

GO Goiás

GPS *Global Positioning System*

MDE Modelo Digital de Elevação

NASA *National Space and Space Administration*

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

PSO *Particle Swarm Optimization*

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SINGREH Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

URH Unidade de Resposta Hidrológica

USGS *United States Geological Surve*

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à vida e fundamental para o desenvolvimento econômico e bem-estar social. Os recursos hídricos são renováveis, porém, finitos e dotados de valor econômico. Ao passo que se observa um aumento no consumo da água em âmbito global, seja por aumento populacional ou desenvolvimento de atividades humanas, tem-se também registros de escassez e crises hídricas, seja por quantidade ou qualidade. Logo, a preservação e manutenção desse bem é de extrema importância e foco de estudos e políticas públicas.

A Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997 estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que visa a disponibilidade hídrica às gerações atuais e futuras, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e utilização racional e integrada dos recursos hídricos. Institui instrumentos que objetivam definir o diagnóstico, usos e planejamentos futuros dos corpos hídricos e determina a bacia hidrográfica como a unidade territorial para gestão.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003, define o conceito de bacia hidrográfica como *"o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares"*. A organização e divisão territorial de unidades hidrográficas é de suma importância para o gerenciamento de recursos hídricos e orientação, fundamentação e implementação de políticas públicas quanto ao uso das águas.

O Distrito Federal (DF) conta com 40 unidades hidrográficas e, como o limite territorial das bacias não acompanha a divisão territorial política, algumas dessas unidades são classificadas como transfronteiriças, contemplando, também, áreas situadas nos municípios do Estado do Goiás. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (BHSM) é um exemplo de bacia transfronteiriça e é objeto de estudo no presente trabalho (PGIRH – DF).

O ribeirão Santa Maria nasce no DF e se estende pelos municípios goianos de Novo Gama, Valparaíso de Goiás e Luziânia. Em seu percurso, recebe o lançamento de esgotos tratados (entradas pontuais) e esgotos sem coleta e sem tratamento, de maneira difusa. Há

também contribuições de cargas difusas de outras naturezas, uma vez que a região vivencia uma expansão em relação à ocupação urbana e ao desenvolvimento de atividades como agricultura, silvicultura e pastagem. Por fim, o Ribeirão deságua no ribeirão Palmital, que por sua vez deságua no rio Corumbá, a montante da barragem do Reservatório de Corumbá III, que é operado como usina hidrelétrica.

Na área mais a montante da bacia hidrográfica, existe uma estação de monitoramento de vazão e de qualidade de água operada pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (Adasa), com monitoramento trimestral. A Adasa monitora todos os cursos d'água transfronteiriços que ingressam ou saem do DF. Parte desses corpos hídricos estão situados ao sul do DF e as áreas a jusante das bacias estão situadas no estado de Goiás, assim como ocorre com o ribeirão Santa Maria. Porém, a partir da fronteira com o Goiás, esse curso d'água não possui acompanhamento, deixando a comunidade da Bacia Hidrográfica sem dados e informações sobre a parte goiana do curso d'água, mesmo apresentando usos variados, como balneabilidade e irrigação de hortaliças.

Ante o exposto, o estudo apresentado tem base exploratória relacionada à caracterização da BHSM e à avaliação da qualidade da água, a partir dos dados monitorados pela Adasa, das águas que saem do Distrito Federal e adentram o estado de Goiás.

O presente documento, Projeto Final em Engenharia Ambiental, é composto por seis capítulos. O primeiro se refere à introdução, o segundo aos objetivos geral e específicos, seguido pela fundamentação teórica e a revisão bibliográfica. Os materiais e métodos são abordados no quarto capítulo, os resultados e a discussão estão dispostos no quinto capítulo, e, por fim, no sexto capítulo encontram-se as conclusões e recomendações.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Caracterizar fisicamente e morfometricamente a Bacia Hidrográfica Ribeirão Santa Maria (DF/GO) e avaliar a qualidade da água a partir de dados monitorados.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar a análise a evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria a partir de imagens de satélite;
- Construir um banco de dados para a devida caracterização da bacia e do ribeirão Santa Maria;
- Analisar a evolução da qualidade da água e a perspectiva de atendimento ao enquadramento no trecho monitorado do Ribeirão Santa Maria.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentados conceitos relacionados à gestão de recursos hídricos no Brasil, além da identificação de ferramentas que auxiliam o processo de tomada de decisão quanto ao referente ofício. Os conteúdos apresentados seguem uma sequência lógica de conteúdos relacionados ao trabalho realizado.

A construção da fundamentação teórica do estudo foi realizada a partir de consultas a fontes bibliográficas com temas de busca associados à área de avaliação e controle da poluição de água em bacias hidrográficas, indicadores de qualidade de água, enquadramento de corpos d'água em classes. As obras e artigos consultados abrangem um período compreendido entre 1993 e 2022. Uma vez concluída a busca, realizou-se uma seleção das bibliografias mais relevantes ao tema da pesquisa, as quais serviram de base para conceituar os tópicos discutidos a seguir.

3.1. Panorama das Águas no Brasil

A heterogeneidade da distribuição de água doce superficial e subterrânea em território brasileiro, somada às diferenças biogeofísicas, econômicas e sociais do País, promove volumes *per capita* bastante variados a depender da região Em muitas áreas, a disponibilidade hídrica e a sua demanda não são compatíveis, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, dificultando a perspectiva de usos múltiplos das águas, algo comum nos corpos hídricos localizados próximos a centros urbanos (Tundisi, 2020).

A situação apresentada em muitas realidades contraria o que é preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal N° 9.433/1997) que apresenta, em seus fundamentos, a necessidade de a gestão de recursos hídricos proporcionar o uso múltiplo das águas.

Alguns dos usos da água são o abastecimento público em áreas urbanas e rurais; irrigação (utilizando-se de águas superficiais e subterrâneas); usos industriais (resfriamento de água, abastecimento, diluição, limpeza); navegação para transporte em larga escala (hidrovias); turismo, recreação e paisagismo; produção de energia; mineração; pesca e piscicultura; agricultura (Tundisi, 2020).

Quanto maior a diversificação dos usos da água, maior a possibilidade de conflitos entre eles, pois uma determinada demanda requer uma qualidade específica e produz uma perturbação, direta ou indireta e variante em grau, relativa ao uso, o que pode comprometer os demais empregos da água.

Dessa forma, o planejamento e a gestão de recursos hídricos devem ser baseados em dados e informações de qualidade a fim assegurar disponibilidade hídrica em volume e virtude para múltiplos usos, da forma mais estratégica possível e com menor custo.

3.2. Planejamento e gestão de recursos hídricos

O Relatório Pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017) define a gestão de recursos hídricos como um conjunto de ações de planejamento, monitoramento, alocação de recursos, implementação e fiscalização dos instrumentos legais existentes para a coordenação eficiente e sustentável do uso das águas no País e é fundamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual é composta por seis fundamentos:

- A água é um bem público;
- A água é um recurso natural finito e tem valor econômico;
- Em caso de escassez, o abastecimento humano e a dessedentação animal são usos prioritários;
- O gerenciamento deve contemplar usos múltiplos;
- A bacia hidrográfica é a unidade de gestão de recursos hídricos;
- A gestão de recursos hídricos deve ocorrer de forma descentralizada, baseada em abordagens participativas que envolvam o governo, os usuários e os cidadãos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) é o conjunto de órgãos e colegiados que implementam a PNRH e têm por finalidade gerenciar os recursos financeiros, jurídicos e de ordem pública quanto aos recursos hídricos. O SINGREH conta com instituições de naturezas deliberativas, como Conselhos de Recursos Hídricos Nacional e Estaduais e Comitês de Bacias, e operacionais, como

Órgãos Gestores e Agências de Água. A matriz de instituições que compõe o SINGREH pode ser vista na Figura 1.

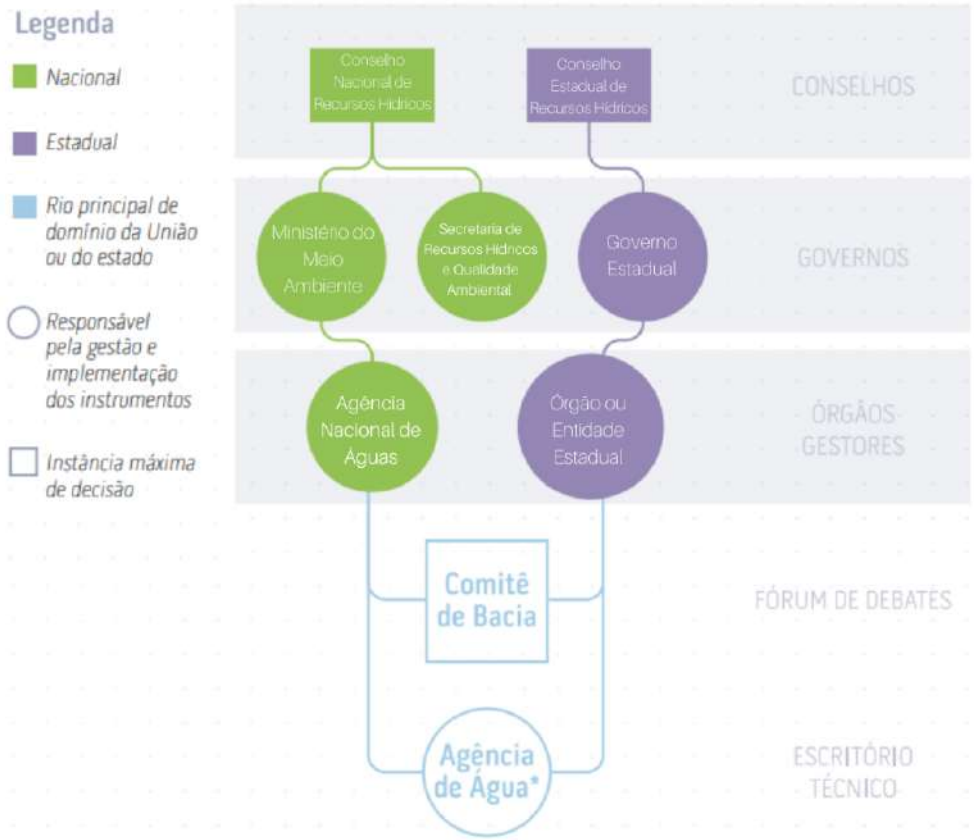


Figura 1 - Matriz Institucional dos Integrantes do SINGREH.

Fonte: ANA, 2017.

O alinhamento entre as entidades de nível nacional e estadual que compõe o SINGREH é fundamental para a organização da gestão integrada de recursos hídricos, que por sua vez é assegurada por instrumentos definidos pela PNRH, por meio de ações de planejamento, regulação, fiscalização e divulgação de informações, como apresentado na Figura 2.

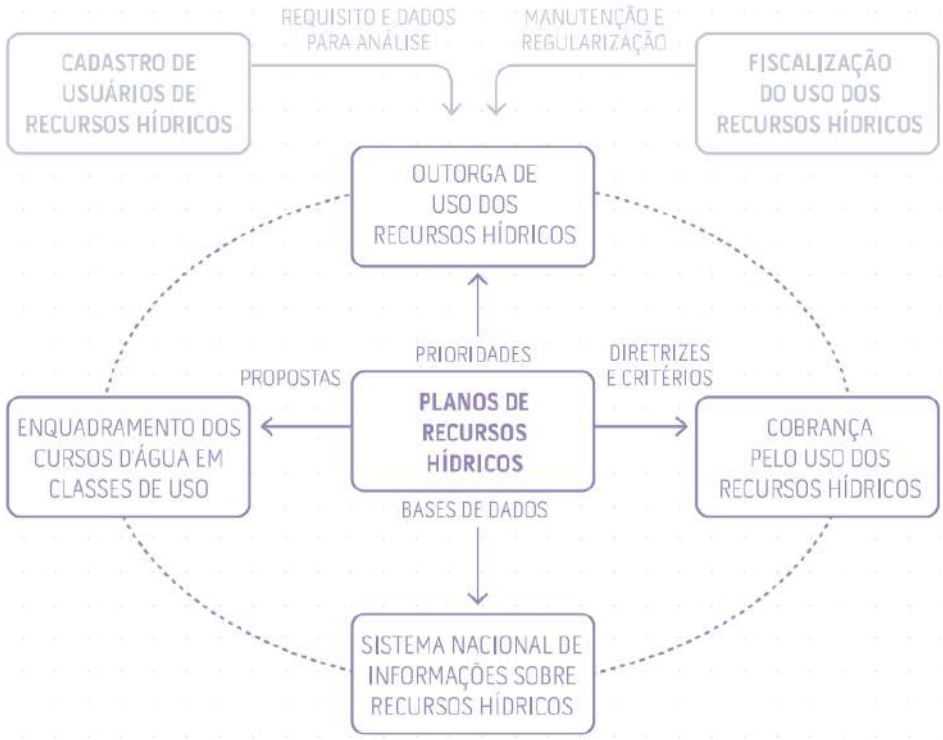


Figura 2 - Instrumentos da PNRH.

Fonte: ANA, 2017.

A ANA reconhece uma inter-relação entre os cinco instrumentos de gestão da PNRH e identifica o cadastramento de usuários e a fiscalização do uso dos recursos hídricos como ações de gestão que subsidiam uma eficiente aplicação dos instrumentos de gestão. Os instrumentos são definidos de acordo com ANA (2017) a seguir.

- **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH):** é o banco de dados que consolida dados e informações acerca das águas do país e estabelece diretrizes nos processos de coleta, organização e transmissão desses elementos. Comporta informações como nível de reservatórios, vazão dos rios e qualidade das águas e sobre os usuários das águas e seus usos, permitindo o conhecimento da quantidade e da qualidade da água disponível. Informações imprescindíveis para uma tomada de decisão e gestão eficiente das águas.

- **Planos de Recursos Hídricos (PRH):** documento-guia composto por um diagnóstico da quantidade, qualidade e gestão dos recursos hídricos em seu recorte

territorial de abrangência (podendo ser nacional, estadual e bacia hidrográfica), além da previsão da situação dos recursos hídricos a partir de simulações de usos considerando diferentes cenários socioeconômicos, climáticos ou de qualquer outra natureza. Na etapa de prognóstico definem-se ações, programas e projetos a serem realizados em um período de vigência específico, bem como identificadas obras e investimentos prioritários a partir de uma visão integrada dos diversos usos da água. Os planos são construídos em colaboração com a sociedade civil, órgãos governamentais, usuários e diversas instituições.

- **Enquadramento:** consiste na classificação dos corpos hídricos em classes de qualidade de acordo com os usos preponderantes e tem por objetivo assegurar a compatibilidade da qualidade da água com o uso mais exigente e diminuir custos de combate à poluição hídrica, diante ações preventivas permanentes.

- **Outorga:** consiste na autorização, através de solicitação do usuário, do uso da água para um determinado fim a uma determinada vazão ou qualidade, sendo concedida pelos órgãos gestores estaduais, se a captação for em corpo d'água de domínio estadual, ou pela ANA, se em corpo d'água federal.

- **Cobrança pelo uso de recursos hídricos:** visa reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando a racionalização do uso e obtendo recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Todo usuário sujeito à outorga pode ser submetido à cobrança.

3.2.1. Enquadramento de corpos d'água em classes de qualidade

O Enquadramento de corpos hídricos é um dos instrumentos da PNRH e visa a classificação dos usos da água afim de garantir que a sua qualidade seja compatível com a sua demanda (CBH Paranaíba, 2022). O Enquadramento consiste em uma proposta para um horizonte futuro, uma vez que expressa metas finais a serem alcançadas.

A classificação é feita desde seu uso mais nobre, como para abastecimento de consumo humano, até níveis menos nobres, como a navegação, e permite maior controle de poluentes e avaliação da qualidade dos corpos d'água. A relação entre os usos da água e classificação dos corpos hídricos pode ser vista nas Figura 3 e Figura *4*.

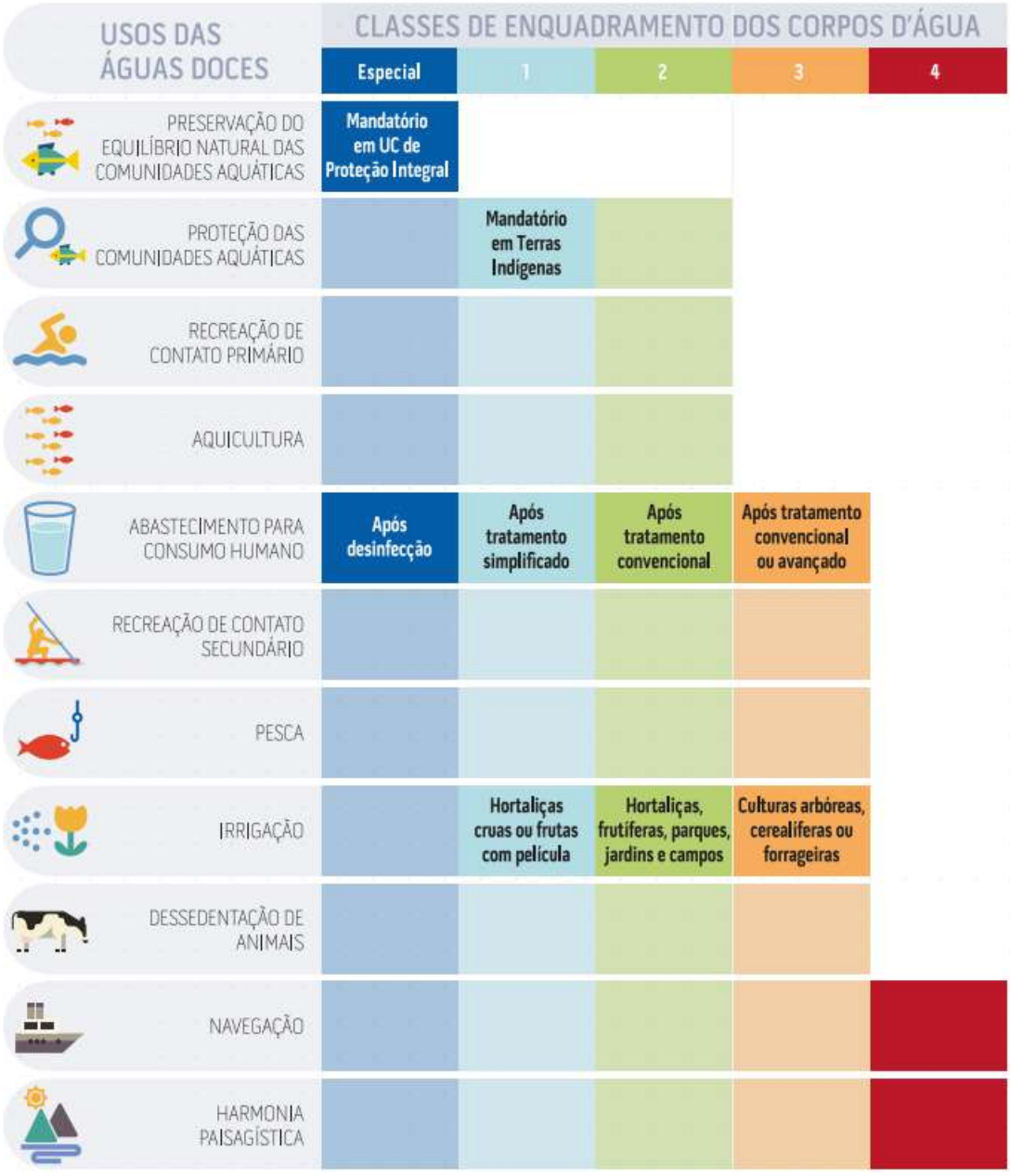


Figura 3 - Classificação dos corpos hídricos de acordo com seus usos.

Fonte: ANA, 2017.



Figura 4 - Requisitos de qualidade de água em função das classes de enquadramento.

Fonte: ANA, 2020.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) estabelece diversas diretrizes para o processo de Enquadramento. A primeira etapa consiste no diagnóstico da bacia hidrográfica na qual está inserida o corpo hídrico e requer maior número de informações disponíveis sobre a situação atual da bacia, do uso e ocupação do solo e do uso dos recursos hídricos, informações que por vezes não são conhecidas diante a falta de monitoramento de corpos hídricos (ANA, 2020).

Estabelecer uma proposta de Enquadramento para um corpo hídrico requer, além da avaliação da condição atual do rio, uma consulta pública à população da região da bacia quanto a qualidade da água esperada para o uso desejado da população e acordo entre as entidades que atuam na bacia, considerando limitações técnicas, sociais e econômicas para seu alcance (ANA, 2020). O fluxograma do processo de Enquadramento é apresentado na Figura 5.

