

UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE FRANCISCO BELTRÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO

GABRIEL BRAZ

**Geotecnologias Aplicadas ao Estudo das Nascentes na Bacia do Rio Lonqueador: Gestão
de APPs e Mapeamento Interativo**

Francisco Beltrão

2024

GABRIEL BRAZ

Geotecnologias Aplicadas ao Estudo das Nascentes na Bacia do Rio Lonqueador: Gestão de APPs e Mapeamento Interativo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, na linha de pesquisa “Dinâmica, Utilização e Preservação do Meio Ambiente” do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *campus* Francisco Beltrão.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Painsai

Coorientadora: Profa. Dra. Elaiz Aparecida Mensch Buffon

Francisco Beltrão

2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Braz, Gabriel

Geotecnologias Aplicadas ao Estudo das Nascentes na Bacia do Rio Longueador: Gestão de APPs e Mapeamento Interativo / Gabriel Braz; orientador Julio Cesar Painsai; coorientadora Elaiz Aparecida Mensch Buffon. -- Francisco Beltrão, 2025. 88 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Francisco Beltrão) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2025.

1. Nascentes. 2. Áreas de Preservação Permanente. 3. Gestão Ambiental. 4. Cabeceira de drenagem. I. Cesar Painsai, Julio, orient. II. Aparecida Mensch Buffon, Elaiz, coorient. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Francisco Beltrão

Rua Maringá, 1200 – Bairro Vila Nova

Fone (0**46) 3520-4845 – CEP.: 85605-010 – Francisco Beltrão – PR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO/DOCTORADO



TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIEL BRAZ

TÍTULO DO TRABALHO: GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO DAS NASCENTES NA BACIA DO RIO LONQUEADOR: GESTÃO DE APPS E MAPEAMENTO INTERATIVO

DISSERTAÇÃO apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, Mestrado e Doutorado, Área de Concentração: Produção do Espaço e Meio Ambiente, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Campus de Francisco Beltrão, julgada adequada e aprovada, em sua versão final, pela Comissão Examinadora, que concede o Título de Mestra em Geografia ao autor.

COMISSÃO EXAMINADORA

Julio Cesar Paisani – Orientador

Elaiz Aparecida Mensch Buffon – UNIOESTE/FB

Erivelto Mercante – UNIOESTE/CAS

Romario Tretin - UFSM

Francisco Beltrão, 27 de fevereiro de 2025

Geotecnologias Aplicadas ao Estudo das Nascentes na Bacia do Rio Lonqueador: Gestão de APPs e Mapeamento Interativo

Resumo

A água desempenha um papel vital para a vida e a sustentabilidade ambiental, mas a degradação de nascentes das bacias hidrográficas compromete sua disponibilidade. Este estudo utilizou ferramentas de geotecnologia, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, para investigar as condições socioambientais da Bacia do Rio Lonqueador, situada no sudoeste do Paraná entre os municípios de Francisco Beltrão e Marmeleiro. A pesquisa buscou validar as localizações das nascentes, delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e analisar as vulnerabilidades socioambientais associadas ao uso do solo. A metodologia incluiu a aplicação de mapas interativos, que permitem observar todos os dados de forma integrada e interativa. Foi constatado que a expansão urbana, combinada com práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, é a principal ameaça à qualidade das nascentes. A pesquisa também identificou áreas críticas com maior vulnerabilidade socioambiental associadas à falta de infraestrutura básica, como saneamento e coleta de resíduos sólidos, e baixa renda da população. Esses fatores amplificam os impactos ambientais e reforçam a necessidade de políticas públicas eficazes para proteger as nascentes e assegurar o equilíbrio hidrológico da bacia. Os resultados foram integrados em uma plataforma SIG que permite monitoramento contínuo das nascentes, avaliação de riscos e planejamento de intervenções. O estudo conclui que o uso de geotecnologias oferece uma base para a gestão sustentável de bacias hidrográficas, auxiliando na recuperação de áreas degradadas, na proteção de nascentes e no desenvolvimento de estratégias para mitigar os impactos da urbanização. Os mapas e cenários gerados servem como ferramentas estratégicas para a formulação de políticas ambientais e para a conscientização da sociedade sobre a importância da preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chaves: Nascentes. Áreas de Preservação Permanente. Gestão Ambiental. Geotecnologias.

Geotechnologies Applied to the Study of Springs in the Lonqueador Watershed: PPA Management and Interactive Mapping

Abstract:

Water plays a vital role in life and environmental sustainability, but the degradation of water springs in watersheds compromises its availability. This study used geotechnology tools, such as Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing, to investigate the socio-environmental conditions of the Lonqueador Watershed, located in southwestern Paraná between the cities of Francisco Beltrão and Marmeleiro. The research sought to validate the locations of water springs, delimit Permanent Preservation Areas (PPA) and analyze the socio-environmental vulnerabilities associated with land use. The methodology included the application of interactive maps, which allow all data to be observed in an integrated and interactive way. It was found that urban expansion, combined with inadequate land use and occupation practices, is the main threat to the quality of water springs. The research also identified critical areas with greater socio-environmental vulnerability associated with the lack of basic infrastructure, such as sanitation and solid waste collection, and low income of the population. These factors amplify environmental impacts and reinforce the need for effective public policies to protect springs and ensure the hydrological balance of the watershed. The results were integrated into a GIS platform that allows continuous monitoring of springs, risk assessment and intervention planning. The study concludes that the use of geotechnologies offers a basis for sustainable management of watersheds, assisting in the recovery of degraded areas, the protection of springs and the development of strategies to mitigate the impacts of urbanization. The maps and scenarios generated serve as strategic tools for the formulation of environmental policies and for raising awareness in society about the importance of preserving water resources.

Keywords: Springs. Permanent Preservation Areas. Environmental Management. Headwaters. Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Lonqueador-----	13
Figura 2 – Mapa de solo da Bacia do Rio Lonqueador-----	15
Figura 3 – Mapa do clima (Classificação de Koppen) na Bacia do Rio Lonqueador -----	16
Figura 4 – Integração de dados para o mapeamento interativo-----	34
Figura 5 – Fluxograma de coleta de dados -----	41
Figura 6 – Painel de visualização da aplicação de campo-----	43
Figura 7 – Fluxograma do Survey 123-----	44
Figura 8 – Etapas para a criação do Dashboard no ArcGIS-----	46
Figura 9 – Mapa do trabalho de campo -----	47
Figura 10 – Mapa de cabeceira de drenagem da Bacia do Rio Lonqueador-----	52
Figura 11 – Mapa de cabeceira de drenagem alongada e circular/oval -----	53
Figura 12 – Mapa de uso e ocupação do solo IAT – 2015 -----	56
Figura 13 – Mapa de uso e ocupação do Solo MAPBIOMAS – 2023 -----	57
Figura 14 – Mapa interativo ArcGIS online-----	62
Figura 15 – Mapa da variável de vulnerabilidade – alfabetização -----	65
Figura 16 – Mapa da variável de vulnerabilidade – coleta de lixo-----	66
Figura 17 – Mapa da variável de vulnerabilidade – rede de esgoto -----	67
Figura 18 – Mapa da variável de vulnerabilidade – renda -----	68
Figura 19 – Mapa da variável de vulnerabilidade – moradia irregular -----	69
Figura 20 – Mapa de vulnerabilidade socioambiental na Bacia do Rio Lonqueador -----	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos solos presentes na Bacia do Rio Lonqueador -----	14
Quadro 2 – Definições de nascentes-----	23
Quadro 3 – Definição de cabeceira de drenagem-----	27
Quadro 4 – Conceitos base para o processo de gestão de risco de desastre -----	29
Quadro 5 – Base de dados cartográficos-----	35
Quadro 6 – Variáveis utilizadas do censo demográfico de 2010-----	36
Quadro 7 – Distribuição das nascentes na Bacia do Rio Lonqueador -----	51
Quadro 8 – Classificação das cabeceiras de drenagem -----	51
Quadro 9 – Categorias de uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Lonqueador – IAT – ano de 2015 -----	55
Quadro 10 – Classificação e percentual de cobertura do solo do MAPBIOMAS – ano de 2023 -----	58
Quadro 11 – Distribuição das nascentes na Bacia do Rio Lonqueador -----	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BGDEx	Banco de Geodados do Exército Brasileiro
MDE	Modelo Digital de Elevação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAT	Instituto Água e Terra
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SIG	Sistema de Informação Geográfica
USGS	United States Geological Survey
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 ÁREA DE ESTUDO	13
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4.1 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	17
4.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DE NASCENTES NO BRASIL	18
4.3 NASCENTES	21
4.4 CABECEIRA DE DRENAGEM	25
4.5 IMPACTOS, VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E RISCOS	28
4.6 GEOTECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RISCOS	30
5 METODOLOGIA	34
5.1 DADOS TEMÁTICOS SECUNDÁRIOS	34
5.2 TÉCNICAS E FERRAMENTAS DE ANÁLISE	37
5.2.1 Delimitação da hidrografia e nascentes pela carta topográfica	37
5.2.2 Delimitação das APPs de nascentes e cursos d'água	37
5.3 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS APPS DE NASCENTES E CURSOS D'ÁGUA	38
5.3.1 Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental	39
5.4 CRIAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO DE CAMPO NO APLICATIVO SURVEY 123	42
5.5 CRIAÇÃO DO MAPA INTERATIVO PELO APLICATIVO DASHBOARD	44
5.6 ETAPAS DE CAMPO PARA AVALIAÇÃO DAS NASCENTES	46
5.7 COLETA DE FOTOGRAFIAS AÉREAS COM DRONE PARA O INVENTÁRIO	49
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
6.1 VALIDAR AS NASCENTES MAPEADAS NA CARTA TOPOGRÁFICA NA ESCALA 1:25000 DA BACIA DO RIO LONQUEADOR	50

6.2 CABECEIRA DE DRENAGEM-----	51
6.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO-----	54
6.4 CAMINHO METODOLÓGICO PARA INVENTÁRIO DAS NASCENTES EM CAMPO -----	60
7 ANALISAR ESPAÇO-TEMPORALMENTE AS NASCENTES MAPEADAS E SUAS RELAÇÕES COM A VULNERABILIDADE E RISCOS SOCIOAMBIENTAIS-----	64
8 PROPOR MEDIDAS E ESTRATÉGIAS PARA MONITORAMENTO DE NASCENTES COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS -----	73
8.1 BASE LEGAL E DIRETRIZES PARA MONITORAMENTO -----	73
8.2 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) -----	73
8.3 SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO CONTÍNUO -----	74
8.4 MONITORAMENTO PARTICIPATIVO E ENVOLVIMENTO COMUNITÁRIO-----	74
8.5 MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL -----	74
9 CONCLUSÕES-----	76
10 REFERÊNCIAS-----	78
11 APÊNDICES-----	84

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida, sendo um recurso natural indispensável para o desenvolvimento de todas as formas de vida na Terra. No entanto, sua disponibilidade e qualidade estão sob constante ameaça devido a fatores como mudanças climáticas, poluição e uso inadequado. A água tem um papel fundamental para a agricultura, o abastecimento humano, o transporte fluvial, a geração de energia, conforme Santos e Marchioro (2020). Diante disso, a gestão eficiente dos recursos hídricos tem se tornado uma dificuldade para a conservação, priorizando a otimização do uso da água e assegurando sua qualidade para atender às demandas da sociedade e preservar os ecossistemas, conforme discutido por Rebouças (2001).

As nascentes, fontes primárias de rios, córregos e riachos, possuem papel central nos ecossistemas terrestres e aquáticos, sendo fundamentais para a biodiversidade e para a manutenção do ciclo hidrológico (Magalhães Junior, 2013). A conservação dessas áreas é indispensável para a sustentabilidade ambiental e para o abastecimento humano. Contudo, a urbanização desordenada, a exploração excessiva, a poluição e as mudanças climáticas comprometem a qualidade e a disponibilidade da água. Abreu e Fabríz (2013) reforçam que tanto a preservação de nascentes quanto a manutenção de matas ciliares promovem a recarga dos níveis freáticos, previnem a erosão do solo e asseguram benefícios ambientais para as gerações atuais e futuras.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil passou por uma transformação significativa a partir da criação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n.º 9.433/97, que reconheceu a água como um bem econômico e introduziu diretrizes para seu uso sustentável. No entanto, embora a legislação estabeleça princípios voltados à proteção e ao uso racional dos recursos hídricos, a implementação prática enfrenta desafios, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno porte, onde a qualidade das nascentes, muitas vezes, não é avaliada de forma sistemática.

No Paraná, iniciativas como o programa “Cultivando Água Boa”, da Itaipu Binacional, e o Programa Estadual de Proteção de Nascentes do Sistema Estadual de Agricultura (Seagri), que busca preservar 30 mil nascentes até 2026, destacam esforços para proteger as fontes de água e a biodiversidade. Apesar disso, a qualidade socioambiental de nascentes localizadas em bacias urbanizadas, como a do Rio Lonqueador, ainda carece de maior atenção para embasar essas políticas e ações.

A Bacia do Rio Lonqueador, situada nos municípios de Francisco Beltrão e Marmeleiro, no sudoeste do Paraná, está em uma área de conurbação urbana, e sob pressão da expansão

urbana dos municípios, o que representa desafios significativos para a conservação de suas nascentes.

A degradação de uma bacia hidrográfica pode levar a impactos severos, como perda de biodiversidade, redução da qualidade da água e alterações nos padrões de fluxo hídrico, ameaçando o equilíbrio ambiental. Nesse sentido, a manipulação de uma bacia hidrográfica pode levar a impactos severos, como perda de biodiversidade, redução da qualidade da água e alterações nos padrões de fluxo hídrico, ameaçando o equilíbrio ambiental. Nesse sentido, é necessário estabelecer metodologias adequadas para o inventário das nascentes em campo e analisar essas áreas em suas dimensões espaciais e temporais, considerando os riscos e vulnerabilidades socioambientais associadas. Além disso, o uso de geotecnologias apresenta-se como uma estratégia necessária para propor medidas de monitoramento e controle dos impactos ambientais.

Este estudo busca contribuir para a compreensão da qualidade socioambiental das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador, avaliando suas condições e propondo soluções que possam subsidiar políticas de sustentabilidade e ações voltadas à preservação de áreas de preservação permanente (APPs). A pesquisa tem como foco a geração de dados sobre as condições ambientais das nascentes, edifícios entorno e o impacto da urbanização além de análises que possibilitem o desenvolvimento de estratégias integradas para a proteção e gestão dos recursos hídricos, especialmente em bacias hidrográficas urbanizadas, onde a pressão por uso do solo é intensificada pela expansão urbana.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um mapeamento interativo da vulnerabilidade socioambiental nas áreas de nascentes da Bacia do Rio Lonqueador – Francisco Beltrão e Marmeleiro (Paraná), visando auxiliar nas estratégias de prevenção e controle de impactos ambientais nas áreas de preservação permanentes de rios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