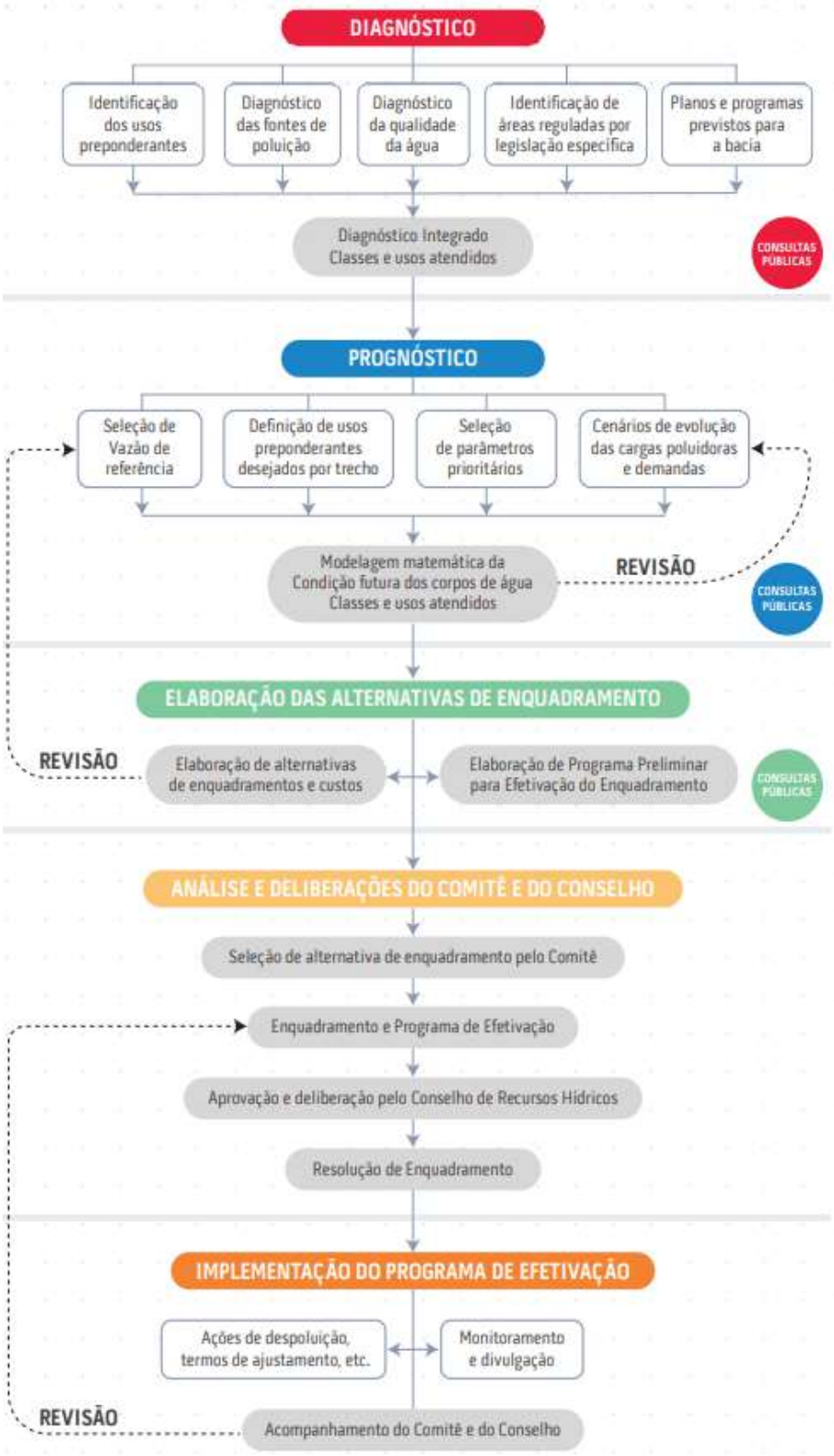


Figura 5 - Fluxograma para o Enquadramento.

Fonte: ANA, 2020

A Resolução do CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, estabelece padrões aos parâmetros de qualidade da água para cada classe das águas. O documento ainda estabelece que, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces (como é o caso do Ribeirão Santa Maria, que apresenta salinidade inferior a 0,5 ‰) serão consideradas classe 2. A Resolução define que as águas doces classe 2 podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- à aquicultura e à atividade de pesca.

Nessa mesma Resolução, o CONAMA define a aplicação às águas doces classe 2 as condições e padrões apresentados a seguir:

I - Não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - Coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n° 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A E. coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT; V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O2; VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O2;

VII - clorofila a: até 30 ìg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm3/L; e,

IX - fósforo total:

a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,

b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

3.3. Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é a unidade territorial definida pela PNRH como a área de aplicação dos instrumentos de gestão e da atuação dos comitês de bacias hidrográficas e agências de água e que transpassa limites políticos estaduais, federais e nacionais. Parâmetros hidrológicos, ambientais, socioeconômicos, políticos e institucionais pode ser critérios para delimitação de bacias (ANA, 2017).

A literatura apresenta variados conceitos de bacia hidrográfica de forma complementar e integrada. Santana (2003) qualifica o termo como *"uma área geográfica natural, delimitada pelos pontos mais altos do relevo (espigões, divisores de água), dentro dos quais a água proveniente das chuvas é drenada superficialmente por um curso d'água principal até sua saída da bacia, no local mais baixo do relevo, que corresponde à foz desse curso d'água"*. Tucci (2006) salienta que para cada seção de um rio, existirá uma bacia hidrográfica. A Figura 6 apresenta de forma esquemática o conceito de bacia.

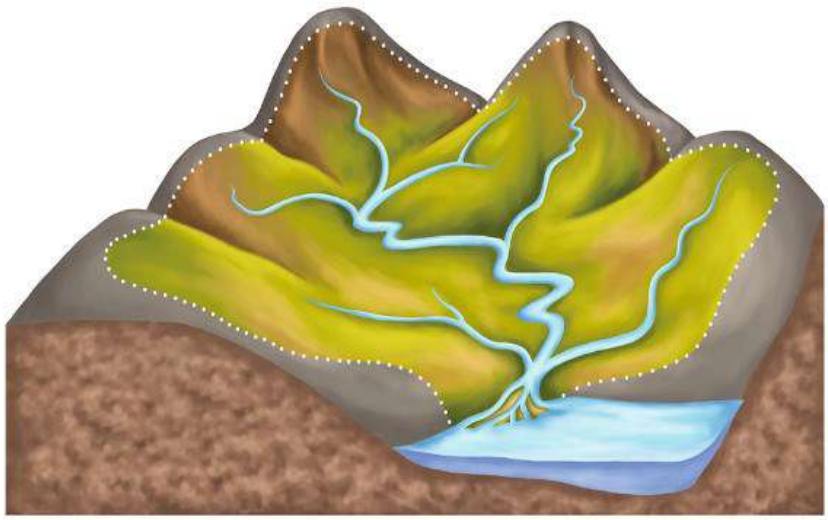


Figura 6 - Esquema de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Brasil Escola (2022).

Collischonn (2015) argumenta que diversos fatores podem influenciar na dinâmica do sistema de uma bacia hidrográfica, como o clima, solos, rochas do subsolo, uso e ocupação do solo e características morfométricas (associadas ao relevo da região, área de drenagem, comprimento do curso d'água principal e declividade).

Uma bacia hidrográfica possui fronteiras delimitadas e pode se apresentar em variadas escalas espaciais, desde de pequenas bacias 100 a 200 km² até grandes bacias, como a do bacia do Prata (3 milhões de km²). A bacia hidrográfica é cenário para diversos processos naturais, configurando-se assim como um sistema ambiental (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2020)

As bacias hidrográficas possuem parâmetros de análise que permitem a configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial, chamados de parâmetros morfométricos (Christofoletti, 1999). Essa análise se inicia com Horton, em 1954, com o objetivo de entender a configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem (Cherem, 2008).

Cherem (2008) explica que a análise morfométrica conta com atributos físicos e as correlações feitas entre eles e o relevo da bacia permite a caracterização de parâmetros morfométricos. O autor define os atributos como sendo: área da bacia; perímetro da bacia; comprimento da bacia; comprimento dos canais fluviais; comprimento vetorial (comprimento do vale) dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade da bacia (mínima, média e máxima); declividade dos canais; e altimetria (mínima, média e máxima). Já os parâmetros são classificados de 3 formas:

- **Lineares:** abordam unicamente os atributos da rede de drenagem;
- **Zonais:** tratam dos atributos da rede de drenagem e das áreas não hidrográficas do relevo (encostas e topos);
- **Hipsométricos:** tratam do relevo, além de correlacioná-lo à rede de drenagem e à bacia hidrográfica.

De acordo com Christofoletti (1969), as atividades antrópicas provocam alterações nos sistemas de bacias, as quais são refletidas pelas características morfométricas dos padrões de drenagem através de algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio.

Lima (2022) aborda a importância da análise morfométrica relacionadas à predição de enchentes e/ou inundações no Brasil, por se tratar de um país de clima tropical, com chuvas intensas relacionadas à interações de sistemas atmosféricos, além de estruturas de relevo que influenciam e favorecem esses eventos que são agravados pela ação humana no que diz respeito às formas de usos e ocupações da terra. O autor também comenta sobre a relevância da análise na contribuição do diagnóstico das áreas em estudo, atuando como um instrumento para uma avaliação integrada da paisagem, bem como em análises quantitativas dos elementos da bacia.

Porto & Porto (2008) argumentam que escala a ser utilizada para uma bacia hidrográfica depende do problema a ser solucionado, sendo o tamanho ideal, aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Explanam ainda que é sobre o território definido pelas bacias hidrográficas que atividades humanas se desenvolvem e em seu exutório serão representados todos os processos que fazem parte de seu sistema.

3.3.1. Avaliação espacial e temporal do uso do solo em Bacias Hidrográficas

A compreensão do uso e cobertura do solo em uma dada região permite a interpretação da relação entre o homem e o meio físico e avaliar possíveis tendências futuras por meio de acontecimentos iniciados no passado. Essa avaliação é importante em estudos que consideram a sustentabilidade dos recursos naturais (Ferreira, 2006).

Alterações no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica de drenagem estão diretamente relacionadas às variações na qualidade das águas superficiais. A compreensão dos ecossistemas aquáticos requer uma avaliação integrada da bacia hidrográfica, considerando os ambientes aquáticos e terrestres (Do Vasco *et al.*, 2011).

Do Vasco *et al.* (2011) defendem que a comparação das características físico-químicas da água e do uso e ocupação do solo, em condições atuais e passadas, permitem a identificação de problemas prioritários para o desenvolvimento de alternativas de solução e de recuperação.

A análise espacial apresenta um avanço aliado ao aperfeiçoamento e desenvolvimento das geotecnologias, as quais são capazes de gerar ricas informações espaciais, análises temporárias, diagnósticos e prognósticos e possibilitam o monitoramento integrado de bacias hidrográficas. A aplicação das geotecnologias, tais como Sistema de Informação Geográfica (SIG), *Global Positioning System* (GPS), facilitam os processos de planejamento e de gestão, uma vez as informações provenientes do banco de dados podem ser sobrepostas, comparadas, avaliadas de maneira instantânea e sistemática (Leite, 2013).

O levantamento de informações de uso e ocupação do solo parte da identificação e separação de unidades de mapaeamento, estabelecidos para possibilitar representação em bases cartográficas e mostrar a distribuição espacial, extensão e limites dos diferentes usos (Ferreira, 2006).

Como base para a classificação da cobertura do solo, são utilizadas imagens de sensoriamento remoto capturadas por satélites. Imagens da série de satélites *Landsat* são utilizadas em diversos estudos acadêmicos, sua operação é administrada pela NASA – *National Space and Space Administration* e a produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS – *United States Geological Survey*.

Em 1972 foi lançado o primeiro satélite da série, o *Landsat-1*, primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo, que iria capturar milhares de imagens multiespectrais da superfície da Terra. Desde então, foram lançados 8 satélites *Landsat*, que com o passar do tempo, aprimoraram suas tecnologias e melhoraram a qualidade e resolução das imagens captadas. O acervo histórico das imagens de sensoriamento remoto permitem uma avaliação espaço-temporal do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas.

3.3.2. Mapas temáticos

De acordo com Lopes e Lopes (2007) a construção de um mapa temático surge a partir da necessidade de obter uma resposta a partir da associação de informações conhecidas. O cruzamento de dados espaciais permite o conhecimento e avaliação de uma região, assim como desenvolvimento de propostas e intervenções.

A execução de mapas temáticos conta com as seguintes etapas: coleta de dados, análise, interpretação e representação das informações. A metodologia de elaboração de uma mapa visa a melhor apresentação visual e comunicação (Archela & Théry, 2008). A partir da construção de um banco de dados com informações espacias, vetoriais e *raster*, é possível a criação de diversos mapas temáticos com o intuito de descrever as principais qualidades de uma bacia. O processamento da informações é operado dentro de um software de geoprocessamento, o qual permite a manipulação, cruzamento e apuramento dos dados.

Archela & Théry comentam sobre a importância da escala em um mapa, defendendo o significado científico e técnico. Os autores explicam que a escala determina o nível de detalhe em função do espaço, relativo à precisão e legibilidade da apresentação das informações dispostas no mapa.

3.4. A Bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Maria

O Ribeirão Santa Maria nasce no Distrito Federal e, a jusante, suas águas são entregues ao Estado de Goiás, sendo definido como um corpo hídrico de domínio da União. De acordo com a Resolução nº 02, de 17 de dezembro de 2014 do Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal (CRH-DF), a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria é uma Unidade Hidrográfica (UH) pertencente à bacia do Rio Corumbá, o qual está inserido na bacia do Rio Paranaíba, que por sua vez pertence à região hidrográfica do rio Paraná.

Além disso, o documento classifica o Ribeirão como classe 2 e determina o ano de 2030 como prazo máximo para a efetivação do enquadramento proposto. Essas determinações são referentes exclusivamente ao trecho do Ribeirão inserido no território do Distrito Federal. O restante do Ribeirão (pertencente ao estado do Goiás) não possui Enquadramento estabelecido pelo CNRH nem pelo Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, logo é classificado como classe 2 de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005. No entanto, este último determina a classificação do Rio Corumbá (rio o qual o Ribeirão deságua após a confluência com o Ribeirão Palmital) como classe 2, como apresentado na Figura 7 (ANA, 2013).

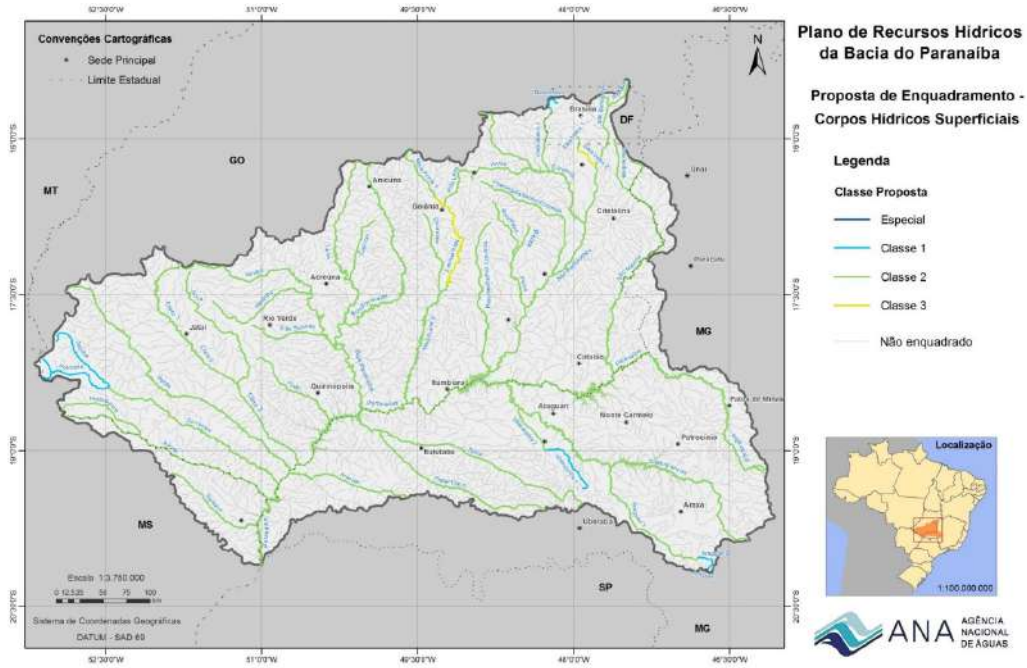


Figura 7 - Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais.

Fonte: ANA (2013)

A Resolução nº 02 do CRH - DF ainda estabelece o monitoramento da qualidade da água no exutório de cada UH para os seguintes parâmetros: vazão, pH, turbidez, Oxigênio Dissolvido - OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Demanda Química de Oxigênio - DQO, Fósforo Total - Pt, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes.

A instituição responsável pelo monitoramento, efetuado trimestralmente, é a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa), a qual realiza o monitoramento apenas na fração da bacia pertencente ao DF. Sendo assim, após a divisa para o Goiás não há nenhum tipo de acompanhamento de qualidade do Ribeirão com o propósito de fornecer informações para as populações do Novo Gama e de Valparaíso, municípios de Goiás, onde as populações utilizam o Ribeirão para fins diversos. Recentemente, com a perspectiva da construção de uma estação de tratamento de esgotos na região mais a jusante dos municípios, existem informações que a Companhia de Saneamento do Estado de Goiás (Saneamento de Goiás S.A. – Saneago) está monitorando um ponto do ribeirão Sobradinho localizado a jusante dos municípios para a futura instalação de uma ETE. De qualquer forma, o monitoramento de pontos importantes do Ribeirão, no trecho localizado entre os municípios, ainda não acontece.

Semrau (2017) avaliou a qualidade da água do ribeirão Santa Maria no trecho entre a sua nascente na Região Administrativa de Santa Maria – DF e a saída do município do Novo Gama – GO e a classificou como impactada pela ocupação urbana. A autora detectou contaminação elevada por *Escherichia Coli* e a água do Ribeirão foi classificada como imprópria para a balneabilidade (uso de contato primário), de acordo com Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, apresentando uma incompatibilidade com o determinado na Resolução nº 02 do CRH-DF.

Segundo Chaves e Santos (2009), as bacias mais impactadas quanto à qualidade da água são aquelas que sofrem processo de ocupação acelerada, o que é o caso da região delimitada pela BHSM. O Ribeirão, juntamente com outros tributários, dá origem ao Rio Palmital e posteriormente deságua no Rio Corumbá a montante do Reservatório de Corumbá III, como pode ser observado na Figura 8. Em seu percurso, o Ribeirão recebe cargas poluidoras pontuais e difusas de efluentes de esgotamento sanitários, tratados e não tratados.

Os municípios do Novo Gama, Luziânia e Valparaíso de Goiás lançam seus efluentes no ribeirão Sobradinho, a maior parte sem a sequência completa de coleta, afastamento e tratamento. O último município possui coleta parcial dos esgotos e os direciona à ETE ESPLANADA I, a qual faz a disposição de seus efluentes no Córrego José Manoel, que também está inserido na unidade hidrográfica do ribeirão Santa Maria (IBGE, 2022; ANA, 2016; Engeplus, 2020).

Além disso, a bacia conta com contribuição de cargas difusas por meio de atividades como agricultura, pastagem, silvicultura e ocupação urbana, tornando-se uma problemática ainda maior quando se põe em perspectiva o fato de que essas cargas estão sendo direcionadas a um sistema lêntico como Corumbá III, situado a jusante, colocando-o em risco de eutrofização.