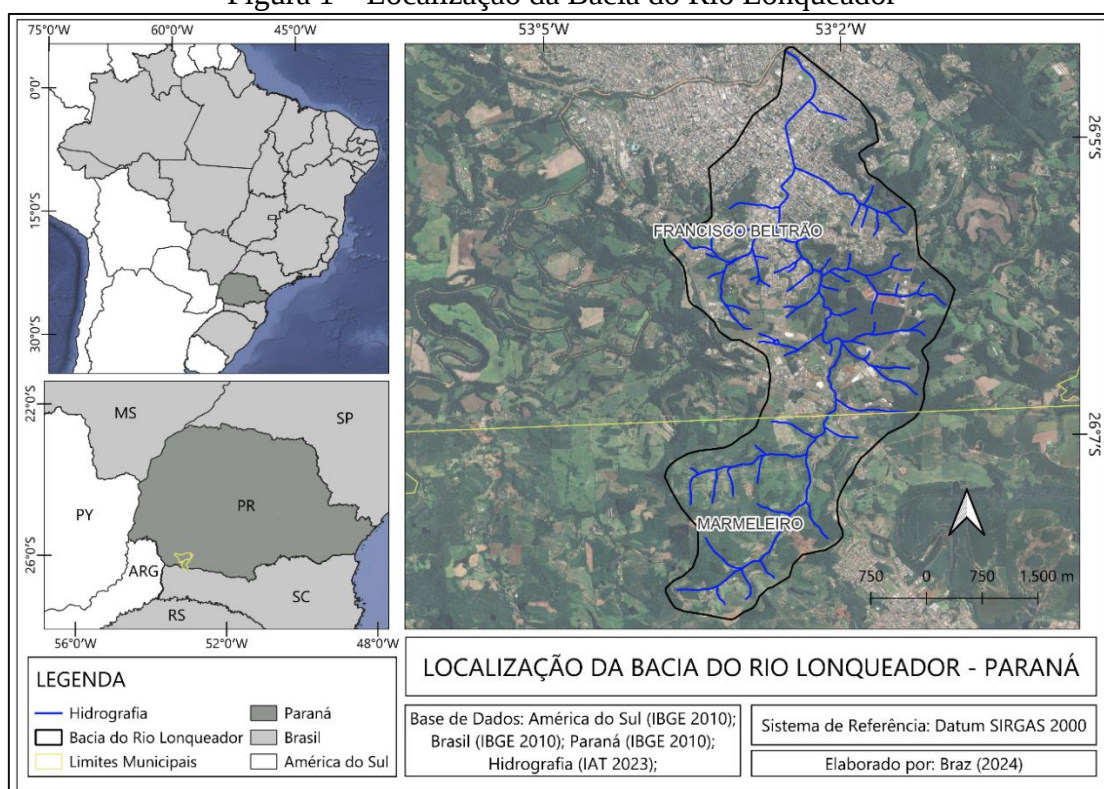
- a) Validar as nascentes mapeadas em carta topográfica na escala 1:25.000 da bacia;
- b) Definir um caminho metodológico para inventário das nascentes em campo;
- c) Analisar as nascentes mapeadas em suas dimensões espaciais e temporais, avaliando suas relações com a vulnerabilidade e os riscos socioambientais;
- d) Propor medidas e estratégias para monitoramento de nascentes com o uso de geotecnologias.

3 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Lonqueador está localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná entre as coordenadas 26°08'S, 53°05'W e 26°04'S, 53°02'W e se estende pelos municípios de Francisco Beltrão e Marmeleiro (Figura 1). O seu canal principal tem cerca de 10,5 km de extensão. Essa bacia tem uma elevação média de 638 metros e mais de sessenta nascentes.

O estado do Paraná é caracterizado por uma capilaridade hidrográfica complexa, composta por diversas bacias que desempenham funções na manutenção dos recursos hídricos. Dentro desse contexto, o Comitê da Bacia dos Afluentes do Baixo Iguaçu exerce um papel central na gestão das águas na região sudoeste do estado. Nessa rede de drenagem, o Rio Lonqueador deságua no Rio Marrecas, que, por sua vez, flui para o Rio Santana. Este, por fim, integra-se à Bacia do Rio Iguaçu, conectando esses cursos d'água menores à principal bacia hidrográfica do Paraná, evidenciando a importância de uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Lonqueador



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Do ponto de vista dos componentes naturais, a Bacia do Rio Lonqueador é mantida por derrames vulcânicos de natureza predominantemente básica da Formação Serra Geral de idade

Juro/EoCretáceo (Paisani *et al.*, 2008). Esse substrato influencia diretamente o relevo, constituído regionalmente de Planalto Vulcânico da Bacia do Paraná (Paisani *et al.*, 2019). Em escala local, o relevo é caracterizado por superfícies tabulares fortemente dissecadas pelas redes de drenagem locais, sobretudo afluentes do Rio Marrecas, como é o caso do Rio Lonqueador.

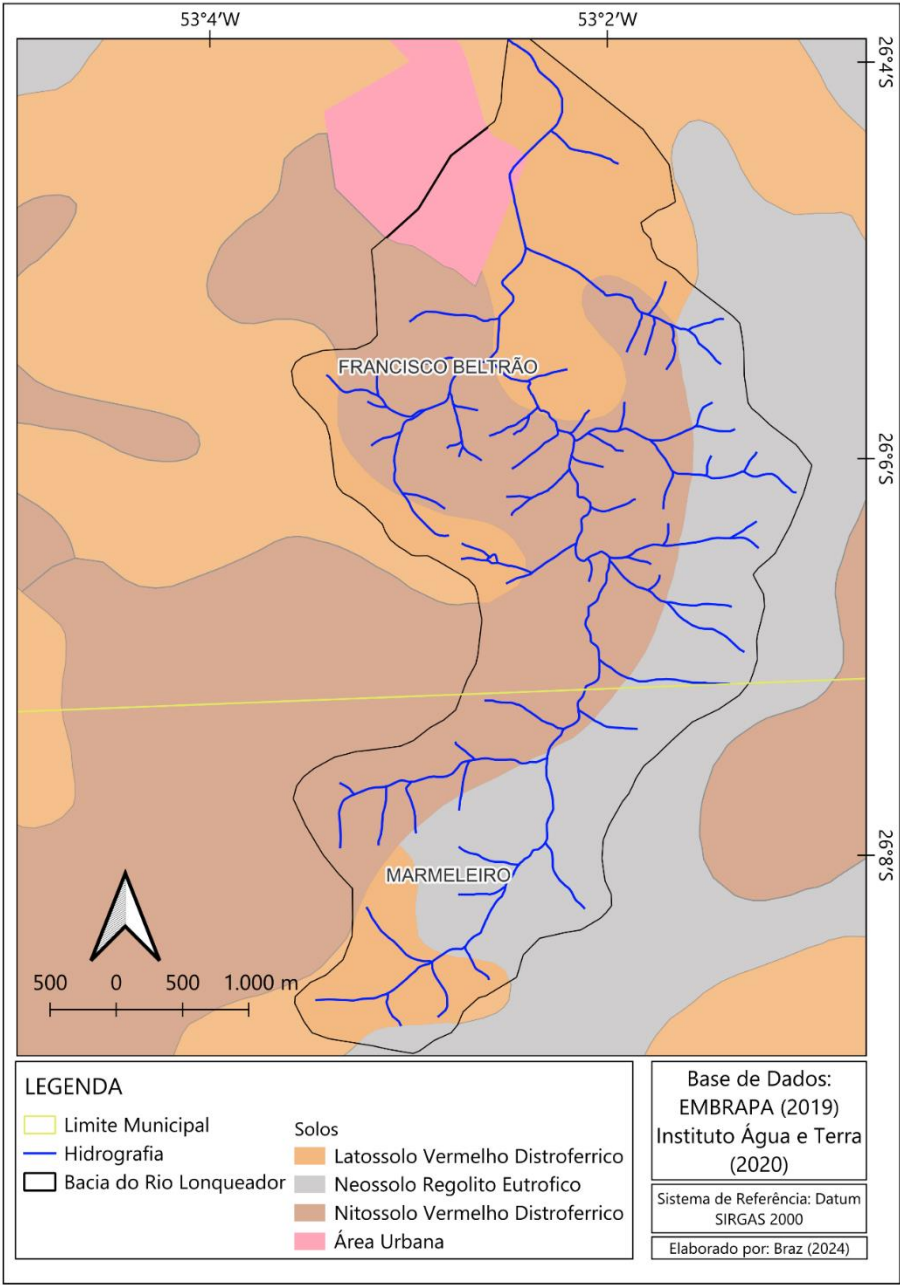
Justamente o relevo condiciona a cobertura pedológica, cujo interior da Bacia do Rio Lonqueador tem as seguintes classes de solo: Neossolos Litólicos Eutróficos, Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e Latossolos Vermelhos Distroféricos (Quadro 1), com predomínio dos dois primeiros (Figura 2).

Quadro 1 – Descrição dos solos presentes na Bacia do Rio Lonqueador

Tipo de Solo	Características
Latossolo Vermelho Distroférico	Solo muito intemperizado, profundo e com uma boa drenagem
Neossolo Regolito Eutrófico	Solo pouco evoluído, com baixa profundidade e presença de material mineral ou orgânico. Possui fertilidade elevada devido à presença de minerais primários, mas sua profundidade limitada pode restringir o uso agrícola.
Nitossolo Vermelho Distroférico	Solo mediamente profundo com uma textura argilosa ou muito argilosa. Tem estrutura com agregados em forma de blocos de infiltração relativamente maior que o Latossolo, devido sua estrutura mais porosa.