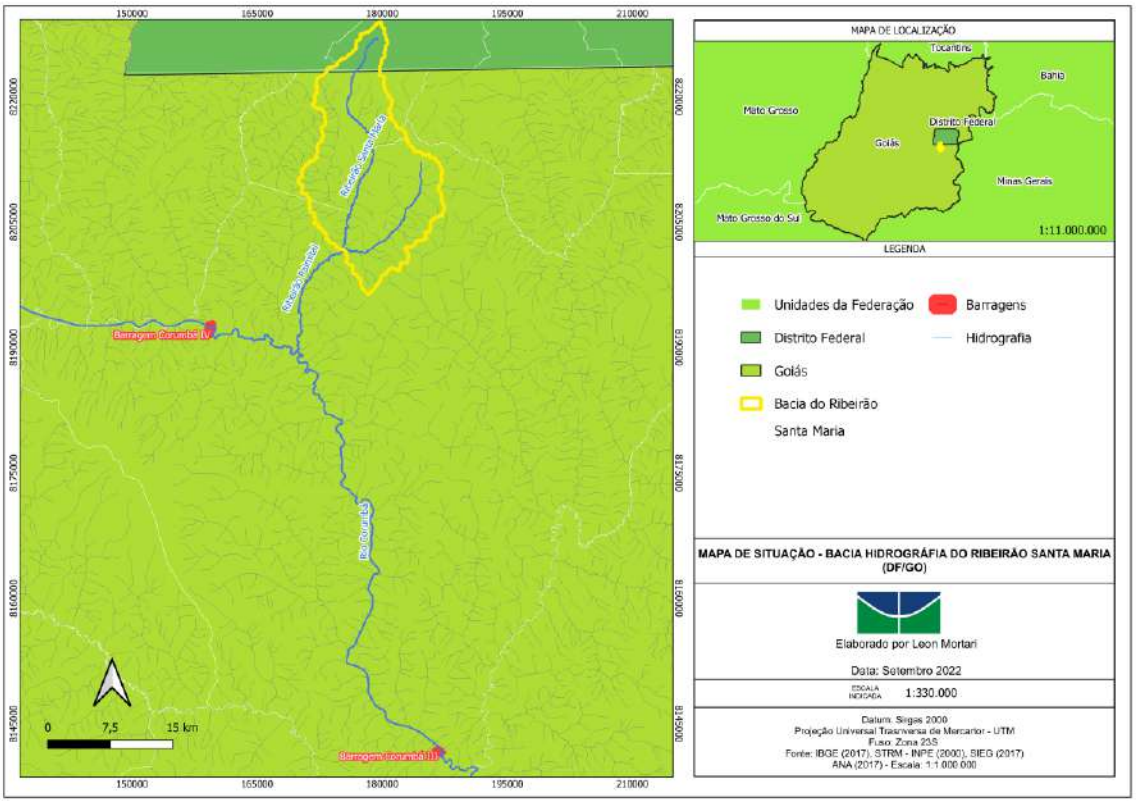


Figura 8 - Mapa de situação da BHSM.

A área de estudo carece de trabalhos acadêmicos e os já realizados consideram apenas frações de sua extensão, logo, não há uma caracterização completa da Bacia Hidrográfica (Barcellos, 2019; Bogeá, 2017; Semrau, 2017). Portanto, é de extrema importância a realização de estudos com enfoque exploratório quanto à caracterização física do ambiente e aos aspectos hidrológicos e de qualidade de água de forma integrada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

O desenvolvimento do estudo contou com o uso dos softwares QGIS 3.28, para a criação de mapas temáticos que caracterizem a área de estudo O software *Quantum GIS* (QGIS) é um programa livre e de código aberto de geoprocessamento com destaque mundial por conta da facilidade de acesso e da ampla gestão do conhecimento quanto ao programa. O QGIS permite a manipulação e cruzamento de dados espaciais de variados formatos e fontes e criação de mapas temáticos a partir dos resultados gerados no manuseio das informações.

4.1.2. Banco de dados

A Tabela 1 apresenta a resolução, escala e fonte das informações coletadas para o desenvolvimento do estudo.

4.2. Metodologia

O presente trabalho se propõe a estudar e caracterizar a toda a amplitude da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Maria, analisar a evolução espaço-temporal do uso do solo da BHRS e busca avaliar o estado dos parâmetros de qualidade da água monitorados e a conformidade ao Enquadramento em relação ao trecho monitorado ao logo dos anos de acompanhamento. A metodologia proposta está esquematizada na Figura 9.

Tabela 1 - Banco de dados

IMAGENS RASTER		
Dados	**Resolução**	**Fonte**
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 8	15 m	USGS (08/2020)
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 5	30 m	USGS (08/1999)
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 1	80 m	USGS (09/1976)
Imagens raster do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	30 m	USGS (2000)
SHAPEFILES e MAPAS TEMÁTICOS		
Dados	**Escala**	**Fonte**
Pedologia	1:250.000	SIEG/GO (2017)
Geologia	1:500.000	SIEG/GO (2009)
Barragens	1:250.000	SIEG/GO (2016)
Hidrografia	1:1.000.000	ANA (2017)
Clima	1:1.000.000	IPEF (2013)
Limites Municipais	1:1.000.000	IBGE (2021)
Malha urbana	1:1.000.000	IBGE (2021)
Densidade Populacional	1:1.000.000	IBGE (2010)
Renda mensal por responsável por domicílio	1:1.000.000	IBGE (2010)
Predominância de esgotamento sanitário	1:1.000.000	IBGE (2010)
PARÂMETROS		
Dados	**Unidade**	**Fonte**
Vazão	m^3/s	Adasa (2015 - 2022)
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Adasa (2016 - 2022)
Nutrientes (P e N)	mg/L	Adasa (2015 - 2022)
Sedimentos	mg/L	Adasa (2015 - 2022)
Coliformes	NMP/100mL	Adasa (2015 - 2022)
DBO/DQO	mg/L	Adasa (2015 - 2022)
pH	-	Adasa (2015 - 2022)
Turbidez	NTU	Adasa (2015 - 2022)

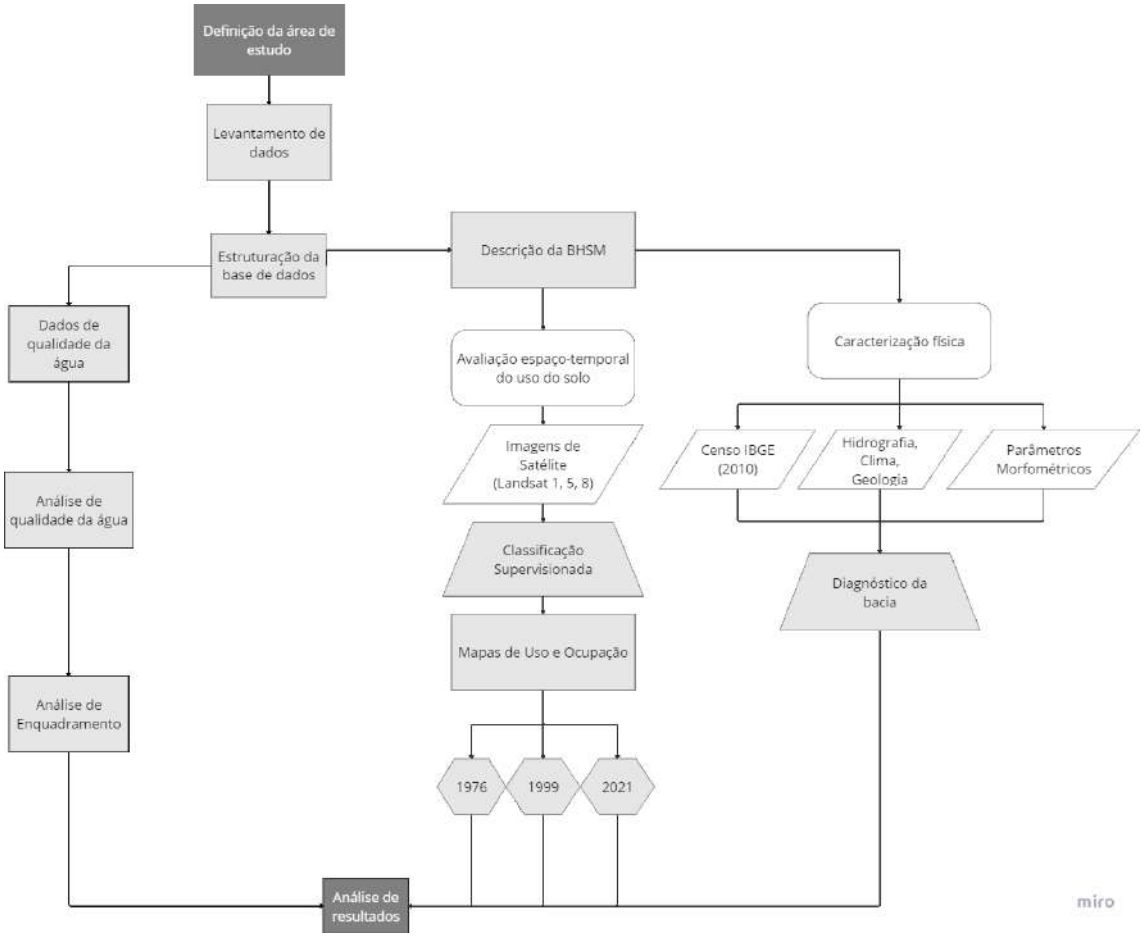


Figura 9 - Metodologia proposta.

4.2.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema em questão com a pretensão de torná-lo explícito (Gil, 2008). Dessa forma, a caracterização da área de estudo faz-se necessária para um conhecimento aprofundado e embasado, permitindo então a geração de conclusões e hipóteses acerca da região analisada.

A seguir são apresentadas as metodologias utilizadas para a caracterização física e ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria.

4.2.1.1. Metodologia de criação dos mapas

De acordo com Lopes e Lopes (2007) a construção de um mapa temático surge a partir da necessidade de obter uma resposta a partir da associação de informações conhecidas. O cruzamento de dados espaciais permite o conhecimento e avaliação de uma região, assim como desenvolvimento de propostas e intervenções.

A partir do banco de dados construído, foram criados diversos mapas temáticos com o intuito de descrever localização, clima, vegetação, relevo, bem como, altitude e declividade, hidrografia, tipo e uso e ocupação do solo e características da população da BHSM.

4.2.1.1.1. Mapa de Hidrografia e Localização

Para a devida delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria foi necessário informações da hidrografia da região, obtido através dos dados de trechos de drenagem da Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paranaíbado, disponível no portal da Agência Nacional de Águas em formato *shapefile*, e do modelo digital de elevação obtido no *site* do TOPODATA, que disponibiliza imagens *raster* capturadas pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) operada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em 2000.

De posse desses dados, foi possível localizar o Ribeirão Santa Maria através da tabela de atributos e determinar o ponto do exutório, o qual é marcado pela confluência do Ribeirão com o Ribeirão Palmital. O exutório serve de ponto de referência para delimitação da área da bacia.

A BHSM está localizada entre três folhas de MDE (15S48_; 16S48_; 16S495), logo foi necessário realizar um mosaico das três imagens. Com a ajuda do complemento *Grass* no QGIS, a imagem *raster* mesclada foi filtrada e a partir dela criada uma camada de elevação e depressão através da função *r.fill.dir*. Em seguida, com base nessa nova camada, foi gerada uma camada de direção de drenagem com o uso da função *r.watershed*. Por fim, essa última camada criada serviu de base para delimitação da bacia

por meio da função *r.water.outlet*. Demarcada a bacia hidrográfica, o *shapefile* de hidrografia foi recortado e ajustado para apresentação.

4.2.1.1.2. Mapas de Pedologia, Geologia e Clima

O Sistema Estadual de Geoinformações (SIEG) do estado do Goiás disponibiliza diversas informações georreferenciadas, cobrindo também a área do Distrito Federal, entre elas, dados de pedologia e geologia em formato *shapefile*. Usando a delimitação da bacia, ambos elementos foram recortados para área de estudo.

O mapa de classificação climática de acordo com Köppen foi feito a partir de um estudo de Alvares (2013) no qual o autor utiliza a metodologia para catalogar os climas brasileiros. A partir do arquivo *shapefile* disponibilizado pelo autor, a classificação climática foi definida para a região.

4.2.1.1.4. Mapas de Hipsometria e Declividade

A hipsometria é o parâmetro morfométrico que expressa o volume de rocha situado abaixo da superfície topográfica (Strahler, 1952). É obtida a partir do cálculo de áreas entre cada faixa altimétrica da bacia hidrográfica, de modo a gerar um gráfico, no qual as ordenadas correspondem as altitudes e as abscissas correspondam a área. O mapa de hipsometria consistiu na renderização do MDE através da opção “banda simples falsa-cor” e interpolação linear. Por conseguinte foi aplicada um gradiente de cores dentro de uma taxa compatível com a escala da área da bacia.

A declividade de um terreno é diretamente proporcional à velocidade de escoamento deste. Para a geração do mapa de declividade, o dado *raster* do MDE foi submetido à uma análise de declividade expressa em porcentagem. E então, as classes dos raster foram divididas de acordo com a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), como descrito abaixo:

- **Plano -** superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 0 a 3%.
- **Suave ondulado** - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas da ordem de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 3 a 8%.
- **Ondulado -** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando expressiva ocorrência de áreas com declives entre 8 e 20%.
- **Forte ondulado -** superfície de topografia movimentada formada por outeiros e/ou morros (elevações de 100 a 200 m de altitude relativa), com predominância de declives de 20 a 45%.
- **Montanhoso -** superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes da ordem de 45 a 75%.
- **Forte-montanhoso** - regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestas, falésias, vertentes de declives muito fortes de vales encaixados, etc., com declives acima de 75%.

4.2.1.1.5. Mapas de caracterização da população da BHSM

No portal do IBGE estão disponíveis informações dos limites municipais de todo país, assim como os logradouros, os setores censitários e o arquivo básico com as informações em formato tabular com os resultados do Censo do ano de 2010.

Os logradouros foram posicionados justaposto à área da bacia de maneira de apresentar a ocupação urbana ao longo da região. As informações do Censo 2010 serviram de base para a análise de densidade populacional, renda mensal dos moradores do local e tipo de esgotamento sanitário a partir de um cruzamento de dados das informações contidas no arquivo básico referentes aos setores censitários georreferenciados.

Os mapas de densidade populacional e renda foram cruzados diretamente e classificados para apresentação dos mapas. Já o mapa de esgotamento passou com um avaliação de predominância de cada tipo de solução sanitária referente à cada área do setor censitário.

4.2.1.2. Análise morfométrica da BHSM

Os parâmetros mormétricos analisados no presente estudo são definidos na Tabela 2 com base em Lopes (2016).

Tabela 2 - Definição dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Descrição	Elucidação	Fonte
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento axial da bacia (L).	$Kf = A/L^2$ (m^2/m)	Horton (1945)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A).	$Kc=0,28(P/\sqrt{A})$ (m/m^2)	Lima (1969)
Índice de circularidade (IC)	Relação entre a área da bacia (A) e o perímetro (P) da bacia.	$IC = 12,57*(A/P^2)$	Miller (1953)
Razão de elongação (Re)	Relação entre índices pré determinados, a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	Re = 1,128[(A^0,2)/L)]	Schumm (1963)
Densidade hidrográfica (Dh)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A).	Dh = Nt/A (km- ²)	Christofoletti (1969)
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A).	Dd = Cr /A (km/km^2)	Horton (1945)
Índice de rugosidade	Relação entre a variação da cota (ΔH) e a Densidade de drenagem (Dd).	Ir = ΔH*Dd	Christofoletti (1969)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a variação da cota (ΔH) e o comprimento axial da bacia (L).	Rr = ΔH/L	Christofoletti (1969)
Hierarquia fluvial (Hf)	Classificação hierárquica de um curso d'água frente ao conjunto total da bacia hidrográfica.	O canal de 1º ordem é aquele que não tem tributários. O canal de 2º ordem segue a confluência dos dois canais primários. E assim sucessivamente.	(Strahler, 1952)

4.2.3. Análise espaço-temporal do uso do solo

Com o intuito de se construir uma perspectiva histórica quanto ao uso e ocupação do solo da região da BHSM, foram coletadas imagens *rasters* de 3 anos distintos por meio dos portais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A imagem de cada ano refere-se a um satélite diferente responsável pela captura do dado. Foram selecionadas imagens de 1973, 1999 e 2021, providenciadas pelo satélites *Landsat* 1, *Landsat* 5 e *Landsat* 8 respectivamente.

Todas as imagens foram georreferenciadas de acordo com o sistema de coordenadas geográficas UTM SIRGAS 2000 zona 23 S. As imagens de cada satélite foram compiladas de formar a criar uma composição colorida de as bandas verde, azul, vermelho e infra-vermelho próximo. A imagem Landsat 8 resultante do procedimento de composição colorida foi submetido ao processo de fusionamento para o aumento da resolução espacial, inicialmente de 30 m, para 15 m. Tanto o processo de composição colorida quanto de fusionamento consistem na mesclagem das imagens *rasters* no programa de geoprocessamento.

Uma vez que as imagens para cada ano foram ajustadas de forma a compreender e distinguir as ocupações no terreno, deu-se início ao processo de classificação supervisionada com o recurso do complemento *dzetsaka: Classification tool*, sendo utilizado o classificador Modelo de Mistura Gaussiano, que apresenta simplicidade e agilidade aliadas à um excelente produto de classificação (Silva & Silva, 2020).

A classificação espacial foi dividida em (1) mata-ciliar, (2) área urbana, (3) agricultura, (4) vegetação, (5) solo exposto. Foi realizado um procedimento de treinamento da classificação, que consiste na criação de polígonos referentes à cada tipo de cobertura do solo. Dessa forma, o usuário orienta o programa quanto aos tipos de pixels que estão relacionados a cada classificação. A partir de algumas amostras de informações, foi possível processar toda a imagem, sendo a classificação completa sendo realizada computacionalmente.

4.2.4. Análise do Enquadramento do Ribeirão Santa Maria

A avaliação do Enquadramento do Ribeirão Santa Maria foi realizada a partir de dados disponibilizados pela Adasa referentes à estação de monitoramento de Santa Maria. Os dados disponibilizados de 2015 a 2022 apresentam parâmetros de turbidez, DBO, nitrogênio amoniacal e total, pH, fósforo, sólidos totais e coliformes termotolerantes. A avaliação consistiu em analisar o atendimento ao Enquadramento do Ribeirão na classe estabelecida pela Resolução Nº 2 do CRH – DF, na fração pertencente ao Distrito Federal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria

5.1.1. Localização

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria ocupa uma parcela da Região Administrativa de Santa Maria (DF) e se estende pelos municípios goianos Luziânia, Valparaíso de Goiás e Novo Gama, ocupando uma área de 29.889,1270 hectares em sua totalidade. Sua localização está expressa na Figura 11.

5.1.2. Clima

O sistema de classificações climáticas (SCC) Köppen-Geiger (Figura 12) é baseado na quantidade e distribuição de precipitação e temperatura, anual e mensal. Esse SCC, por ter mais de um século, passou por algumas adaptações a partir de sua proposta inicial, como a de Setzer (1966), que simplificou a classificação criando uma chave classificatória aplicada à BHSM na Figura 12 (Cardoso *et al*, 2014).

Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)			Símbolo
do mês mais frio	do mês mais quente						
>= 18ºC	>= 22ºC	>= 60mm		TROPICAL		sem estação seca	Af
		< 60mm	< 2500 - 27,27. Pms			Inverno Seco	Aw
			>= 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL com chuvas excessivas			Am
< 18ºC	>= 22ºC	< 30mm		SUBTROPICAL	Quente		Cwa
	< 22ºC				Temperado		Cwb
	>= 22ºC	>= 30mm			Quente	sem estação seca	Cfa
	< 22ºC				Temperado		Cfb

Figura 10 - Chave para a classificação climática de Köppen .

Modificada por Setezer (1966) para a inclusão do tipo climático “Am” (Tropical Monçônico).

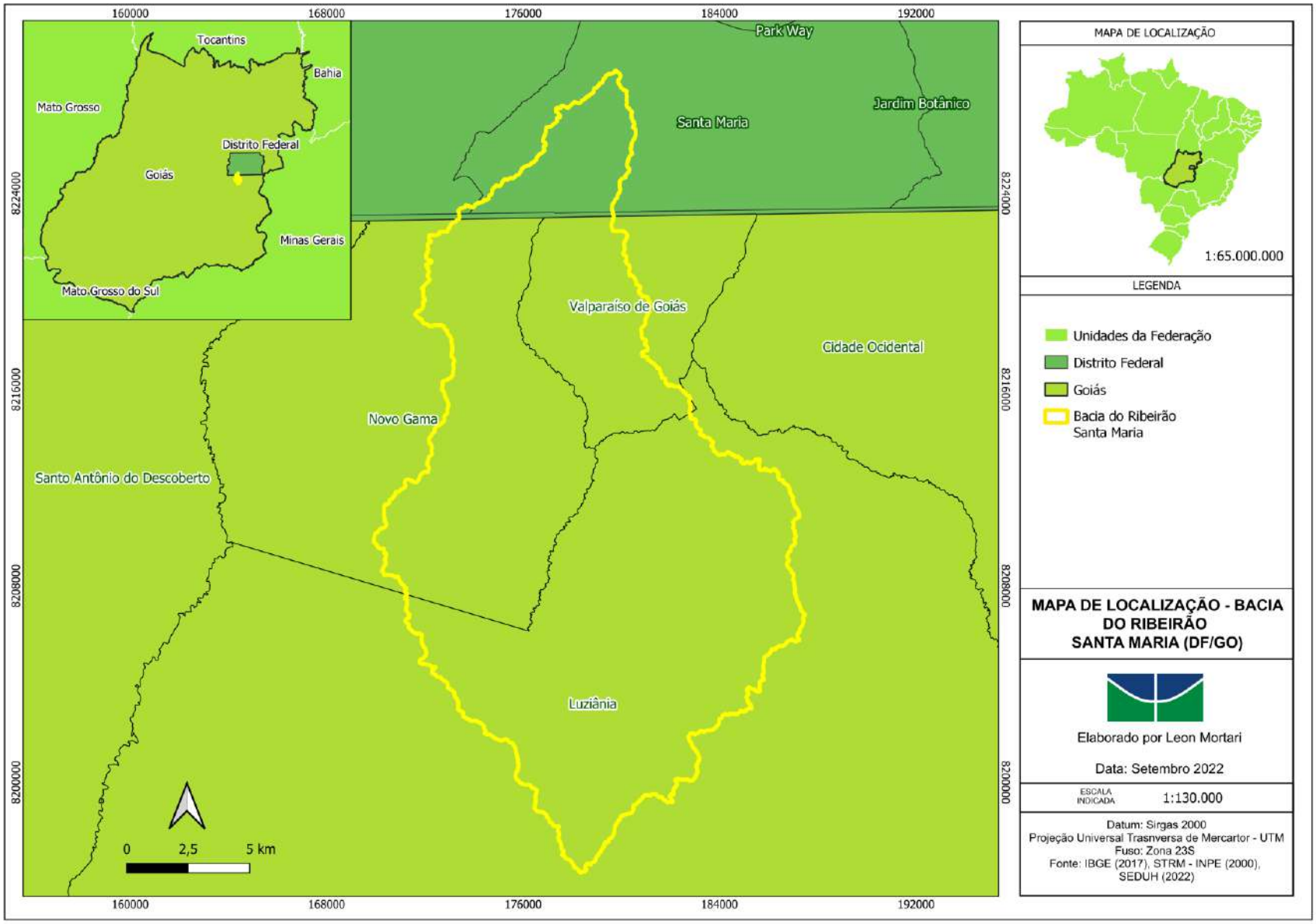


Figura 11 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

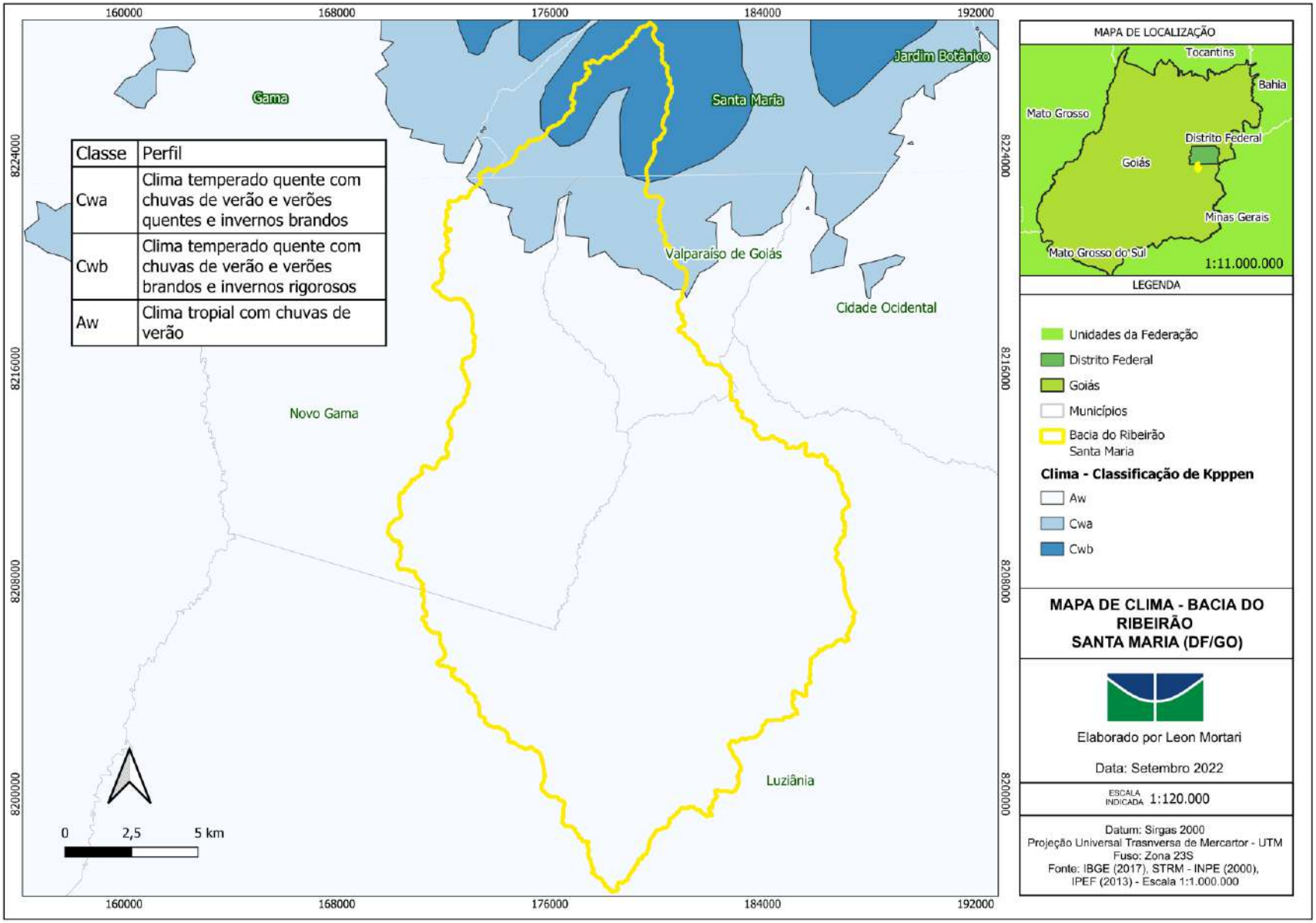


Figura 12 - Mapa de Classificação Climática da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

5.1.3. Parâmetros morfométricos da bacia

A Tabela 3 apresenta os parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria. Os parâmetros morfométricos foram determinados a partir das equações definidas por Horton (1945), Lima (1969), Miller (1953), Schumm (1963), Chrisfoletti (1968) e calculados a partir da calculadora do software QGIS. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros morfométricos da da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

Parâmetros Morfométricos da BHSM		
Área (km²)		298,891
Perímetro (km)		128,468
Número de segmentos		27
Comprimento Axial da bacia (Km)		27,659
Comprimento do rio principal (km)		33,877
Comprimento de todos os rios (km)		318798
Centróide da bacia - coordenadas UTM (X, Y)		(178358, 8211354)
Altitude máxima (m)		1252,84
Altitude mínima (m)		814,136
Altitude média (m)		1034,521484
Amplitude altimétrica da bacia (m)		438,704
Declividade média da bacia (%)		1165,503458
Coeficiente de compacidade		1,858
Índice de circularidade		0,228
Densidade de drenagem (km/km²)		1066,602875
Densidade hidrográfica (1/km²)		0,09
Fator de forma (m²/m)		0,391
Hierarquia fluvial		3º Ordem
Extensão média do escoamento superficial (km)		0,000234389
Razão de elongação		0,127519087
Coeficiente de rugosidade		467922947,8
Razão de relevo		0,015861166
Retângulo Equivalente	Lado maior (km)	51,564
	Lado menor (km)	5,796

O fator de forma e o coeficiente de compacidade são os parâmetros morfométricos mais utilizados para verificar a propensão de inundação de uma bacia hidrográfica, devido a influência do tempo de concentração. O fator de forma obtido é relativamente baixo, o que indica um formato alongado, com menor tempo de concentração de chuvas. Já o coeficiente de compacidade revela a tendência da bacia em relação aos picos de cheia,

porém o resultado encontrado é considerado elevado, logo não há grande tendência a picos de enchentes.

A baixa densidade hidrográfica revela uma pequena capacidade da bacia de gerar novos cursos d'água e a densidade de drenagem caracteriza a BHSM como uma bacia de drenagem regular.

5.1.4. Relevo

O comportamento da altitude do terreno da bacia pode ser analisado através das Figura 13 eFigura 14. O gráfico apresentado é uma representação visual da distribuição e variação de altitudes da BHSM, mostrando com que frequência determinadas altitudes ocorrem na área de estudo. Pode-se observar que a maior frequência da altitude de 1.014,136 m em aproximadamente 45% das amostras avaliadas.

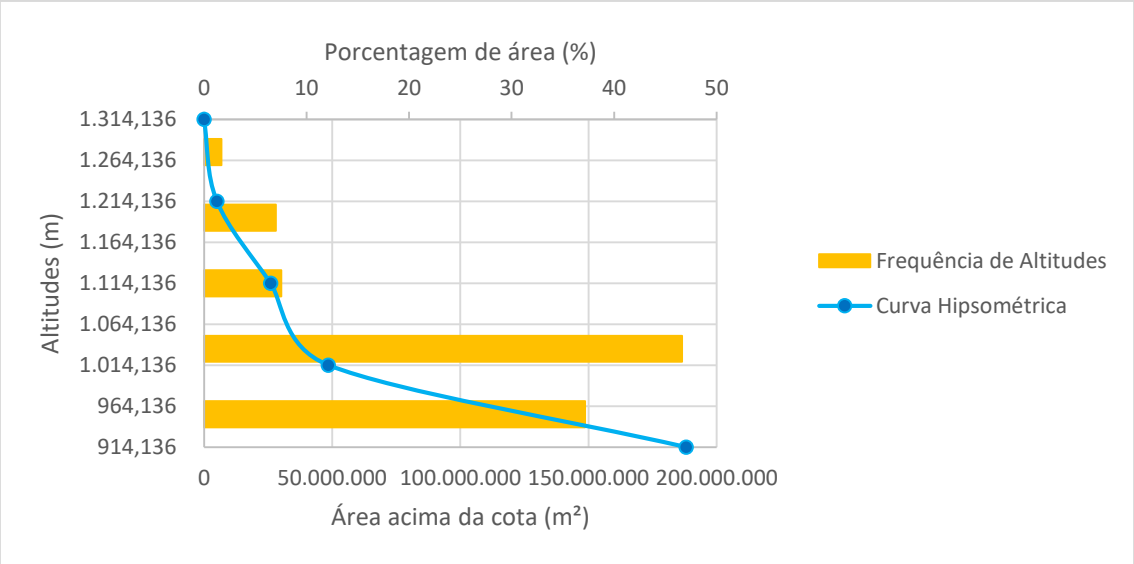


Figura 13 - Curva Hipsométrica e Frequência de Altitude da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

A Figura 15 apresenta a declividade do terreno, apresentando em porcentagem a variação de inclinação da área, de acordo com a EMBRAPA.

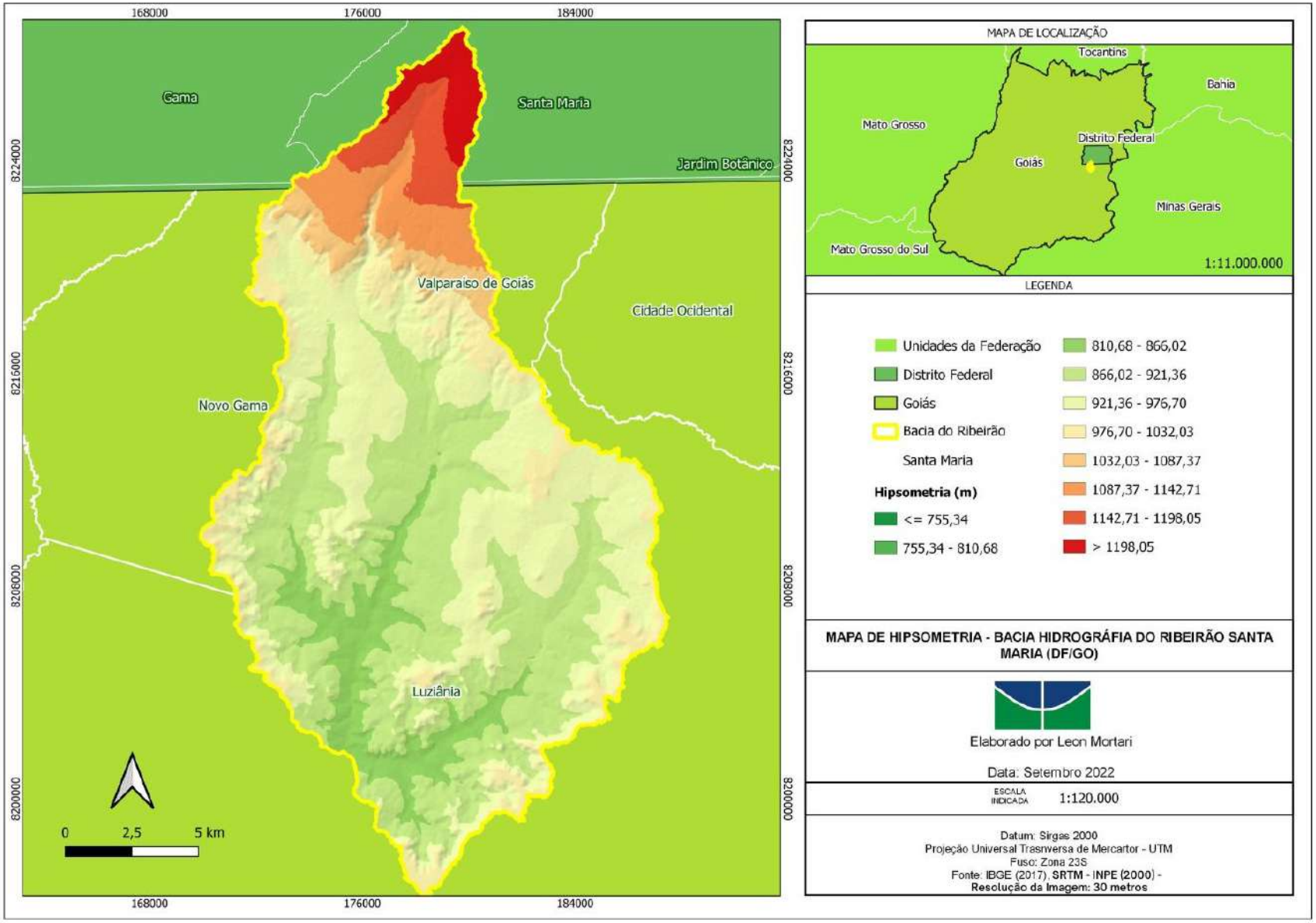


Figura 14 - Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

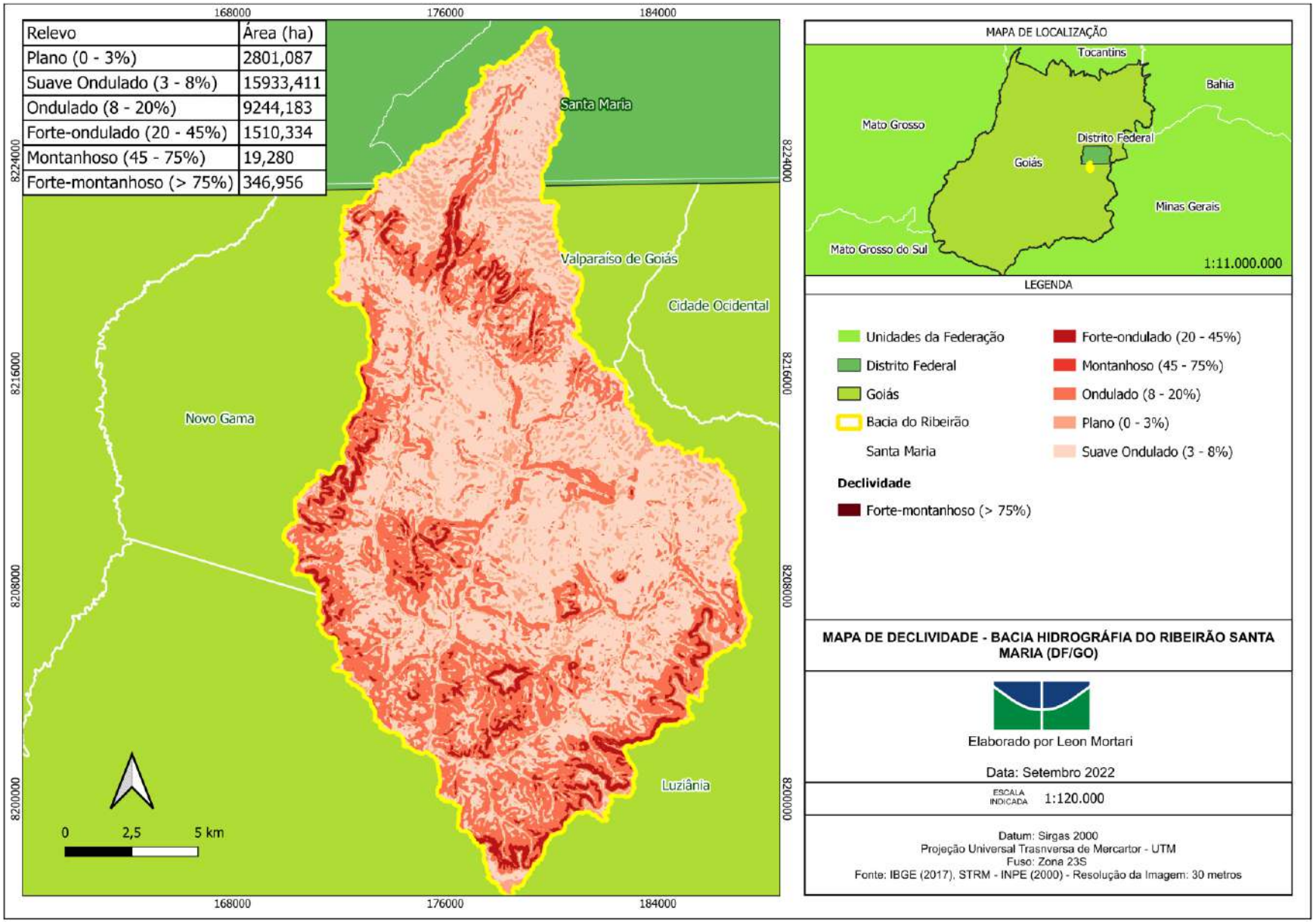


Figura 15 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

5.1.5. Pedologia e Geologia

A BHSM abrange três classes pedológicas: Cambissolo Háplico Distrófico (CX), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd). Os Latossolos são de coloração avermelhada, altamente intemperizados, muito profundos, bem drenados, distróficos, ácidos e com teores de argila variando entre 15% e 80%. Os Camibissolos são solos pouco desenvolvidos, com minerais facilmente intemperizáveis, associados ao relevo mais movimentado (ondulado e forte ondulado) (CODEPLAN, 2020). A Figura 16 apresenta a distribuição espacial dessas classes de solo.

A Bacia está inserida em uma região de predominância de dois conjuntos litológicos distintos: grupos Canastra e Paranoá (de idade Meso-Neoproterozóica), como apresentado na Figura 17. O grupo Canastra é constituído essencialmente por filitos e, subordinadamente, por corpos lenticulares de mármores e quartzitos. Já o grupo Paranoá é composto pelas rochas: quartzito conglomerático fino, metassiltitos, ardósias, metarritmito arenoso, quartzito médio, metarritmitos argilosos e a unidade psamo-pelito-carbonatada (CODEPLAN, 2020).

5.1.6. Hidrografia

A hidrografia da BHSM é apresentada na Figura 18 com base nas informações disponibilizadas pela ANA. O mapa apresenta a rede dos cursos d'água presentes na BHSM, com destaque ao Ribeirão Santa Maria e o Ribeirão Palmital, onde deságua o primeiro.