Fonte: Embrapa (2018).

Figura 2 – Mapa de solo da Bacia do Rio Lonqueador

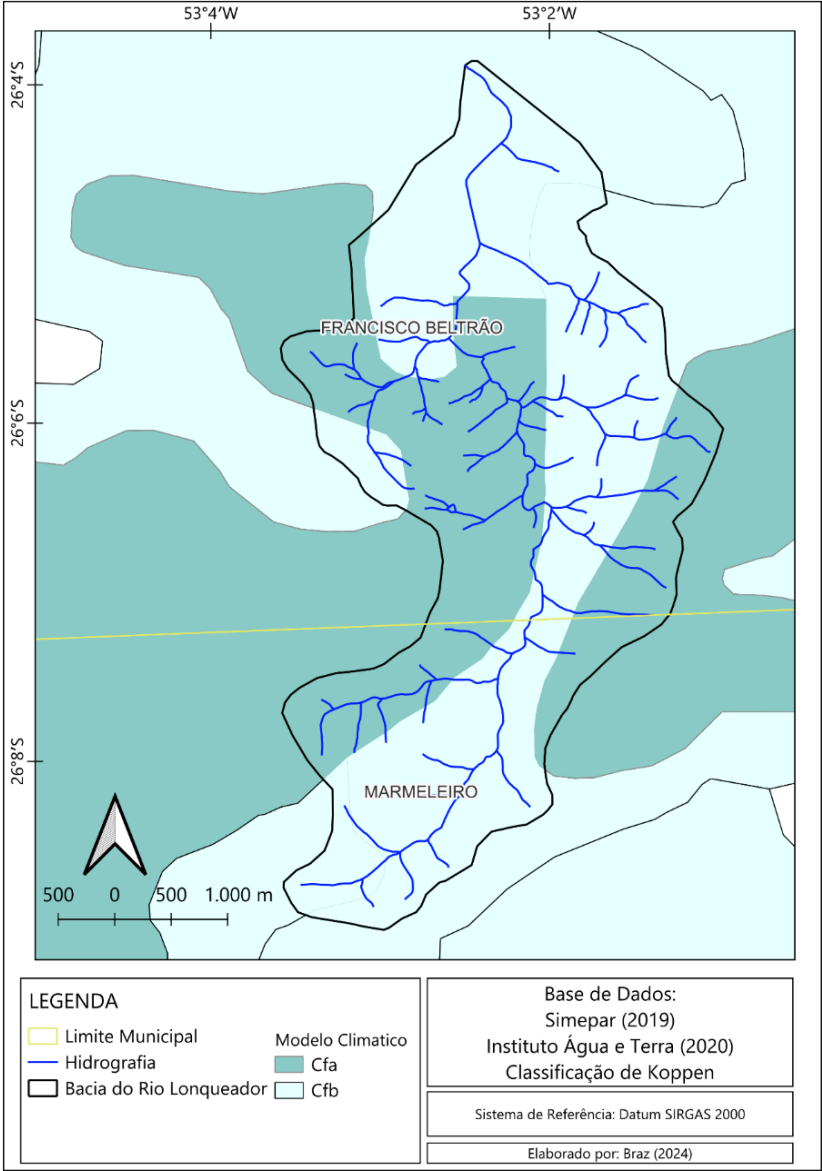


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quanto à cobertura vegetal da área de estudo, a formação pioneira é a Floresta Ombrófila Mista (Maack, 1981), a qual integra o bioma Mata Atlântica. Por outro lado, o desmatamento por conta da colonização, nas décadas de 1960, reduziu expressivamente essa cobertura pioneira, com substituição por cultivo. Nas porções não urbanizadas da Bacia do Rio Lonqueador, manchas de mata misturando espécies nativas com exóticas (pinos, eucalipto etc.) são recorrentes.

Quanto ao clima, a Bacia do Rio Lonqueador está em faixa climática subtropical (Nimer, 1989). A bacia hidrográfica do Rio Lonqueador encontra-se em uma área com climas Cfa e Cfb, conforme a Classificação de Köppen (Figura 3). O clima Cfa é temperado, sem estação seca, com verão quente; enquanto o clima Cfb, que ocupa uma menor área e se limita às regiões mais altas, é temperado, sem estação seca, com verão fresco (Dubreul *et al.*, 2018). O clima Cfa é caracterizado por uma temperatura média no mês mais quente superior ou igual a 22°C, ao passo que o clima Cfb possui verões mais amenos, com a temperatura média do mês mais quente abaixo de 22°C (Alvares *et al.*, 2013).

Figura 3 – Mapa do Clima (Classificação de Köppen) na Bacia do Rio Lonqueador



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para atender aos objetivos do estudo, foi conduzida uma revisão teórica abordando os seguintes temas: APP de rios (legislação); nascentes; cabeceira de drenagem; impactos socioambientais; vulnerabilidade socioambiental e riscos; e geotecnologia na gestão de riscos.

4.1 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

O reconhecimento da água como um bem econômico implica conceder valor aos seus diversos usos e implementar mecanismos de gestão que visam alocar e utilizar a água com eficiência. A gestão de recursos hídricos, muitas vezes, foca mais nas características naturais da água, sua distribuição e seu papel socioeconômico e ambiental. Isso faz com que haja necessidade de aumentar a eficiência em seu uso, quando o foco deveria ser alcançar maior produtividade e conforto com o uso cada vez menor de água (Rebouças *et al.*, 2002).

Rebouças *et al.* (2002) também destacam a importância de educar e conscientizar a população sobre a verdadeira natureza limitada dos recursos hídricos. A exploração irresponsável da água não afeta apenas a disponibilidade para gerações futuras, mas também exige a qualidade da água disponível para usos diversos. Assim, a abordagem de Rebouças *et al.* (2002) enfatiza a necessidade de uma mudança na percepção e nas práticas relacionadas à água, promovendo uma gestão sustentável e responsável dos recursos hídricos.

Conforme Villela e Mattos (1975), as nascentes perenes são descritas por manterem água ao longo de todo o ano, fluindo de forma contínua, mesmo durante períodos de seca, devido à manutenção do nível do lençol freático, que se encontra acima do leito dos cursos d'água. O fluxo dessas nascentes é originário tanto da liberação de águas subterrâneas quanto do escoamento superficial.

Segundo Castro (2001), a análise da dinâmica fluvial das bacias hidrográficas e de seus componentes, como as nascentes, é importante para compreender as características ambientais de uma região.

Conforme Felipe e Magalhães-Junior (2020), a nascente é definida como “um sistema ambiental onde o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente, de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem”. Para Felipe e Magalhães-Junior (2014), é possível diferenciar fonte ou surgência, que se refere a qualquer saída de água do meio subterrâneo de uma nascente, que é o ambiente onde surge um curso d'água fluvial a partir de uma zona/ponto de exfiltração.

A água distingue-se dos demais recursos naturais por não se restringir à condição de matéria-prima, assumindo também o papel de bem ambiental com potencial para transformação em recurso econômico. Nesse contexto, destaca-se por ser o único insumo ambiental cuja adequada gestão e uso racional podem proporcionar retorno financeiro, evidenciando sua relevância estratégica tanto sob a ótica ambiental quanto econômica.

Nesse contexto, a gestão dos recursos hídricos, que abrange desde as águas pluviais até as subterrâneas e de reuso não potável em contextos urbanos, industriais e agrícolas, deve priorizar a eficiência no uso da água disponível. Embora as nascentes sejam de suma importância para a manutenção do equilíbrio ambiental das bacias hidrográficas, as consequências das intervenções antrópicas na morfologia e dinâmica das nascentes ainda são pouco compreendidas (Felippe *et al.*, 2013, p. 285).

No sistema hidrológico, as nascentes marcam a transição da água subterrânea para a superfície terrestre. Essa exfiltração dá início à rede de drenagem, onde várias nascentes se entrelaçam formando a rede. Na área da cabeceira de drenagem, a localização precisa não é definida, mas é reconhecida como o início dos cursos d'água, desempenhando um papel essencial na manutenção do ciclo da água (Gomes, Melo e Vale, 2005).