A hidrografia da bacia se apresenta dispersa ao longo de toda sua extensão e bem ramificada, o que também é apresentado pelos parâmetros morfométricos da bacia. O único curso d'água transfronteiriço da bacia é o ribeirão que dá nome a bacia. Percebe-se também uma canalização do Ribeirão Santa Maria na parte pertencente ao DF, onde a mancha urbana é mais intensificada.

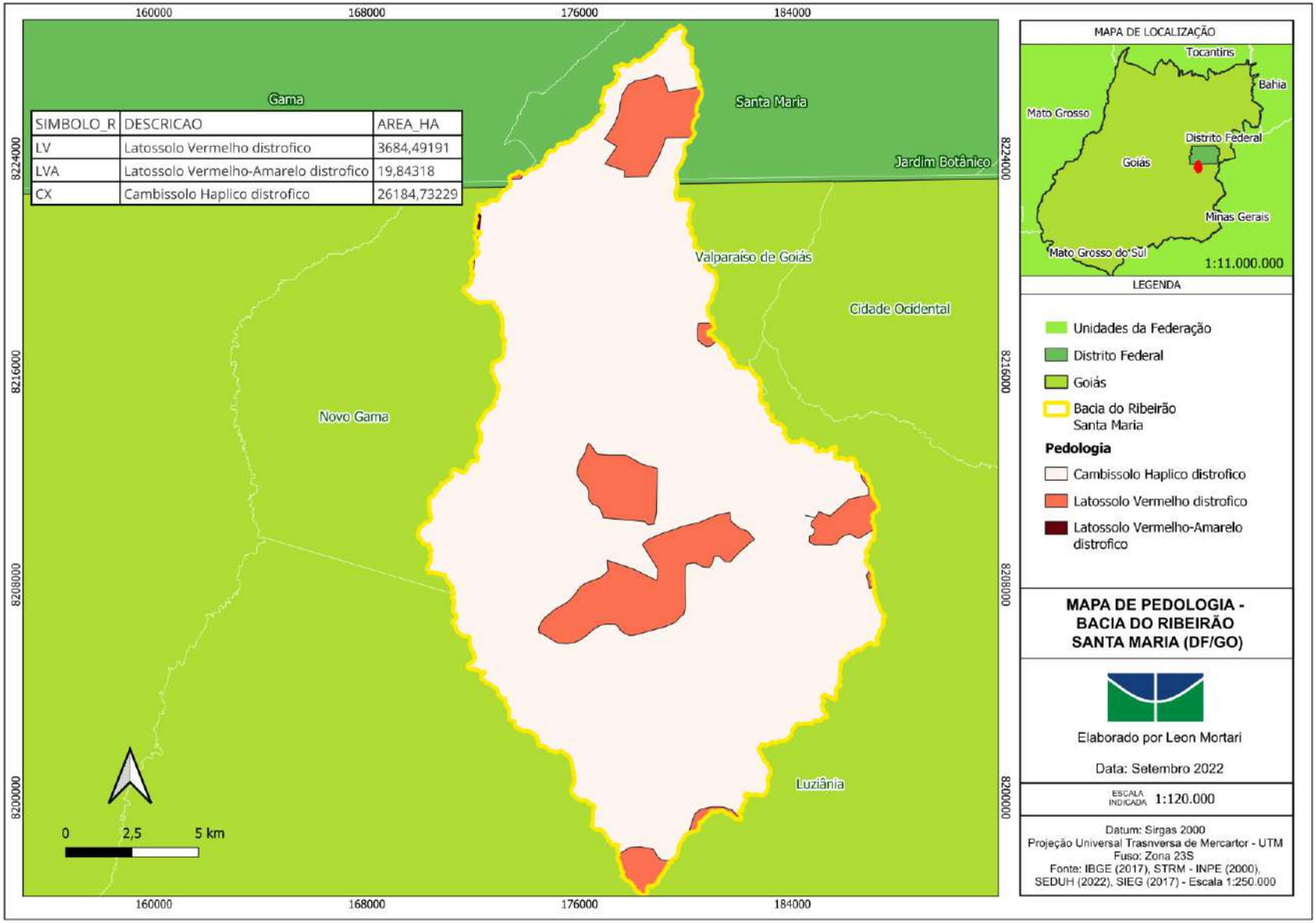


Figura 16 - Mapa de Pedologia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

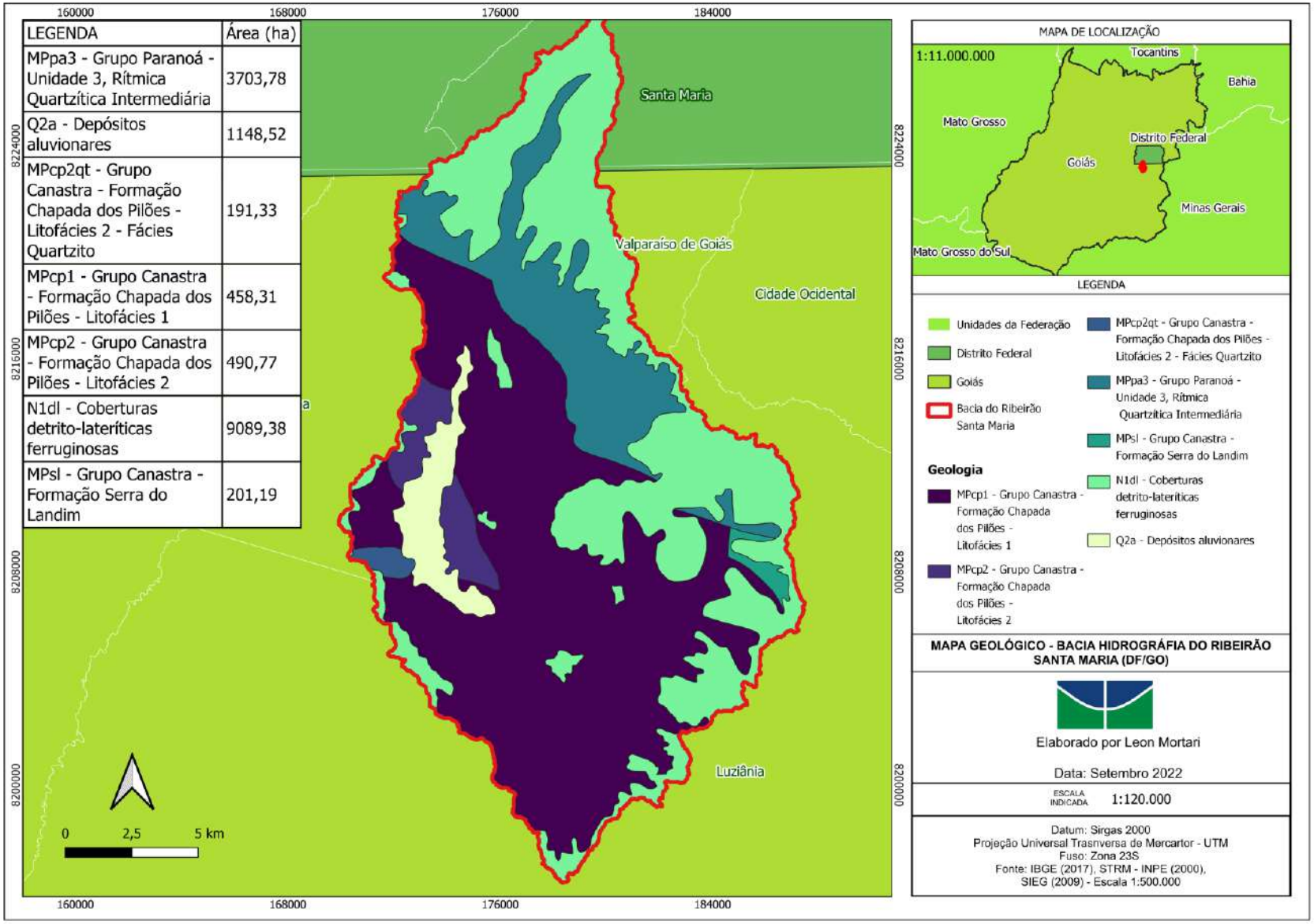


Figura 17 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

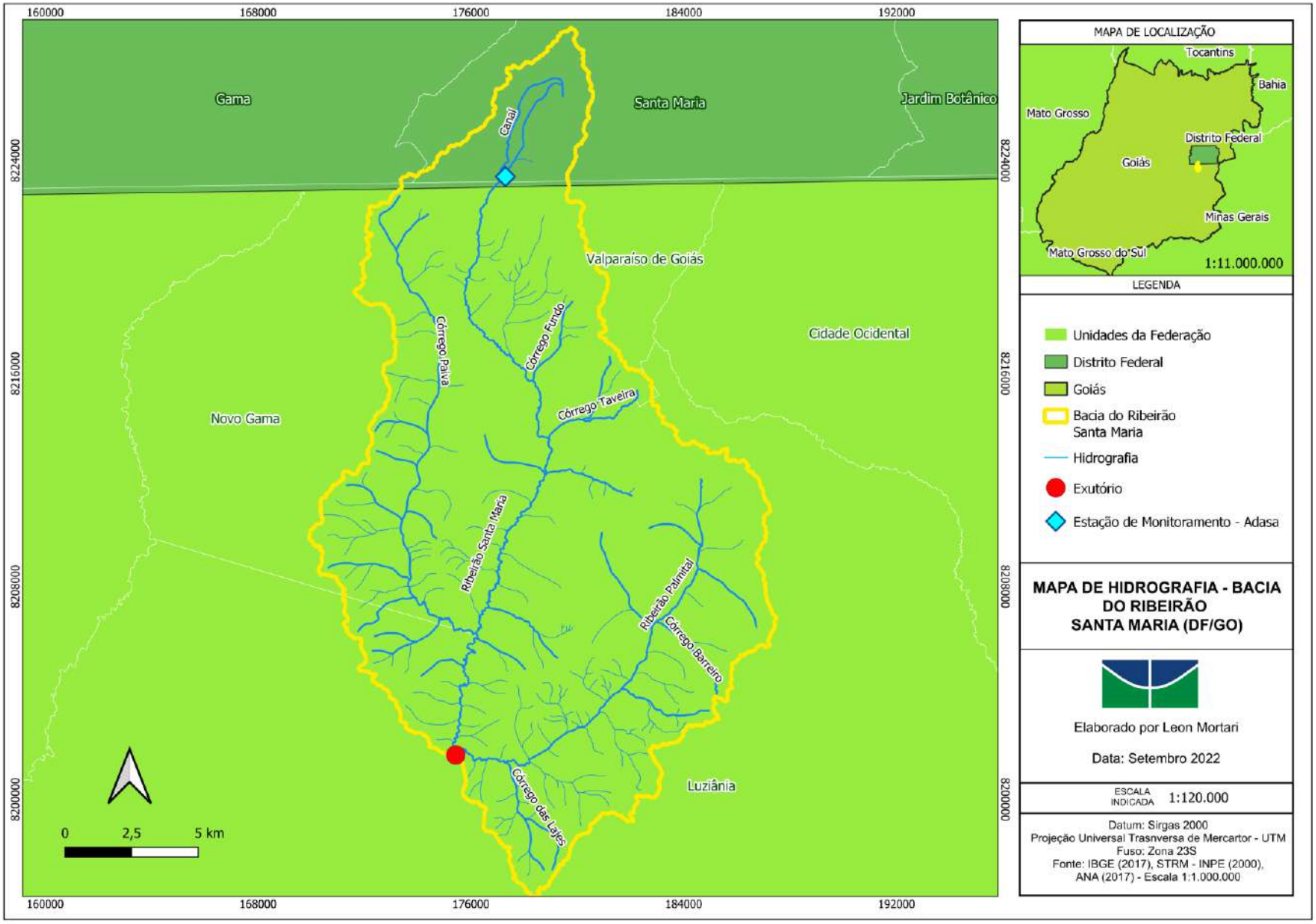


Figura 18 - Mapa Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

5.1.7. A comunidade da BHSM

A população que ocupa a área da BHSM é residente de municípios diferentes e a realidade urbana, populacional, econômica e quanto ao saneamento básico não é homogênea por toda a extensão longitudinal da bacia. As Figura 19 aFigura *22* apresentam a ocupação populacional ao longo da bacia, informações quanto densidade demográfica e renda e realidade do saneamento básico quanto ao esgotamento sanitário da região.

As informações contidas nos mapas podem apresentar uma discrepância com a realidade atual, uma vez que os dados são referentes ao Censo do IBGE de 2010. No entanto, ainda são suficientes para compreender, mesmo de forma retórica, a situação da população que ocupa a área da bacia.

Observa-se maior concentração urbana na parte norte da bacia, acentuada no limite territorial entre o DF e o GO. Paralelamente, a renda mensal por responsável por domicílio acompanha a intensidade da mancha urbana. Essas regiões são atendidas por um sistema de esgotamento sanitário coletivo, enquanto as áreas menos densas e de menor renda mensal possuem uma solução individual de esgotamento.

A bacia apresenta uma grande área não ocupada demograficamente, o que pode indicar um potencial para criação de parques ou reservas que ajudem a conter a ocupação urbana desenfreada na região e proteger os cursos d'água.

Cerca de 80% da área da bacia apresenta a solução de fossa rudimentar como solução sanitária, as quais apresentam um risco direto à saúde pública da região e à contaminação do solo e da água da bacia ao liberarem agentes patógenos e nutrientes como fósforo e nitrogênio.

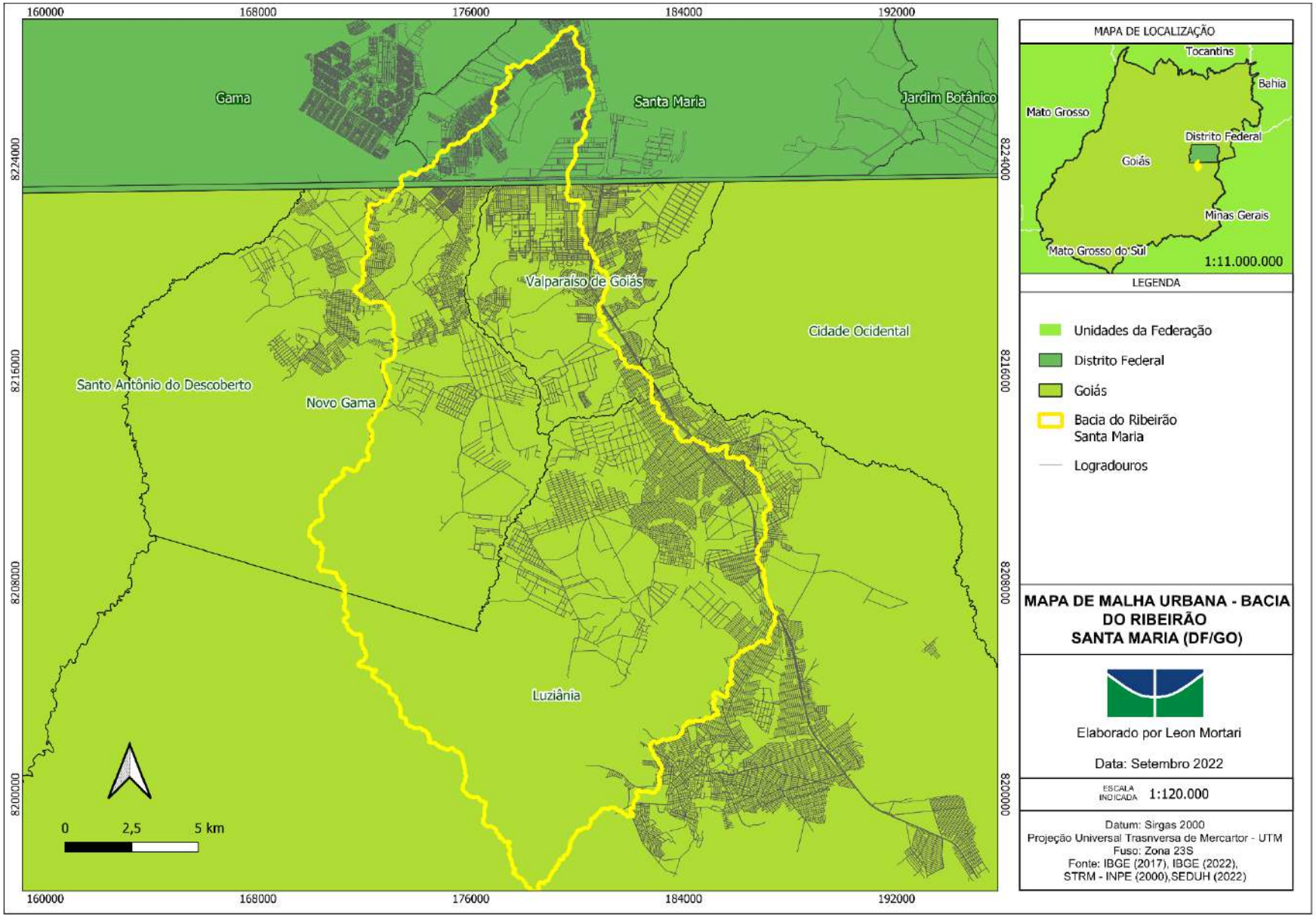


Figura 19 - Mapa de Malha Urbana da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

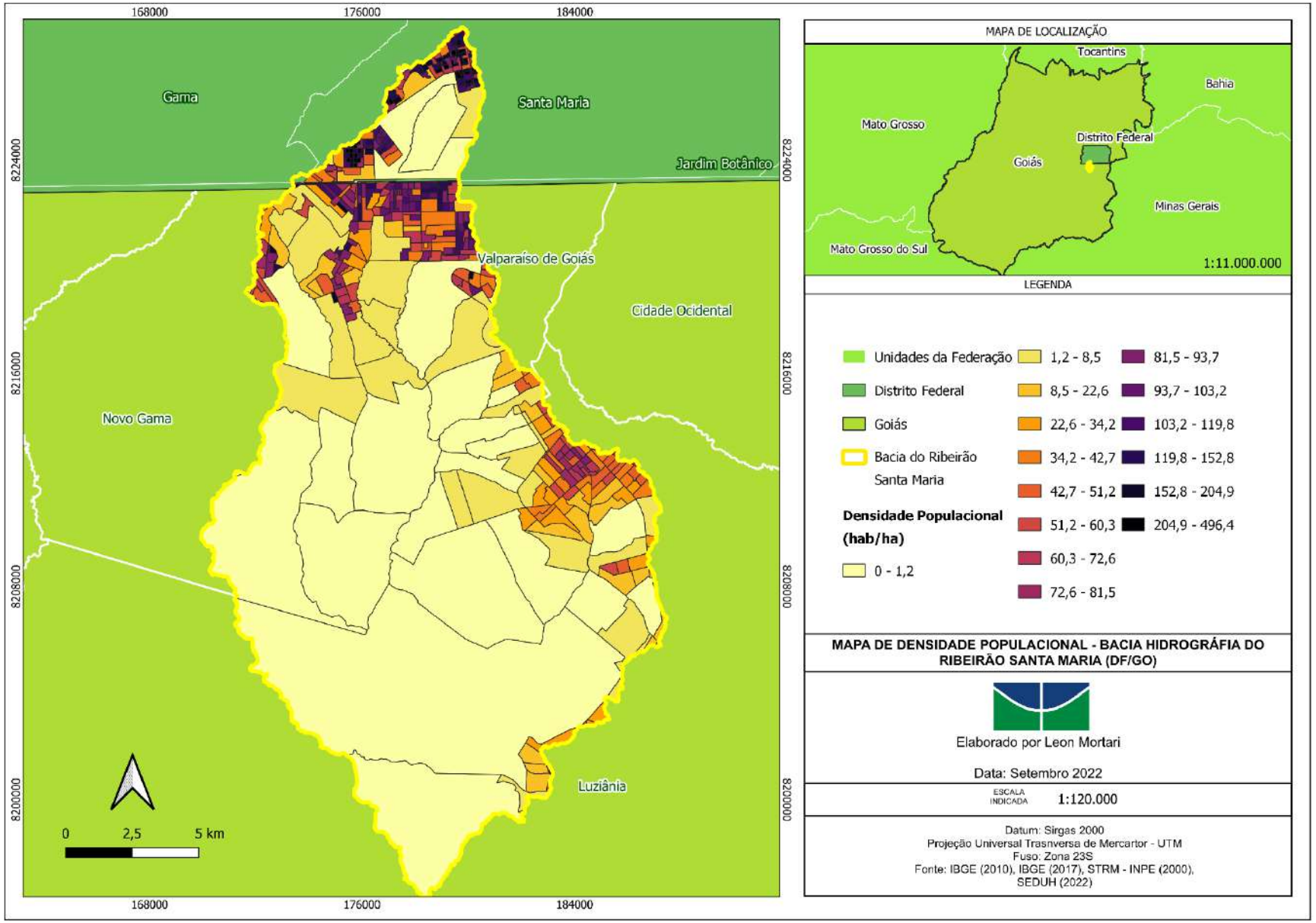


Figura 20 - Mapa de Densidade Populacional da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

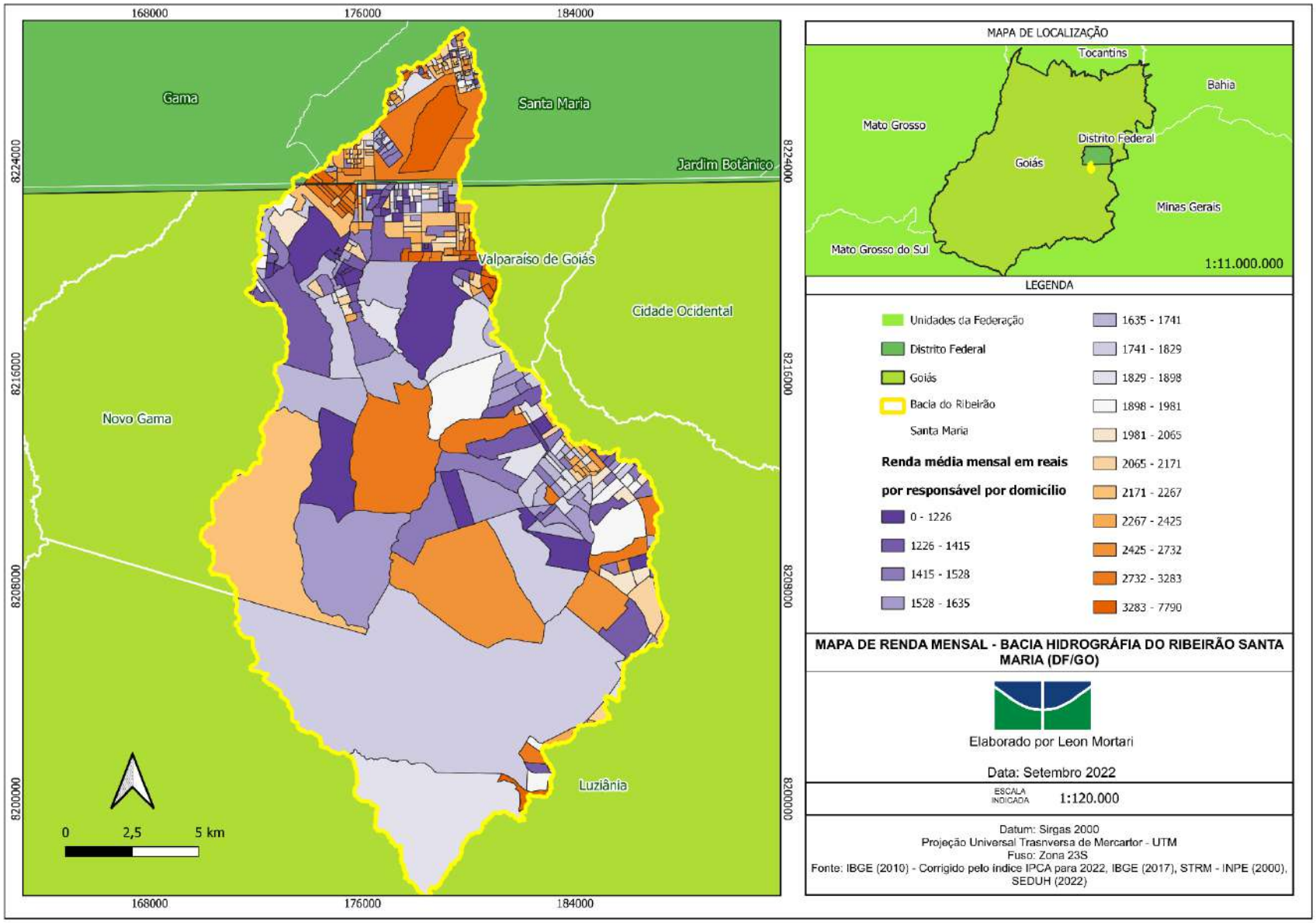


Figura 21 - Mapa de Renda Mensal da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

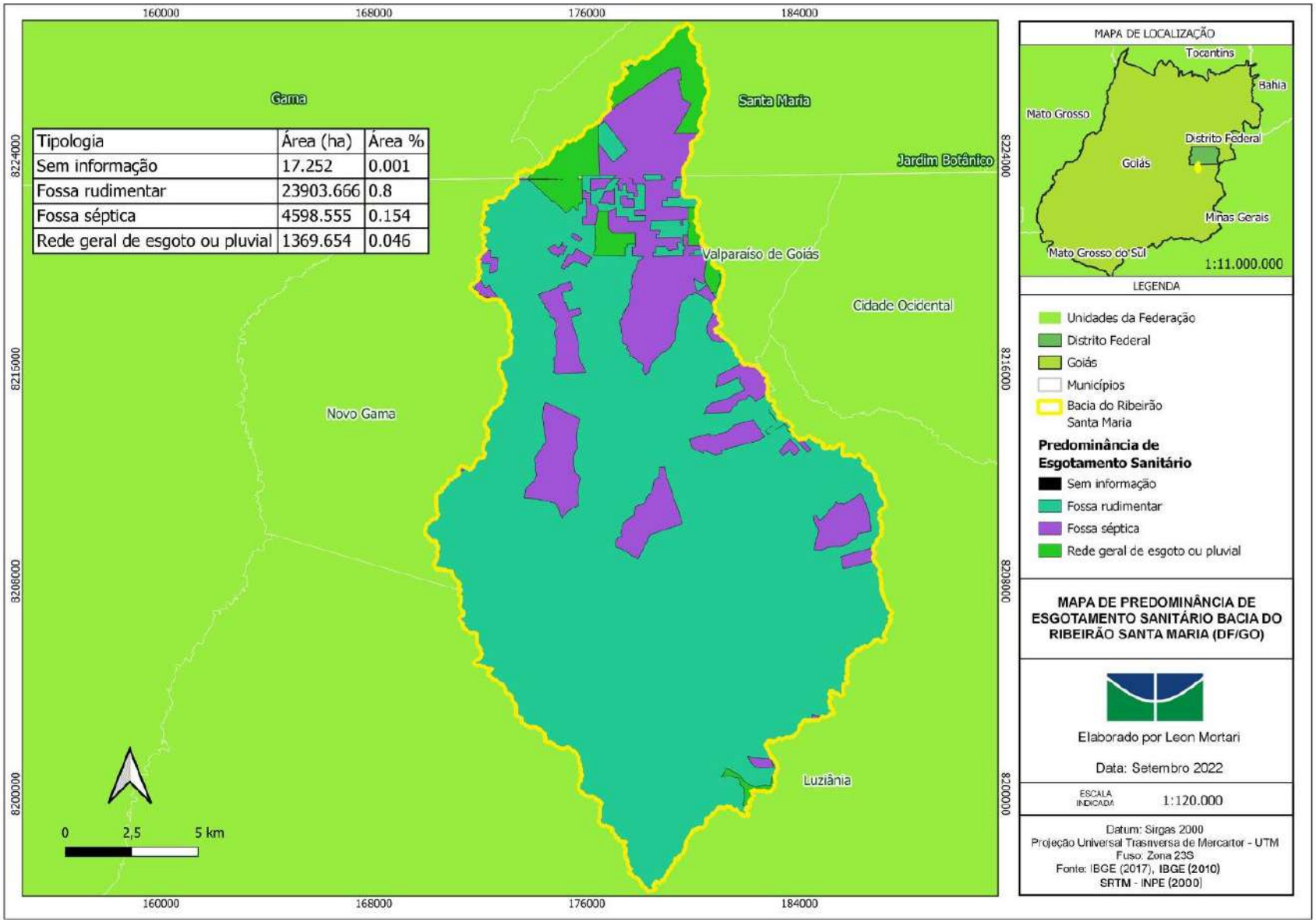


Figura 22 - Predominância de Esgotamento Sanitário da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

5.2. Avaliação espaço-temporal do uso e ocupação da BHSM

A partir dos mapas apresentados nas Figuras 24 a 26, pode-se observar a transformação dos usos da terra ao longo dos anos por parte de ações antrópicas. Em 1976 a região apresentava uma grande cobertura vegetal natural com pequenas manchas urbanas e parcelas de solo exposto espalhadas ao longo de sua extensão.

Observa-se em 1999 que a bacia já sofreu um grande processo de antropização intenso, com a intensificação das manchas urbanas e da área acometida por solo exposto.e consequentemente redução da vegetação natural. Em 2021 esse processo se intensifica ainda mais e percebe-se o princípio do uso do solo para fins agrícolas.

A área referente à mata-ciliar e vegetação natural por vezes podem ser confundidas no processo de classificação. De toda forma, é possível perceber a grande redução de ambas as áreas ao longo dos anos. A redução dessas ocupações tem um impacto direto na proteção e manutenção dos corpos hídricos, podendo colocar os cursos d'água em risco de poluição ou até mesmo de desaparecimento.

Além disso, nota-se que uma parcela da área urbana apresentada em 1999 passa a ser classificada como solo exposto em 2021. Isso pode ter ocorrido devido à baixa qualidade da imagem de satélite de 1999, o que comprometeu o processo de classificação, ou o abandono da região como área residencial e sem uma nova destinação de ocupação. A Figura 23 a seguir apresenta a variação da porcentagem de áreas das classes ao longo dos anos.

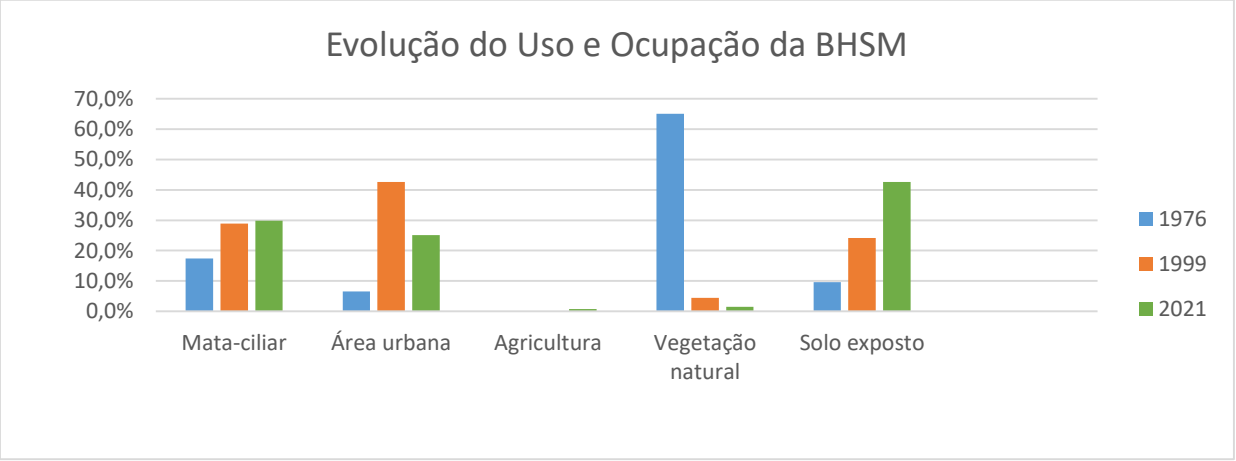


Figura 23 – Evolução do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria (DF/GO).

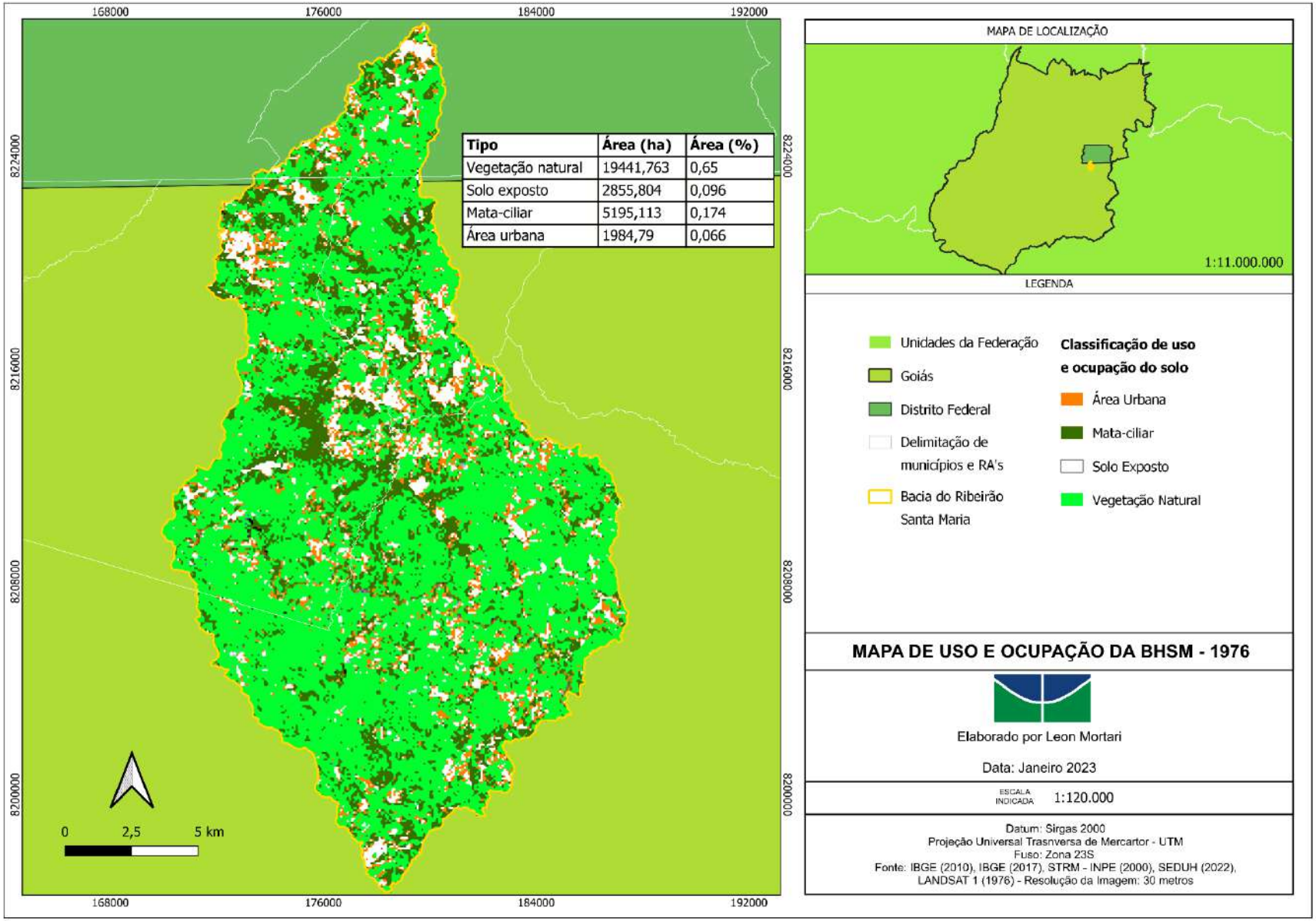


Figura 24 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 1976.

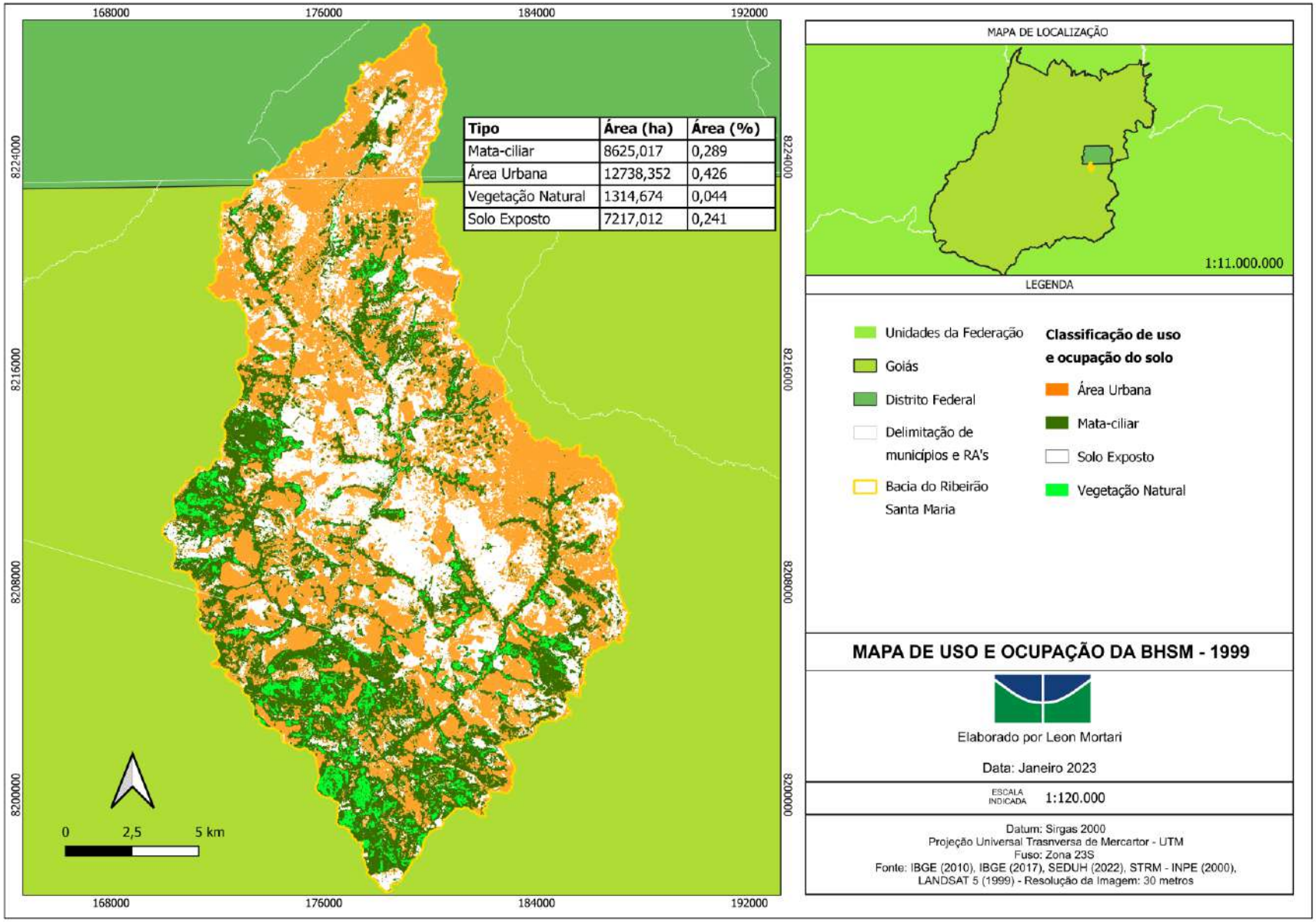


Figura 25 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 1999.