O avanço das geotecnologias tem permitido uma análise mais precisa e abrangente das características das nascentes e sua interação com o ambiente. Isso não apenas aprofunda a compreensão das dinâmicas hidrológicas e geomorfológicas, mas, também, fornece dados para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para o planejamento territorial (Castro, 2001).

4.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DE NASCENTES NO BRASIL

A água é um recurso natural e vital para a sobrevivência humana, e também para diversos setores como a indústria e a agricultura. Historicamente, a água era um bem comum, amplamente disponível e de fácil acesso. No entanto, a partir da década de 1990, houve uma mudança na percepção, com a água sendo redefinida como um bem econômico, conforme previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.º 9.433/97) no Brasil.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei n.º 9.433/97, define um modelo de gestão descentralizada e participativa, com o objetivo de garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. A lei registra a água como um bem econômico para o desenvolvimento social e econômico do Brasil. Entre os princípios fundamentais da Política Nacional de Recursos Hídricos estão o uso sustentável das águas e a proteção das fontes de água, com especial destaque para as nascentes, consideradas áreas prioritárias para a gestão hídrica. A Lei

n.º 9.433/97, por meio de seus principais artigos (1º, 2º, 3º, 4º, 10 e 12), estabelece diretrizes para uma gestão integrada dos recursos hídricos, assegurando a proteção das nascentes e promovendo o uso sustentável da água. Esses artigos fundamentam a necessidade de uma abordagem que equilibre a preservação dos recursos hídricos com o atendimento das demandas sociais, econômicas e ambientais.

O Artigo 1º estabelece diretrizes para a gestão integrada dos recursos hídricos, com foco na conservação e na racionalização do uso da água, de modo a assegurar a preservação e a recuperação das fontes naturais, incluindo as nascentes. Já o Artigo 2º reforça o caráter público da água e a sua regulamentação, colocando-a a serviço do interesse coletivo e da manutenção dos ecossistemas. O Artigo 3º destaca o princípio do uso racional e integrado dos recursos hídricos, priorizando o bem-estar social e o atendimento às demandas futuras, ampliando a importância da preservação das nascentes como fonte contínua de água. Complementando essa perspectiva, o Artigo 4º aponta para um gerenciamento que inclua ações de preservação e recuperação, com a participação ativa da sociedade para fortalecer o uso sustentável.

Para implementar esses princípios, o Artigo 10 institui os Comitês de Bacia Hidrográfica como órgãos responsáveis pela elaboração de planos de bacia e pela coordenação de medidas de conservação e recuperação dos recursos hídricos. Por fim, o Artigo 12 promove a participação democrática, integrando o poder público, o setor privado e a sociedade civil no processo de tomada de decisões sobre o uso e a conservação dos recursos hídricos.

Apesar dos avanços obtidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos e da importância da Lei n.º 9.433/97 para os primeiros passos na proteção das nascentes no Brasil, a implementação de medidas eficazes ainda enfrenta desafios significativos. A falta de fiscalização entre os órgãos responsáveis pela gestão hídrica e a escassez de recursos para ações específicas, como a recuperação de nascentes, limitam a efetividade da legislação. Além disso, a dificuldade de adaptar a política às realidades regionais, especialmente em áreas urbanas e de difícil acesso, cria lacunas em sua aplicação.

Com a promulgação do novo Código Florestal de 2012, as proteções para as Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram flexibilizadas, reduzindo a largura das APPs nas margens de rios e nascentes de 30 metros para 15 metros em áreas de uso consolidado. Essa mudança permitiu maior intervenção humana em áreas sensíveis, o que pode comprometer a eficácia das ações de preservação, principalmente nas regiões que já enfrentam grandes pressões de uso do solo.

Art. 3º - São Áreas de Preservação Permanente (APPs) as áreas protegidas, com o objetivo de preservar os recursos hídricos, a biodiversidade, o solo e os recursos ambientais, em especial para a conservação da qualidade e da quantidade da água.

Inciso 1º: São Áreas de Preservação Permanente, em especial:

- I – As faixas marginais dos rios e cursos d'água, em que, dependendo da largura do rio, a vegetação natural deverá ser mantida, com largura variável de 30 metros a 500 metros, conforme a classificação do curso d'água;
- II – As nascentes e os cursos d'água perenes, nas faixas marginais, que variam de 50 a 500 metros de largura, com faixas mínimas determinadas por estudos técnicos, para preservação das nascentes;
- III – As áreas de topo de morro, as encostas íngremes e as áreas de veredas.
- Art. 4º - As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas protegidas, cuja vegetação deve ser mantida, restaurada ou recuperada, e que incluem as margens de rios e cursos d'água.
- Inciso 1º As faixas marginais dos rios e cursos d'água terão larguras variáveis, conforme o regime hídrico e a importância do curso d'água, conforme a classificação dos rios:
 - I – Rios de até 10 metros de largura: faixa mínima de 30 metros;
 - II – Rios de 10 a 50 metros de largura: faixa mínima de 50 metros;
 - III – Rios de 50 a 200 metros de largura: faixa mínima de 100 metros;
 - IV – Rios de 200 a 600 metros de largura: faixa mínima de 200 metros;
 - V – Rios de mais de 600 metros de largura: faixa mínima de 500 metros.
- Inciso 2º As faixas de proteção das nascentes e dos cursos d'água são estabelecidas conforme as especificidades de cada região e a avaliação técnica das condições locais.

Art. 12 - As áreas de APPs devem ser restauradas e recuperadas para assegurar a preservação ambiental, com ações voltadas para a proteção das nascentes e das margens dos rios.

Inciso 1º A restauração das APPs será feita preferencialmente com espécies nativas da vegetação local, garantindo a recuperação do solo, o controle da erosão e a preservação da biodiversidade.

Inciso 2º As ações de restauração de APPs devem ser executadas prioritariamente nas áreas de preservação das nascentes e dos cursos d'água, considerando os benefícios para o ecossistema e a qualidade da água.

Esses artigos e incisos refletem a intenção do Código Florestal de garantir a proteção das nascentes e das APPs, mas com uma flexibilização nas larguras das faixas de proteção, o que gerou críticas em relação à efetividade dessas áreas para garantir a preservação ambiental e a qualidade dos recursos hídricos no Brasil. A redução da largura das faixas de APPs para áreas de uso consolidado pode resultar em impactos negativos, principalmente em regiões de grande pressão urbana e rural.

A flexibilização das faixas de proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs), no Código Florestal de 2012, especialmente em áreas de uso consolidado, tem gerado críticas por permitir maior intervenção humana em regiões sensíveis. Ao reduzir a largura das APPs, a legislação facilita o desmatamento nas margens de rios e nascentes, prejudicando a conservação da biodiversidade e a qualidade da água. Essa mudança contraria os objetivos de proteção ambiental, comprometendo funções essenciais, como o controle da erosão e a filtragem natural da água.

A flexibilização também não resolve os problemas de fiscalização, o que aumenta a chance de desmatamento ilegal e ocupação desordenada nessas áreas. A medida parece ceder às pressões do agronegócio, colocando em risco a preservação dos recursos hídricos e o equilíbrio ecológico. Essa abordagem, longe de ser uma solução, representa um retrocesso nas políticas ambientais, comprometendo o futuro da sustentabilidade e da proteção dos ecossistemas.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2010), a água é um direito fundamental, vital para a vida, influenciando diretamente a saúde e o desenvolvimento econômico de qualquer nação. A ONU destacou a água como um direito humano fundamental, sublinhando sua importância para a saúde e o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, onde há abundância de recursos hídricos, essa premissa reforça a necessidade de políticas eficazes de gestão e conservação das nascentes. O reconhecimento da água como um direito fundamental implica uma responsabilidade compartilhada entre governo, sociedade civil e setor privado para garantir o acesso e a qualidade da água. As nascentes, sendo a origem de muitos corpos d'água, precisam de proteção prioritária para assegurar que esse direito seja cumprido, beneficiando a saúde pública e a economia do país (ONU, 2010).