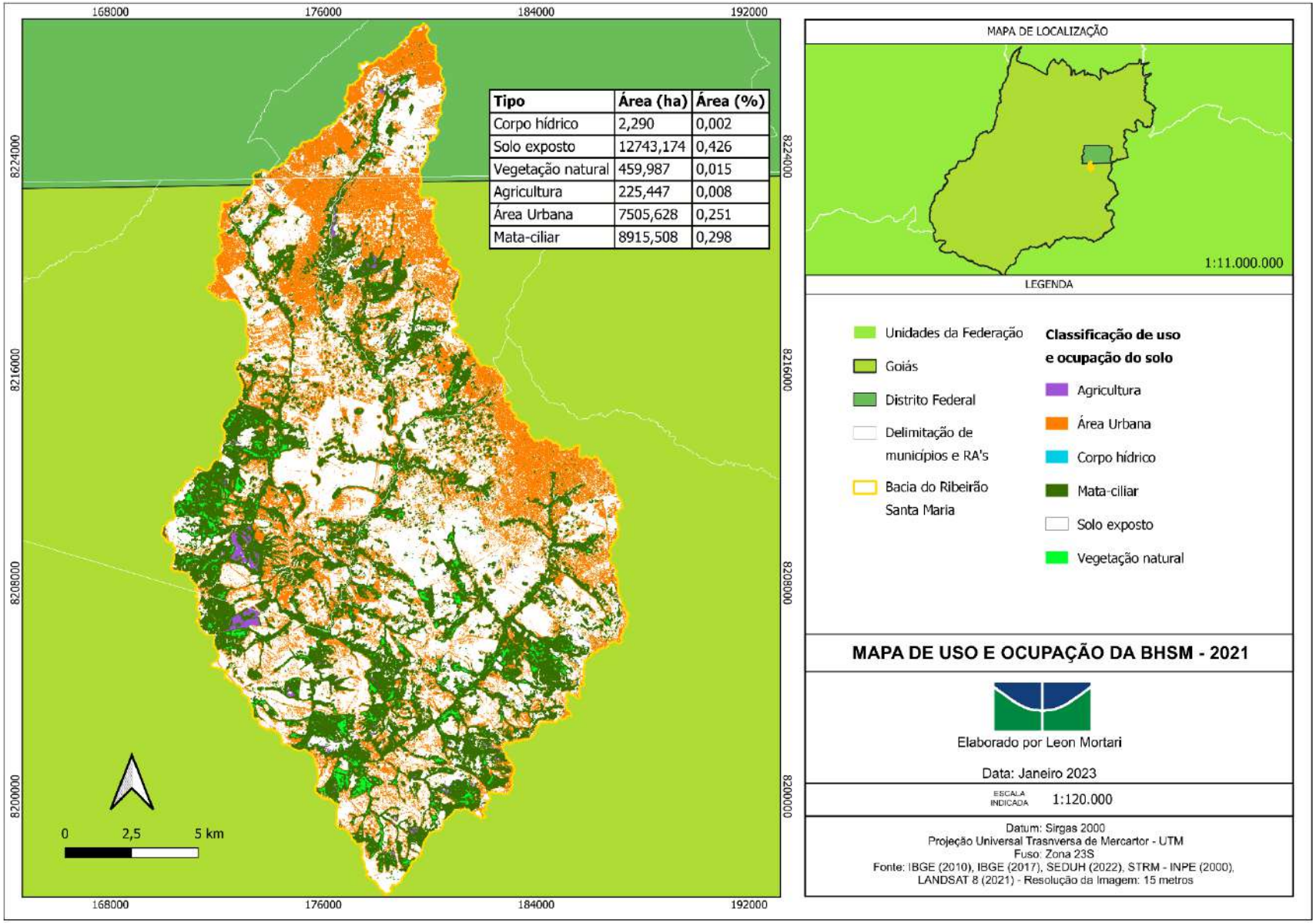


Figura 26 - Mapa de uso e ocupação do solo da BHSM - 2021.

5.3. Análise de Vazões e Qualidade da Água do Ribeirão Santa Maria

O Ribeirão Santa Maria é classificado como classe 2 pela Resolução Nº 02 de 17/12/2014 do CRH-DF no trecho inserido no Distrito Federal e o trecho pertencente ao estado do Goiás é classificada, também, como classe 2. No trecho goiano, em função de a classe de enquadramento não ter sido estabelecida pelo CBH Paranaíba (Federal) e nem aprovada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005, o Ribeirão também é classificado como classe 2 de qualidade.

Como não foram encontrados programas de monitoramento de qualidade de água estabelecidos no trecho goiano do ribeirão Santa Maria, a análise da situação de qualidade de água do Ribeirão baseou-se nos dados disponíveis para o trecho distrital. A partir dessas condições, na sequência serão apresentados e analisados os dados de qualidade de água monitorados do Ribeirão na área a montante da divisa entre o Distrito Federal e o estado de Goiás.

Foram disponibilizados pela Adasa, dados referentes à estação de monitoramento localizada na cabeceira da bacia, na divisa entre DF e GO. As informações disponibilizadas indicam valores para parâmetros de qualidade e vazão relativos às coletas realizada entre o período de 2015 e 2022. As Figuras 27 a 34 a seguir mostram gráficos que apresentam o perfil qualidade e quantidade da água, assim como os valores limites estabelecidos pela Resolução N° 357, de 17/03/2005 do CONAMA.

De antemão, vale destacar que, pelo fato de a estação de monitoramento estar localizada na cabeceira da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Maria, área que não dispõe de lançamentos pontuais de águas residuárias urbanas ou industriais, esgotos tratados ou sem tratamento, a condição esperada é que a qualidade da água do Ribeirão não apresente maiores problemas, condição que não representa a situação de toda a Bacia Hidrográfica, apenas de um trecho específico.

Na região a jusante da Bacia Hidrográfica, no lado goiano, o Ribeirão recebe variadas entradas de esgotos sem tratamento, de maneira difusa, provenientes das áreas urbanas dos municípios do Novo Gama e Valparaíso.

5.3.1. Vazão

A estação de monitoramento de Santa Maria registrou uma grande variação nos valores dos dados de vazão. Isso pode se dar devido ao período da coleta das informações, tendo em vista que o monitoramento é feito aproximadamente a cada três meses. A vazão é um parâmetro que influencia em outros parâmetros, podendo mascarar valores e dificultar a interpretação dos dados.

A vazão pode afetar diretamente os valores de alguns parâmetros de qualidade da água, como a turbidez, a concentração de nutrientes e a concentração de poluentes. Quando a vazão é alta, a água pode estar mais turva devido à presença de sedimentos e partículas em suspensão. Além disso, a concentração de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, pode ser menor em altas vazões, já que a diluição da água pode reduzir a concentração desses nutrientes.

Por outro lado, em baixas vazões, a água pode ficar mais concentrada e a concentração de nutrientes e poluentes pode ser maior. Isso pode ocorrer porque a água fica mais tempo em contato com o leito do rio ou córrego, o que pode aumentar a taxa de decomposição de material orgânico e a concentração de nutrientes e poluentes.

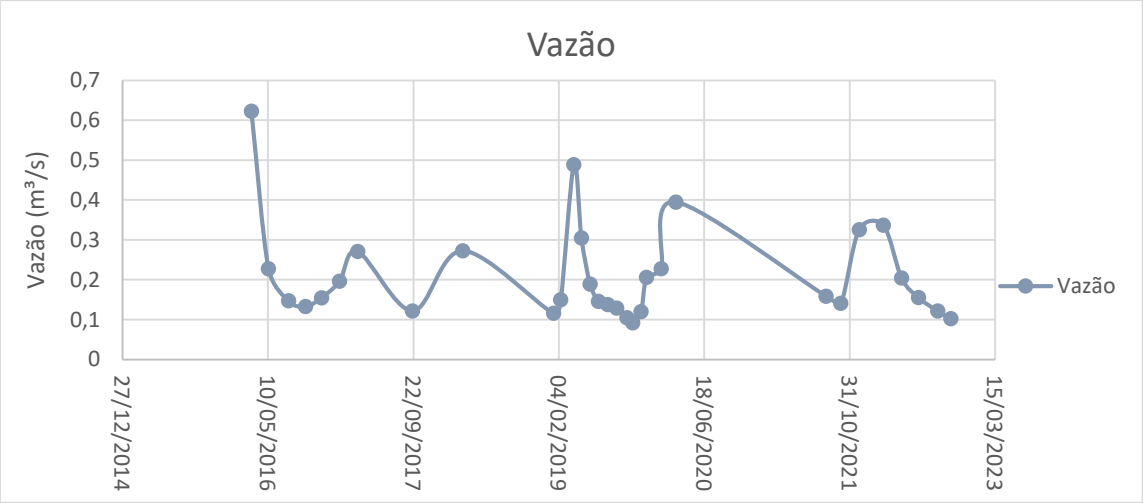


Figura 27 – Valores de Vazão – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.2. Turbidez

Os dados de turbidez encontram-se, ao longo de todo o período de monitoramento, em conformidade com o estabelecido pela CONAMA 357/2005. Percebe-se um valor discrepante dos demais em novembro de 2015, no período das chuvas, valor que deve estar associado aos impactos da poluição difusa, urbana e rural.

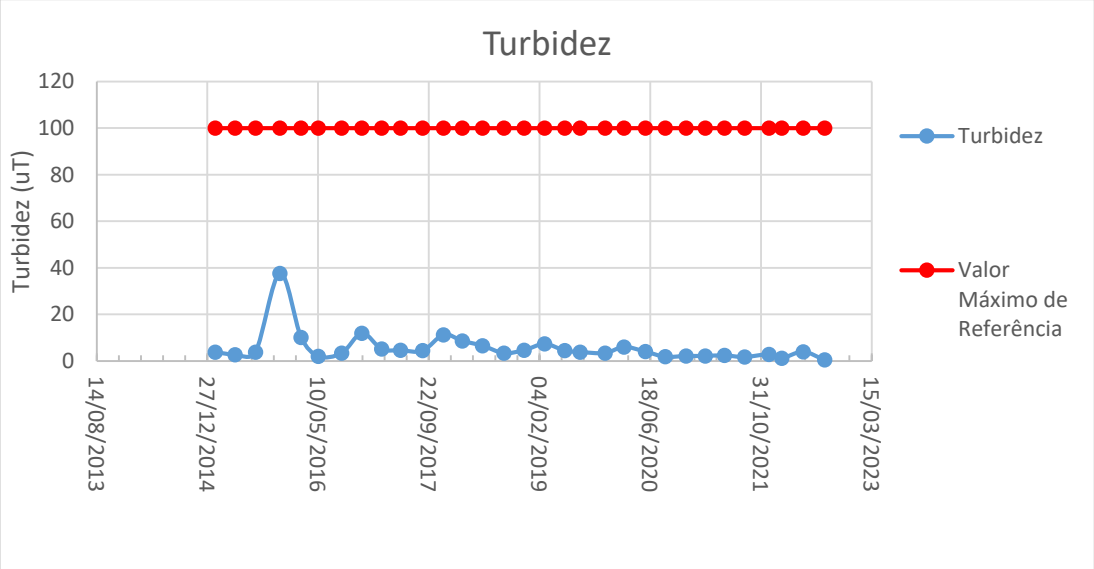


Figura 28 – Valores de Turbidez – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Percebe-se grandes variações nos dados monitorados de DBO, porém todos os valores registrados estão em conformidade com o padrão estabelecido referente à classe 2. O valor mais elevado de DBO foi observado em maio de 2018, durante o período de menor pluviosidade (período de estiagem) e menores vazões, em que o Ribeirão dispõe de menor capacidade para a diluição dos poluentes presentes na água. A ocorrência de chuvas nos dias anteriores ou mesmo nos dias em que foram coletadas as amostras pode ter influenciado nos resultados, aumentando o aporte de cargas de poluentes por fontes difusas.

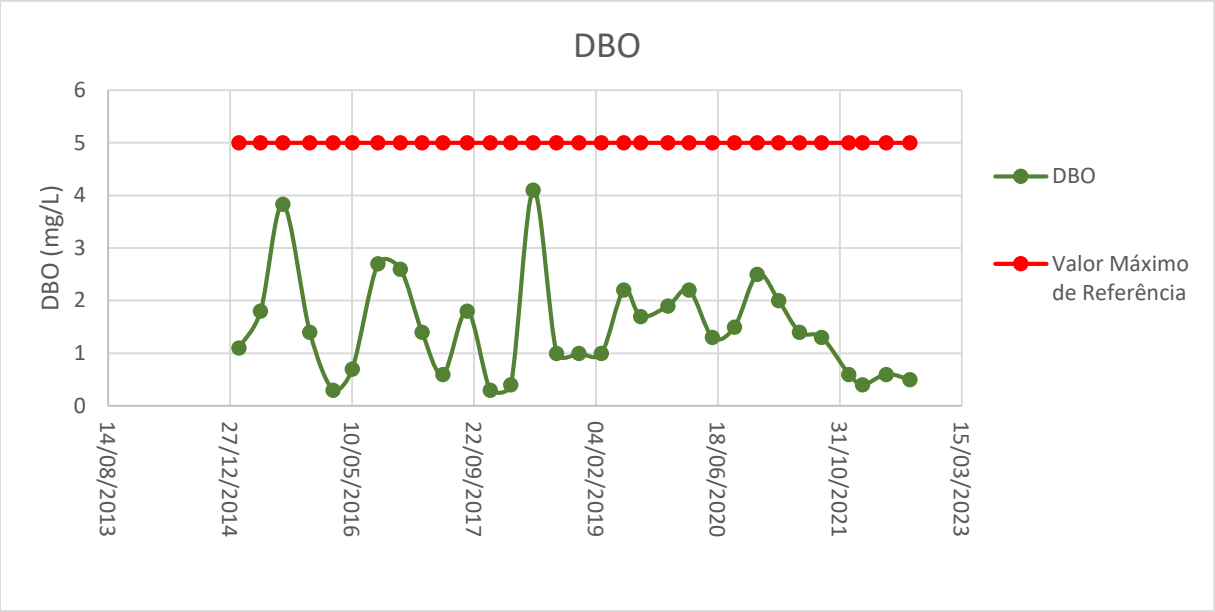


Figura 29 – Valores de DBO – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.4. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido também apresenta valores variados durante o monitoramento, chegando muito próximo do valor de referência em novembro de 2015, mas ainda assim apresentado valores acima do mínimo requerido pela resolução. Destaca-se que o menor valor apresentado ocorreu ao mês de novembro de 2015, época de chuvas na bacia hidrográfica. As chuvas podem contribuir com o aumento da entrada de poluentes por fontes difusas e, também, com a "lavagem" das áreas urbanas e das tubulações de águas pluviais, podendo aumentar a entrada de cargas de poluentes no Ribeirão e gerar um maior consumo de oxigênio dissolvido.

O oxigênio e a DBO estão relacionados na medida em que a DBO é um parâmetro que indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água, enquanto que o OD mede a quantidade de oxigênio dissolvido na água disponível para suportar a vida aquática.

Quando a DBO é alta, isso significa que há uma grande quantidade de matéria orgânica na água, o que pode esgotar o oxigênio dissolvido na água. O consumo excessivo de oxigênio pelos microrganismos aeróbios pode levar a uma redução do OD na água, o que

pode causar a morte de peixes e outras formas de vida aquática que dependem do oxigênio dissolvido para sobreviver.

Por outro lado, se o OD for baixo, isso pode indicar que a água não tem capacidade de suportar a vida aquática, já que as formas de vida aquática precisam de uma quantidade adequada de oxigênio dissolvido para sobreviver. A redução do OD pode ser causada por fatores como a presença de poluentes orgânicos, eutrofização, mudanças na temperatura da água, ou uma redução da vazão.

É necessário ainda destacar que essas variações sazonais são comuns em corpos hídricos, sendo importante realizar análises regulares para a monitoração da qualidade da água em todas as estações.

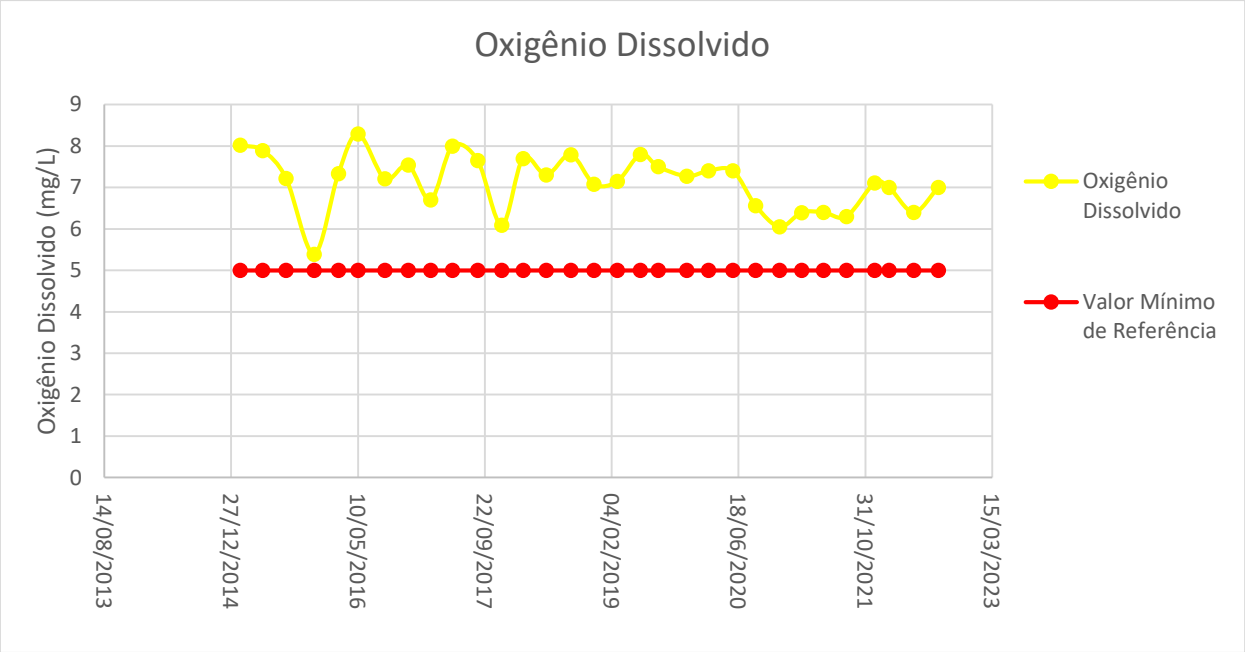


Figura 30 – Valores de Oxigênio Dissolvido – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.5. Fósforo Total

O fósforo apresenta maiores variações e estas passam do valor máximo de referência entre os anos de 2015 e 2017. A presença de fósforo na água pode ser uma indicação de poluição devido a fontes como efluentes domésticos, efluentes industriais e drenagem de áreas agrícolas e urbanas.

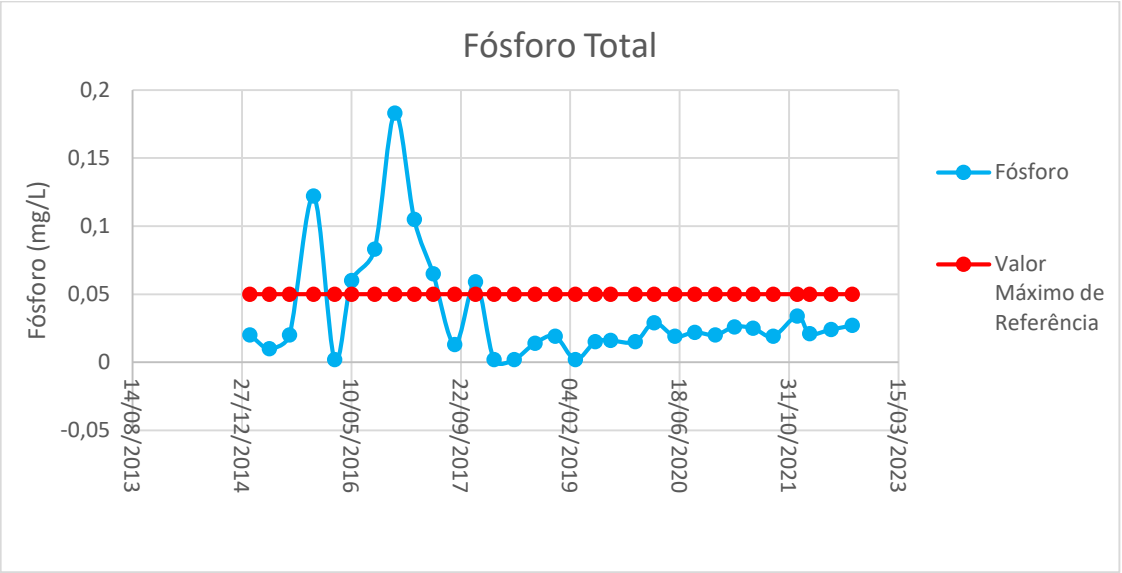


Figura 31 – Valores de Fósforo Total – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.6. Sólidos Totais

Os aumentos de sólidos totais, nessa parte da bacia, devem estar associados aos eventos de precipitação, pois as principais fontes de poluição deste trecho superior da bacia são as cargas difusas das áreas rurais e a área urbana da bacia, assim como, desmatamento e falta de proteção do solo.