4.3 NASCENTES

De acordo com Guerra (1987), a bacia hidrográfica é caracterizada como o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, onde as águas das chuvas se concentram

e formam os rios. Este conceito inclui elementos como cabeceiras, divisores de água e a hierarquização da rede hidrográfica, com a água fluindo dos pontos mais altos para os mais baixos. Guerra (1987) também enfatiza o dinamismo das bacias hidrográficas, que podem ter suas áreas alteradas pela erosão, sendo classificadas como principais, secundárias ou terciárias, dependendo da importância de seus cursos d'água. Elas também podem ser litorâneas ou interiores conforme sua localização.

O glossário da Agência Nacional das Águas (ANA, 2014) define o termo nascente como o local de início de um curso d'água, caracterizado pelo lugar de maior altitude desse curso onde seu trecho de drenagem mais a montante surge no terreno com ou sem escoamento superficial de água. A nascente é o ponto de início de um corpo d'água, ou seja, pode-se dizer que ela é o berço de uma bacia hidrográfica. A nascente corresponde a exfiltração das águas provenientes dos lençóis freáticos ou aquíferos.

Segundo Guerra (1987), a nascente é definida para designar a área onde um rio tem seu ponto de origem. Em vez de se referir a um ponto específico, a nascente se caracteriza como uma zona extensa na superfície terrestre.

Para Pereira *et al.* (2011), as nascentes são descritas como afloramentos naturais do nível freático, com vazão suficiente para a formação de um curso d'água ou acúmulo de água. Pereira *et al.* (2011) afirmam a importância de preservar a vegetação natural para manter o fluxo d'água contínuo. A não preservação desses pontos pode reduzir a infiltração e aumentar o escoamento superficial, resultando em assoreamento dos canais de drenagem. Pereira *et al.* (2011) apontam que as nascentes são influenciadas pela sazonalidade e pelas mudanças no uso e ocupação do solo nas áreas no entorno.

Guimarães *et al.* (2023) afirmam que as nascentes desempenham um papel fundamental na conservação dos recursos hídricos e na manutenção. Embora haja um crescimento no interesse científico pela análise da qualidade da água das nascentes, ainda há uma lacuna na localização correta dessas nascentes. Devido à sazonalidade, esses locais podem ter uma mudança de local. Outro fator que faz esse deslocamento é a preservação do local de interesse, pois uma nascente bem protegida pode contribuir para o ecossistema local.

Calheiros *et al.* (2009) descrevem nascente como o afloramento do lençol freático, que dá origem a uma fonte de água de acúmulo, ou cursos d'água. Vale ressaltar que, além da quantidade de água produzida pela nascente, é desejável que tenha boa distribuição no tempo, ou seja, a variação da vazão situe-se dentro de um mínimo adequado ao longo do ano.

Os conceitos sobre nascentes, incluindo suas definições e a importância para os ecossistemas, são sintetizados no Quadro 2. Este quadro apresenta os conceitos de vários

autores sobre o processo de formação das nascentes e sua relevância ambiental, abordando desde o ponto de origem das águas até os fatores que influenciam sua preservação e funcionamento.

Quadro 2 – Definições de nascentes

Autores	Ano	Conceito
Guerra	1987	Descreve a nascente como uma área extensa na superfície terrestre onde um rio tem seu ponto de origem, não sendo um ponto específico, mas uma zona.
Oliveira	1999	Define o termo “manancial” como uma nascente de água, implicando a origem ou fonte de um curso d’água.
Fernandes	2003	Enfatiza a interconexão entre os fatores climáticos, solos e vegetação na formação das nascentes, com a precipitação afetando a recarga dos aquíferos que alimentam as nascentes.
Calheiros <i>et al.</i>	2009	Definem nascente como o afloramento do lençol freático que dá origem a uma fonte ou curso d’água. Destacam a importância de a nascente manter uma vazão adequada ao longo do ano.
Pereira <i>et al.</i>	2011	Descrevem as nascentes como afloramentos naturais do nível freático, com vazão suficiente para formar um curso d’água ou acúmulo de água.
ANA	2014	Apresenta a nascente como o local de início de um curso d’água, caracterizado pelo ponto de maior altitude onde surge o escoamento superficial, podendo ser uma exfiltração das águas provenientes dos lençóis freáticos ou aquíferos.
Duarte	2018	Destaca que a proteção das nascentes é essencial para resolver problemas de estiagem de maneira sustentável, além de beneficiar o ciclo hidrológico e evitar processos erosivos.
Castro <i>et al.</i>	2007	Abordam as nascentes como componentes interdependentes de sistemas hidrológicos e geomorfológicos mais amplos, indicando sua importância em processos ecológicos mais complexos.
Costa	2020	Define as nascentes como pontos de afloramento do lençol freático, que originam fluxos d’água para a rede de drenagem. A qualidade da água, distribuição e vazão constante são aspectos essenciais para que a nascente seja considerada ideal.
Guimarães <i>et al.</i>	2023	Afirmam que as nascentes desempenham um papel fundamental na conservação dos recursos hídricos, com ênfase na necessidade de localizá-las corretamente, pois a sazonalidade e a preservação do local podem influenciar seu deslocamento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Dentre as definições apresentadas no Quadro 2, este estudo adotou a concepção de nascente como o ponto de afloramento do lençol freático que dá origem a um curso d’água, conforme descrito por Calheiros *et al.* (2009) e Costa (2020). Essa abordagem foi escolhida por sua relação direta com a dinâmica hidrogeológica e a manutenção da vazão ao longo do tempo. Além disso, a pesquisa considerou os fatores ambientais destacados por Pereira *et al.* (2011), que ressaltam a importância da vegetação para a infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial e prevenindo processos erosivos.

Para Castro *et al.* (2020), é importante compreender as nascentes não apenas como elementos isolados, mas como componentes intrínsecos e interdependentes de sistemas hidrológicos e geomorfológicos mais amplos.

Esse fato implica que a bacia não deve funcionar como um recipiente impermeável, escoando em curto espaço de tempo toda a água recebida durante uma precipitação pluvial. Ao contrário, a bacia deve absorver boa parte dessa água através do solo, armazená-la em seu lençol subterrâneo e cedê-la, aos poucos, aos cursos d'água através das nascentes, inclusive mantendo a vazão, sobretudo durante os períodos de seca. Isso é fundamental, tanto para o uso econômico quanto social da água (Calheiros *et al.*, 2004).

A relação entre impermeabilização do solo e redução da infiltração de água é sustentada por conhecimentos geotécnicos e hidrológicos, que explicam como o aumento das áreas pavimentadas e urbanizadas leva a um maior escoamento superficial e menor recarga de aquíferos. Isso pode resultar em inundações, alterações nos regimes de fluxo dos corpos d'água e redução da disponibilidade de água subterrânea.

Fernandes (2003) destaca a interconexão complexa entre os diferentes elementos que influenciam a formação e o funcionamento das nascentes. Os fatores externos, como clima, solo e vegetação, moldam as características hidrológicas e geológicas de uma região específica. A quantidade e a distribuição da precipitação afetam diretamente a recarga dos aquíferos, que constituem importantes reservatórios subterrâneos. A relação entre a recarga dos aquíferos e a emergência de água nas nascentes é uma demonstração clara da dependência desses sistemas geossistêmicos em relação a fatores climáticos.

A relação entre impermeabilização do solo e redução da infiltração de água é sustentada por conhecimentos geotécnicos e hidrológicos, que explicam como o aumento das áreas pavimentadas e urbanizadas leva a um maior escoamento superficial e menor recarga de aquíferos. Isso pode resultar em inundações, alterações nos regimes de fluxo dos corpos d'água e redução da disponibilidade de água subterrânea. A referência à falta de proteção ao entorno das nascentes e seus efeitos sobre a alteração na vazão também está respaldada pela ecologia e pelos princípios de conservação. A degradação das áreas de nascentes pode levar a compactação do solo, facilitando o escoamento superficial e prejudicando a capacidade de infiltração da água, afetando a quantidade de água emergente das nascentes.

A importância de preservar as nascentes está associada a vários fatores, como estiagens severas, poluição e degradação do solo. Por exemplo, em épocas de seca, uma nascente saudável contribui para que o ciclo hidrológico continue funcionando. Uma nascente bem preservada pode trazer grandes benefícios, como evitar o problema da estiagem e diminuir os processos

erosivos. Quando a nascente está devidamente protegida, o problema de estiagem pode ser resolvido de forma sustentável (Duarte, 2018). Resolver problemas de estiagem de maneira sustentável, por meio da proteção adequada das nascentes, destaca a interligação entre a conservação do meio ambiente e a resiliência das comunidades rurais. Ao reconhecer que a saúde das nascentes tem um impacto direto no fornecimento de água, na produtividade agrícola e na estabilidade dos ecossistemas, a abordagem proposta por Duarte (2018) ressalta a necessidade de ações de preservação que visam não apenas à sustentabilidade ambiental, mas também ao bem-estar humano e ao desenvolvimento rural.

De acordo com Costa (2020), as nascentes representam elementos fundamentais nos sistemas ambientais, desempenhando um papel importante na integração de processos hidrogeológicos e geomorfológicos subterrâneos e superficiais. Independentemente de sua forma morfológica superficial, uma nascente é definida como o ponto de origem de um curso d'água, incluindo cabeceiras, olhos d'água, insurgências, minas de água ou fontes.

As nascentes são pontos de afloramento do lençol freático que dão origem aos fluxos d'água que formam a rede de drenagem. Para que uma nascente seja considerada ideal, ela precisa fornecer água de alta qualidade de forma abundante e contínua, com uma distribuição uniforme ao longo do tempo e uma variação mínima de vazão durante o ano (Calheiros *et al.*, 2009).

4.4 CABECEIRA DE DRENAGEM

As cabeceiras de drenagem são áreas côncavas situadas a partir da cabeça dos canais de primeira ordem (Classificação de Strahler, 1952) localizadas nas porções mais altas das bacias hidrográficas. Elas são áreas para a formação dos cursos d'água e para a dinâmica hidrológica. Além de serem responsáveis, essas áreas atuam na transferência de água do ambiente das encostas para a rede de drenagem, influenciando diretamente a qualidade, a quantidade e a distribuição da água ao longo dos cursos d'água. Vários estudos, ao longo das décadas, trouxeram definições complementares que elucidaram sua relevância, adaptando-se a diferentes contextos geográficos e climáticos.

Schumm (1956) discute que as cabeceira de drenagem se destacam como zonas iniciais onde o escoamento superficial começa a se concentrar. Segundo o autor, essas áreas representam um papel importante no fornecimento de água e sedimentos aos canais principais, contribuindo para a dinâmica fluvial. Sua visão ressalta o caráter funcional das cabeceira como

fontes de matéria-prima para o desenvolvimento dos rios, uma perspectiva que coloca a erosão e o transporte de sedimentos como processos centrais em sua formação.

Strahler (1957), ao focar as características topográficas e geomorfológicas das cabeceiras, descreveu essa área como regiões de alta declividade, nas quais o escoamento superficial é mais intenso e os processos erosivos desempenham uma função importante na formação dos canais fluviais e na modelagem da relevância. Sua contribuição foi fundamental para a compreensão da interação entre as forças naturais que moldam as paisagens e o papel estruturante das cabeceiras na organização da rede de drenagem.

Para Maack (1981), as cabeceiras não são apenas áreas de escoamento superficial, mas também zonas estratégicas para a recarga de aquíferos. O autor adapta essas definições ao contexto tropical brasileiro, no qual a condição climática e a vegetação nativa desempenham um papel fundamental no desenvolvimento. A vegetação nativa é destacada como um elemento essencial para o controle da erosão e a conservação do solo. Essa perspectiva amplia o entendimento sobre as origens, vinculando-as diretamente à sustentabilidade ambiental e à gestão dos recursos hídricos.

Guareschi e Nummer (2012), ao analisarem as cabeceiras hidromórficas do sul do Brasil, destacam que o clima e os ecossistemas são determinantes. Os autores ressaltam a relevância dessas áreas como corredores ecológicos, promovendo a conectividade da bacia hidrográfica e garantindo a circulação de espécies da fauna e flora. Além disso, observam que as condições hidromórficas influenciam diretamente a qualidade da água e a regulação dos fluxos hídricos, ampliando ainda mais a compreensão de sua função ecológica e hidrológica.

Paisani *et al.* (2005), por sua vez, introduzem uma abordagem geomorfológica e estrutural, destacando que as características das cabeceiras são fortemente influenciadas por fatores como feições geológicas e fraturamentos. Paisani *et al.* (2005) afirmam, ainda, que essas condições estruturais afetam a distribuição do fluxo hídrico. O uso de índices como o de circularidade para classificar a forma das cabeceiras permite uma análise mais detalhada de suas funções hidrológicas, conectando a morfologia da bacia à dinâmica dos processos naturais e antrópicos.

Marques-Neto *et al.* (2014) destacam as principais áreas críticas para o armazenamento de água subterrânea, em regiões associadas a aquíferos suspensos. Essa perspectiva reforça a importância estratégica nessas áreas em tempos de mudanças climáticas, em que a segurança hídrica e ambiental é prioritária. Além disso, os autores indicam que o manejo adequado dessas áreas pode contribuir significativamente para a manutenção dos recursos hídricos a longo prazo.

Ao integrar essas perspectivas, fica evidente que as cabeceiras de drenagem desempenham múltiplos papéis interligados na dinâmica das bacias hidrográficas. Schumm (1956) e Strahler (1957) fornecem bases geomorfológicas e hidrológicas, enquanto Maack (1981) e Guareschi e Nummer (2012) trazem uma abordagem ecológica e adaptada aos contextos tropicais e subtropicais. Paisani *et al.* (2005) e Marques-Neto *et al.* (2014), por sua vez, exploram a funcionalidade dessas áreas sob perspectivas estruturais e hídricas.

Essas contribuições revelam que as cabeceiras de drenagem não são apenas áreas de início de fluxos hídricos, mas também zonas de regulação ecológica, armazenamento hídrico e conectividade ambiental. A sua conservação e manejo adequados são essenciais para garantir a sustentabilidade das bacias hidrográficas e dos ecossistemas a elas associados. Para tanto, é necessário adotar uma abordagem integrada que considere os diversos fatores naturais e antrópicos que afetam essas áreas, promovendo sua proteção e restauração como prioridade no planejamento ambiental e na gestão de recursos hídricos.

Ao longo das décadas, diferentes autores definiram e interpretaram as cabeceiras de desvio sob diversas perspectivas, integrando aspectos geomorfológicos, hidrológicos, ecológicos e estruturais, conforme detalhado no Quadro 3.

Quadro 3 – Definição de cabeceira de drenagem

Autor	Ano	Definição
Schumm	1956	Zonas iniciais da rede de drenagem, onde o escoamento superficial se concentra e fornece água e sedimentos aos canais principais.
Strahler	1957	Regiões de alta declividade, localizadas nas partes superiores das bacias, onde a erosão intensa contribui para a formação de canais fluviais.
Maack	1981	Áreas essenciais para o escoamento superficial e a recarga de aquíferos, intimamente ligadas à vegetação nativa e ao controle da erosão.
Paisani <i>et al.</i>	2005	Áreas controladas por fatores geomorfológicos e estruturais que influenciam a qualidade da água e a distribuição do fluxo hídrico.
Guareschi e Nummer	2012	Cabeceiras hidromórficas influenciadas pelo clima e ecossistemas locais, que atuam como corredores ecológicos e promovem a conectividade da bacia.
Marques-Neto <i>et al.</i>	2015	Áreas cruciais para o armazenamento de água subterrânea, especialmente em regiões de aquíferos suspensos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5 IMPACTOS, VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E RISCOS

A vulnerabilidade socioambiental é um fenômeno que resulta da intersecção entre os fatores naturais e as condições socioeconômicas, como destacado por Girão *et al.* (2018). Fatores como a concentração de renda, a desordem na ocupação do espaço, a fragilidade geomorfológica, o uso inadequado do solo e a falta de planejamento urbano adequado aumentam a exposição das populações aos riscos ambientais, contribuindo para uma maior susceptibilidade a desastres naturais. Esses fatores evidenciam a complexa relação entre as atividades humanas e os impactos ambientais, sugerindo que, em contextos de ocupação irregular e ausência de gestão adequada, os riscos socioambientais se amplificam, especialmente nos países em desenvolvimento (Veyret, 2007).