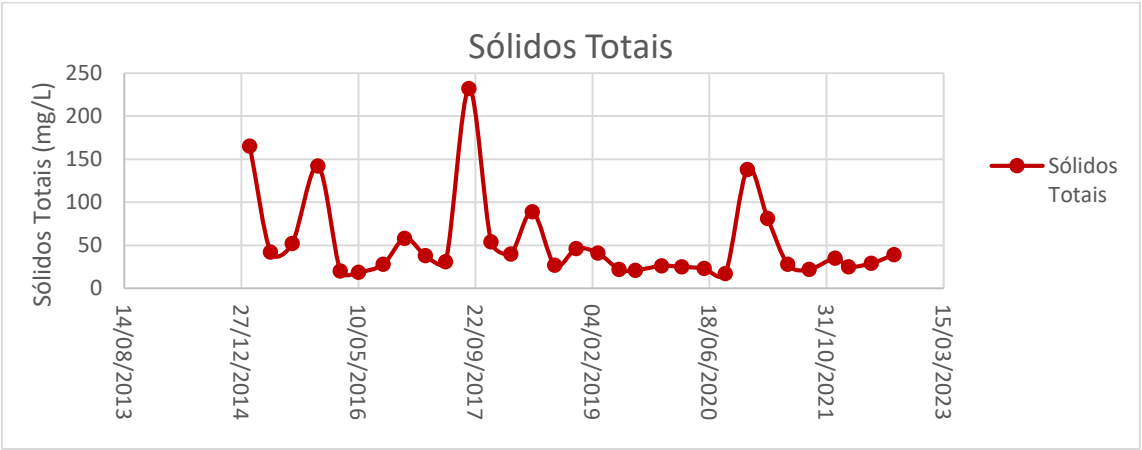


Figura 32 – Valores de Sólidos Totais – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.7. Nitrogênio Total

A quantidade total de nitrogênio é a soma das concentrações de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. A partir de agosto de 2018, houve uma diminuição contínua nas concentrações de nitrogênio total até o presente momento. A presença excessiva de compostos de nitrogênio nos corpos d'água pode ser prejudicial devido ao seu papel como nutriente para os processos biológicos, resultando em crescimento excessivo de algas ou cianobactérias e no consumo de oxigênio dissolvido da água. Esses compostos podem ser originados de fontes como o lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais, o escoamento de água das chuvas em solos que receberam fertilizantes em áreas agrícolas e a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas.

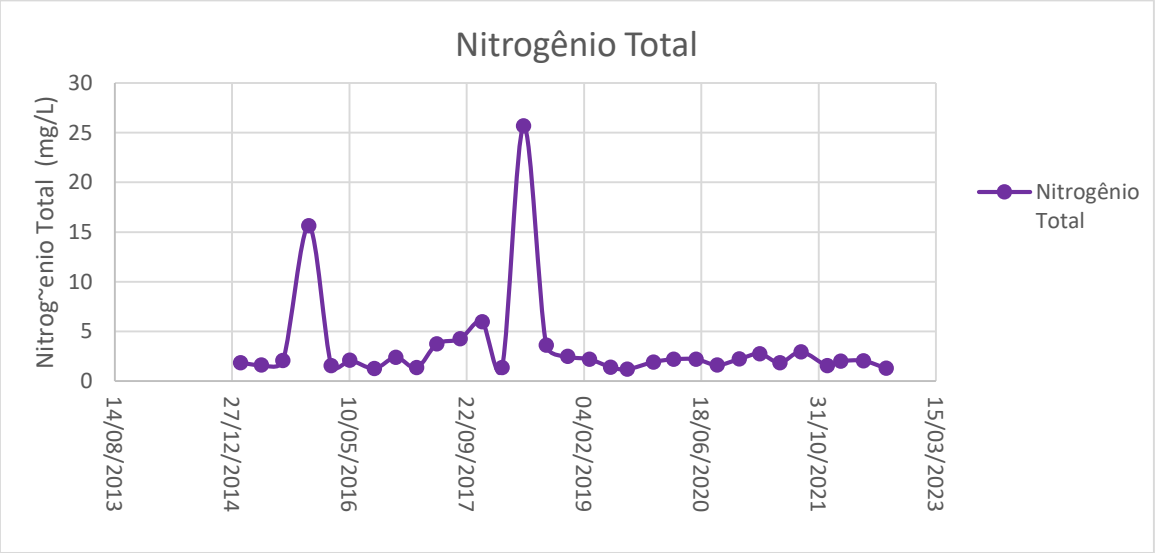


Figura 33 - Valores de Nitrogênio Total – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.8. pH

A partir de 2017 os valores de pH apresentam uma redução e se mantém baixos até as datas atuais, mesmo com pequenas variações, que podem ser explicadas pelas intermitências do período chuvoso e seco, uma vez as primeiras chuvas carregam partículas e compostos presentes nos solos das áreas urbanas da bacia e influenciam no valor de pH.

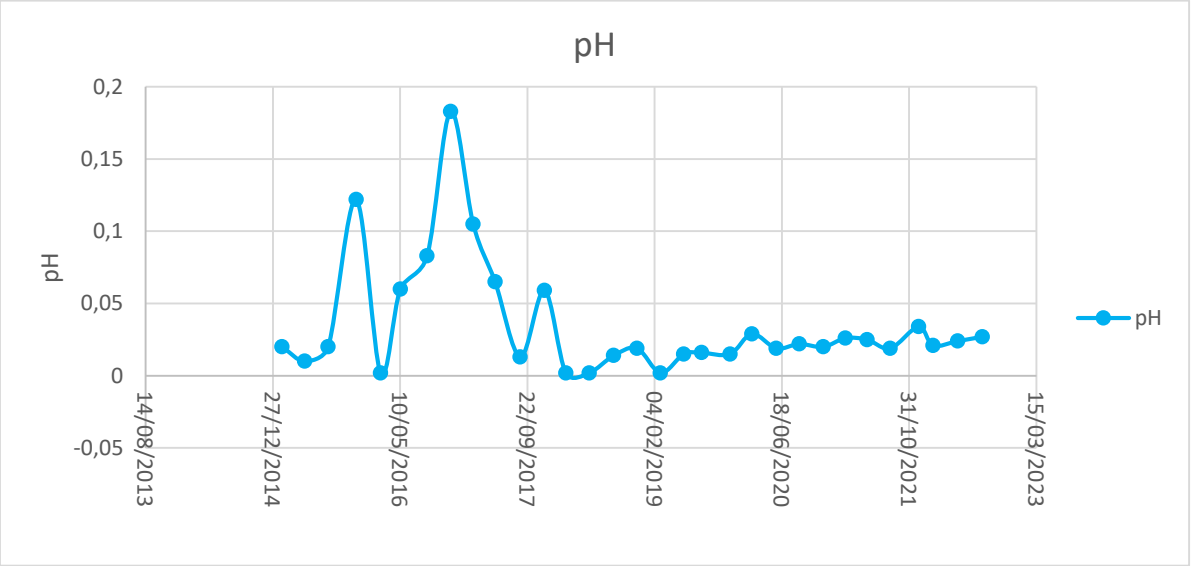


Figura 34 - Valores de pH – Estação de Monitoramento Santa Maria (Fonte: Adasa).

5.3.9. IQA do Ribeirão Santa Maria

No portal da Adasa é apresentado os valores do índice de Qualidade da Água referentes às estações de monitoramento, que consiste na avaliação qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. A classificação do IQA é mostrada na Figura 35 e a determinação do IQA segundo a Adasa para a estação de monitoramento de Santa Maria está expresso na Figura 36.

Condição	Valor do IQA
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	0 < IQA ≤ 19

Figura 35 – Classificação do IQA (ADASA).

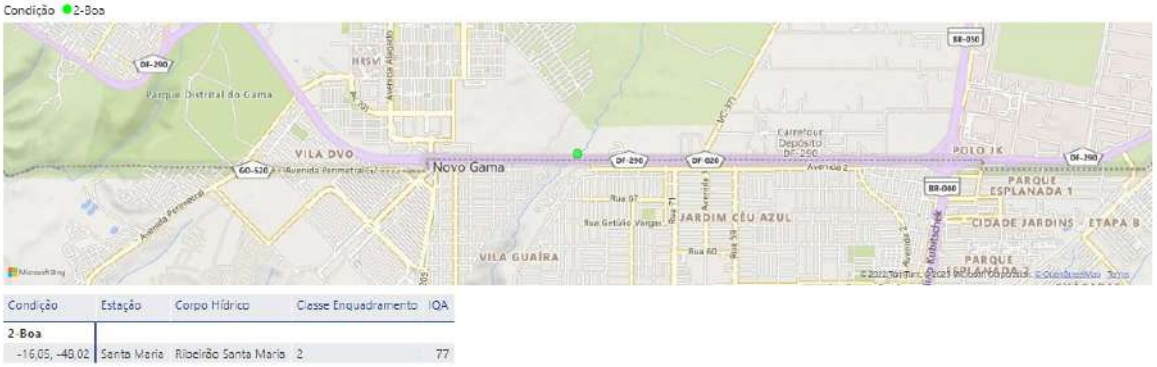


Figura 36 – Condição do IQA da Estação de Monitoramento do Ribeirão Santa Maria.

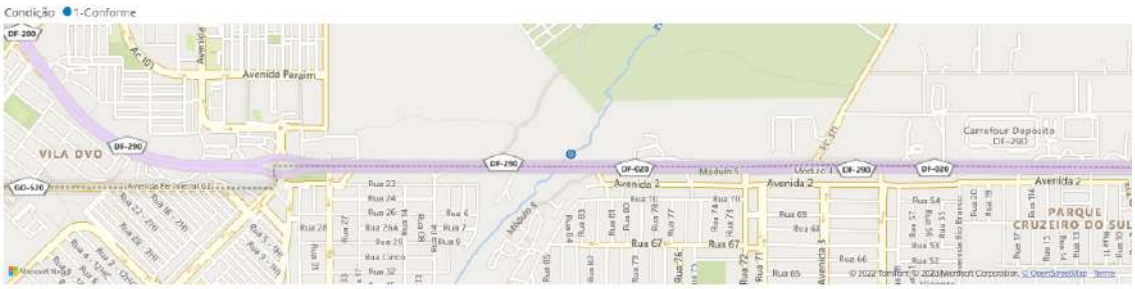
5.4. Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

Ainda no portal da Adasa, é possível avaliar o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), que é utilizado para facilitar a compreensão do cumprimento das metas de qualidade estabelecidas. A classificação do ICE é apresentado na Figura 37.

Condição de Atendimento	Valor do ICE	Significado
Conforme	94<ICE	A qualidade da água está compatível com a classe de enquadramento
Adequado	79<ICE≤94	A qualidade da água apresenta pequenos desvios em relação à classe de enquadramento
Regular	64 < ICE ≤ 79	A qualidade da água apresenta desvios moderados em relação à classe de enquadramento
Afastado	44 < ICE ≤ 64	A qualidade da água apresenta significantes desvios em relação à classe de enquadramento
Não Conforme	ICE ≤ 44	A qualidade da água está incompatível com a classe de enquadramento

Figura 37 – Classificação do ICE (ADASA).

A partir desses parâmetros e classificações, para os dados relativos à estação de monitoramento do Ribeirão Santa Maria, a Adasa afirma que o ribeirão está em conformidade com o enquadramento estabelecido pelo CRH-DF, assim como apresentado na Figura 38.



Condição	Estação	Corpo Hídrico	Classe Enquadramento	Tipologia ICE	ICE
1-Conforme					
-16,05, -48,02	Santa Maria	Ribeirão Santa Maria	2	Lótico urbano	100

Figura 38 – Relação do ICE referente à Estação de Monitoramento do Ribeirão Santa Maria.

É importante destacar que a região onde a estação de monitoramento está localizada não há lançamento de efluentes tratados ou em estado bruto (a não ser que ocorra de forma clandestina), logo é propício que os dados apresentem uma condição relativamente boa de qualidade da água.

Ademais, os dados são relativos exclusivamente à realidade do DF. A maior fração da extensão do Ribeirão está presente no estado do Goiás, onde não há um monitoramento e percebe-se, através do mapa temático, menor infraestrutura em relação ao esgotamento sanitário.

.

6. CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo, a partir dos dados disponíveis sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Maria, aprofundar o entendimento sobre essa importante unidade hidrográfica que ocupa duas unidades da Federação e deságua na região a montante do Reservatório de Corumbá III. Foram levantadas e analisadas as características físicas da Bacia Hidrográfica e, também, as condições atuais e as tendências de qualidade de água do ribeirão Santa Maria, o principal curso d'água dessa unidade hidrográfica, analises baseadas em dados escassos em termos de representatividade espacial.

A caracterização morfométrica foi realizada na região de estudo considerando sua área em totalidade. Como resultado do estudo, a área total da Bacia Hidrográfica foi definida em 298,89 km². Em termos hidrológicos, identificaram-se baixas tendências da bacia quanto à picos de cheia e geração de novos cursos d'água e uma classificação regular quanto á drenagem da bacia.

A partir dos resultados obtidos por meio da avaliação temporal do uso e ocupação do solo na bacia, observou-se apenas para o cenário de 1999, uma incorformidade ao esperado, uma vez que foi evidenciado um aumento exacerbado na área urbana da bacia, com posterior diminuição para o ano de 2021, ano em que os dados se mostraram mais próximos da realidade. Percebeu-se também a confusão entre as classes de vegetação natural e mata-ciliar e área urbana e solo exposto. Ao observar seu histórico de ocupação, identificou-se uma propensão em um processo de ocupação urbana mais intensificado e diversificado.

O recurso da avaliação espaço-temporal, apesar da diferença da resolução das imagens, ainda assim apresenta um resultado importante nos termos de monitoramento da ocupação do solo. Por meio das imagens de 1999 e 2021, observou-se alterações marcantes ao longo da área da bacia e áreas que foram preservadas ao longo do tempo.

Destaca-se como uma região que deve receber uma atenção prioritária, umas vez que suas águas são afluentes do Rio Corumbá, desaguando na Represa de Corumbá III, um reservatório sob risco de eutrofização caso não haja um planejamento orientado de forma a conter a ocupação próxima aos cursos d'água afluentes.

Os dados monitorados avaliados confirmam a conformidade das águas do Ribeirão com a classe 2 no trecho superior da BHMS, no Distrito Federal. No entanto, essa avaliação não vale para toda a extensão do Ribeirão, uma vez que só há uma estação de monitoramento na cabeceira da bacia. Para uma confirmação da conformidade, seria necessário o monitoramento das águas em outros pontos do curso d'água em função dos variados usos a que o Ribeirão ainda é submetido no lado goiano, pela população dos municípios do Novo Gama e Valparaíso, como a balneabilidade e a irrigação de hortaliças.

7. RECOMENDAÇÕES

A BHSM necessita de um aprimoramento das informações ambientais disponíveis como subsídio à gestão ambiental, gestão de recursos hídricos e à implementação do saneamento básico. Somente com esse aprimoramento será possível avaliar os riscos e impactos do uso e ocupação na região da Bacia atualmente e sobre as perspectivas futuras. Diante disso, recomenda-se a continuidade de estudos exploratórios de caracterização e monitoramento na bacia de forma a continuar o monitoramento da ocupação do solo e a qualidade das águas.

Sugere-se uma avaliação mais aprofundada da evolução do uso e ocupação do solo na bacia, diminuindo o intervalo entre as análises e identificando os pontos de alteração, para a devida previsão da ocupação futura da área. É preciso fazer a avaliação da classificação com uma atenção especial para a possibilidade de confusão das classes, o que impacta na avaliação espaço-temporal.

Recomenda-se a aplicação de indicadores de vulnerabilidade na área a partir os dados levantados e dos dados já existentes a respeito da bacia para localizar áreas propícias a recarga de aquíferos, erosão, assoreamento.

Como a bacia carece de dados, também é importante um estudo para a alocação estratégica de estação de monitoramento, além de ser necessária uma parceria DF-GO (universidades, por exemplo) para estudar e monitorar em conjunto já que o corpo hídrico é interestadual.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728.

ANA. (2013). *Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba*. Brasília: Agência Nacional de Águas. 312p.

ANA. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.* Brasília: Agência Nacional de Águas. 169p.

ANA. (2017). *Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas*. https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989. Acesso em 29 ago. 2022.

ANA. (2020). *Enquadramento dos corpos d'água em classes*. Brasília: Agência Nacional de Águas. 60p.

ANA. (2022). *Atlas Despoluição de Bacias Hidrográficas*. Dados por municípios. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjA1ZjQwZWUtYmRkYS00YjM0LWFhMjItMTMyOTQ0NDljNGQyIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9. Acesso em 29 ago. 2022.

ANA. *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-procedimentos.aspx>. Acesso em: 22 ago. 2022.

Almeida, W. S. D. (2005). *Coari: petróleo e sustentabilidade*. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável.

Barcellos, R. de S. (2019). *Caracterização ambiental e modelagem hidrológica das bacias hidrográficas dos Ribeirões Paiva e Santa Maria (DF/GO).* Monografia de Projeto

Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

Bogéa, R. S., Minoti, R. T. (2017). *Caracterização física preliminar e modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Maria (DF/GO).* Programa de Iniciação Científica, Universidade de Brasília,

BRASIL. (2007). *Sistemas de Informações Geográficas e Análise Espacial na Saúde Pública.* Fundação Oswaldo Cruz; Simone M. Santos, Reinaldo Souza-Santos, organizadores. – Brasília: Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz, 148 p.

Brito, L. T. de L., Moura, M. S. B. de, GAMA, G. F. B. (2007). *Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro.* Embrapa Semi-Árido, Petrolina.

Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal.

Chaves, H. M. L.; Santos, L. B. dos. (2009). *Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, p. 922-930.

CODEPLAN. (2020). *Atlas do Distrito Federal, Capítulo 2: Caracterização Ambiental* . Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Disponível em: <https://cbhparanaiba.org.br/gestao-da-bacia/instrumentos-de-gestao>. Acesso em: 22 ago. 2022.

IBGE. *Base contínua*. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

EMBRAPA. (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p.

Engeplus – Engenharia e Consultoria Ltda. Elaboração do plano de recursos hídricos dos afluentes distritais do Rio Paranaíba (PRH – Paranaíba – DF). Brasília, 2020.

Fayal, M. A. de A. (2008). *Previsão de vazão por redes neurais artificiaise transformada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p.

FISRWG (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG)(15 Federal agencies of the US gov't). GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3.

Leite, M. E., & Ferreira, M. F. F. (2013). *Análise espaço-temporal do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tabuas, Norte de Minas Gerais, com aplicação das geotecnologias*. Revista Brasileira de Geografia Física.

Lopes, L. H., Lopes, E. A. (2007). *Mapas temáticos. Expressão gráfica para análise de resultados de pesquisas envolvendo espaço e tempo*. Revista Graphica-UFPR, Curitiba-PR.

Lima, A. M. M.; Ponte, M. X. (2009). *O Estudo da Paisagem e o Planejamento Estratégico como Bases da Gestão da Oferta Hídrica no Estado do Pará: Discussão Teórica e Metodológica*. Revista Geociências, v.28, n.3, p.319-33.

Lima, F. J. de, *et al*. (2022). *Parâmetros Morfométricos Aplicados à Bacia Do Rio Da Batateira (Ceará - Brasil) Para Identificar Suscetibilidade a Enchentes*. Revista de Geografia, vol. 39, no. 1.

Lopes, I. (2016). *Caracterização morfométrica e uso do solo da Bacia Hidrográfica Do Rio Pontal.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro - BA.

Pereira, A. R., de Almeida, A., & Koide, S. (2021). *Avaliação da influência do uso e cobertura do solo e da retirada de água subterrânea sobre a vazão do Ribeirão Tortinho (DF)*. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 62-91.

Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. (2012). *Relatório Síntese*. Governo do Distrito Federal. Brasília.

Setezer, J. *Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo*. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61p.

Silva, E. R. M.; Rocha, E. J. P.; Barbosa, I. C. C.; Silva, H. J. F.; C., L. G. S. (2020). *Diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Apeú através de fatores geoambientais e climáticos*. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 3, p. 137-154.

Strahler, A. N. (1952). *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geological society of America bulletin, 63(11), 1117-1142.

TOPODATA. *Banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em 11 set. 2022.

Tucci, C. E. M. (2014). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS. 943 p.

Tucci, C. E. M.; Mendes, C. A. B. (2006). *Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfic*a. Brasília : Ministério do Meio Ambiente, 302 p.

Tundisi, J., Matsumura-Tundisi, T. *A Água*. São Carlos, 2020.

NORMAS E LEGISLAÇÕES

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

CNRH Resolução Nº 30, de 11 de dezembro de 2002.

CNRH Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003.

CNRH Resolução Nº 91, de 05 de novembro de 2008.

CNRH Resolução Nº 141, de 14 de julho de 2012.

CRH-DF Resolução nº 02, de 17 de dezembro de 2014.

CONAMA Resolução Nº 274, de 29 de novembro de 2000.

CONAMA Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA Resolução Nº 396, de 03 de abril de 2008.