A degradação ambiental nas nascentes, como aponta Garcia *et al.* (2018), é exacerbada pela falta de parâmetros adequados para a preservação da vegetação ciliar, essencial para proteger essas áreas sensíveis. A ausência de cobertura vegetal apropriada, ao redor das nascentes, facilita a contaminação da água e a degradação dos ecossistemas locais. Este problema é particularmente sério em áreas urbanas, onde o crescimento desordenado e a ocupação irregular agravam ainda mais os impactos ambientais. A pesquisa de Garcia *et al.* (2018) conclui que a recuperação das áreas de mata ciliar é uma medida imprescindível para restaurar as funções ecológicas e a qualidade da água nas nascentes.

Conforme discutido por Vessoni (2019), a ocupação irregular do solo combinada com a falta de infraestrutura básica, como tratamento de esgoto e coleta de lixo, agrava consideravelmente o cenário das nascentes. A falta de serviços essenciais compromete não só a saúde pública, mas também a sustentabilidade ambiental de áreas de preservação permanente (APPs). Mesmo com o monitoramento e a fiscalização, a rápida expansão dos assentamentos irregulares continua sendo um grande desafio para as autoridades locais, uma vez que a fiscalização nem sempre acompanha o ritmo acelerado das ocupações. Esse problema é ainda mais grave em áreas onde a infraestrutura é precária, criando um ciclo vicioso de degradação e vulnerabilidade.

A relação entre a ocupação irregular e a degradação ambiental é particularmente preocupante em áreas de nascentes, onde a destruição do habitat natural afeta diretamente a biodiversidade local. A perda de espécies que desempenham papéis cruciais nos ecossistemas pode comprometer ainda mais a saúde ambiental da região. Além disso, a falta de uma gestão eficaz desses espaços resulta na contaminação do solo e da água, afetando a qualidade das nascentes e, conseqüentemente, o abastecimento de água de comunidades que delas dependem.

A gestão pública tem um papel central na mitigação desses impactos. É fundamental não apenas implementar políticas de uso do solo para restringir a ocupação irregular, mas também melhorar a infraestrutura local, garantindo sistemas adequados de coleta de lixo e tratamento de esgoto. Além disso, iniciativas de educação e conscientização ambiental são essenciais para envolver as comunidades na proteção das nascentes. As pessoas precisam entender a importância da conservação desses recursos para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

No Brasil, a injustiça ambiental é uma realidade que agrava a vulnerabilidade socioambiental. Cartier *et al.* (2009) discutem como as comunidades mais pobres frequentemente habitam áreas de risco, como lixões e fábricas poluentes, evidenciando uma desigualdade na distribuição dos riscos ambientais. Isso resulta em uma maior exposição a desastres naturais para as populações mais vulneráveis, destacando a necessidade de uma análise integrada da vulnerabilidade, que considere não apenas os fatores ambientais, mas também as condições sociais e econômicas que amplificam os impactos dos desastres.

Quadro 4 – Conceitos base para o processo de gestão de risco de desastre

Termo	Conceito
Desastre	O resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto a ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.
Ameaça	Um evento físico, potencialmente prejudicial, fenômeno e/ou atividade humana que pode causar a morte e/ou lesões, danos materiais, interrupção de atividade social e econômica ou degradação do meio ambiente.
Vulnerabilidade	Exposição socioeconômica ou ambiental de cenário sujeito à ameaça natural, tecnológica ou de origem antrópica. “Indica como as condições preexistentes fazem com que os elementos expostos sejam mais ou menos propensos a ser afetados.
Risco de desastre	O potencial de ocorrência de ameaça de desastre em um cenário socioeconômico e ambiental vulnerável.
	Risco instalado: pode ser compreendido como o risco efetivo, atual ou visível existente e percebido em áreas ocupadas. A identificação do risco instalado é realizada com base na avaliação de evidências do terreno, ou seja, condições “visíveis” de que eventos adversos podem se repetir ou estão em andamento.
	Risco aceitável: aquele que uma determinada sociedade ou população aceita como admissível, após considerar todas as consequências associadas a ele. Em outras palavras, é o risco que a população exposta a um evento está preparada para aceitar sem se preocupar com a gestão.
	Risco tolerável: aquele com que a sociedade tolera conviver, mesmo tendo que suportar alguns prejuízos ou danos, porque isto permite que usufrua de certos benefícios, como, por exemplo, a proximidade do local de trabalho ou a determinados serviços.
	Risco intolerável: risco que não pode ser tolerado ou aceito pela sociedade, uma vez que os benefícios ou vantagens proporcionadas pela convivência não compensam os danos e prejuízos potenciais.
	Risco residual: risco que ainda permanece num local mesmo após a implantação de programas de redução de risco. De uma maneira geral, é preciso entender que sempre existirá um risco residual, uma vez que o risco pode ser gerenciado e/ou reduzido com medidas de mitigação.

Gestão de risco de desastre	Compreende o planejamento, a coordenação e a execução de ações e medidas preventivas destinadas a reduzir os riscos de desastres e evitar a instalação de novos riscos.
------------------------------------	---

Fonte: Buffon (2020).

4.6 GEOTECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RISCOS

Para Florenzano (2005), o uso das geotecnologias, como SIG e sensoriamento remoto, vêm sendo constantemente atualizado, desenvolvendo e melhorando as ferramentas de coleta e análise de dados espaciais. Com o SIG é possível manipular dados geográficos; já o sensoriamento remoto auxilia na obtenção de dados sobre informações espaciais sem o contato direto. A junção das duas tecnologias permite destacar sua aplicação em áreas como o monitoramento ambiental, a gestão de riscos e o planejamento urbano (Florenzano, 2005).

Longley *et al.* (2015) define o termo geotecnologia como o conjunto de ferramentas e técnicas projetadas para a coleta, processamento e análise. Longley *et al.* (2015) enfatiza essa importância para o SIG na gestão e análise dos dados espaciais. Essa ferramenta como um instrumento permite a confecção de mapas e fazer uma análise geoespacial. O sensoriamento remoto, para Longley *et al.* (2015), também é uma etapa importante, sendo uma técnica utilizada para obter informações da superfície da terra, como satélites e drones. Os dados obtidos pelo sensoriamento remoto podem ser integrados ao SIG.

Rosa (2005) afirma que as geotecnologias são as ferramentas que permitiam que profissionais analisem a complexidade espacial. O uso cada vez mais frequente das tecnologias de SIG proporcionaram métodos avançados para a coleta de dados e a integração de dados geoespaciais, auxiliando, assim, na criação de modelos e na visualização de padrões e processos geográficos. Rosa (2005) defende que o uso de geotecnologias tem uma grande importância para a aplicação prática da geografia em áreas de análise territorial, gestão ambiental e planejamento urbano.

Segundo Breunig *et al.* (2019) explicam como as geotecnologias, o SIG e o sensoriamento remoto são necessários para a gestão de vários fatores incluindo os recursos naturais, o planejamento territorial e o desenvolvimento regional. Eles discutem também a integração dessas tecnologias e como elas aprimoram a análise espacial. Breunig *et al.* (2019) abordam, ainda, as dificuldades enfrentadas no Brasil, como infraestrutura e a capacitação técnica.

Câmara e Monteiro (2001) destacam a importância do uso de SIG para a área ambiental. Os autores defendem que o uso dessas ferramentas permitiria o processo de análises em grande volume de dados, auxiliando na compreensão e na gestão ambientais. Câmara e Monteiro

(2001) exploram, ainda, como a sobreposição das camadas e análises de proximidade são aplicadas para realizar o mapeamento, o monitoramento e a avaliação dos impactos ambientais. Para os autores, por meio do geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na área ambiental, é possível realizar a análise e a gestão de um grande volume de dados espaciais. Diante disso, esses dados espaciais auxiliam na compreensão e no monitoramento dos fenômenos ambientais.

Câmara e Medeiros (2000) afirmam que o Geoprocessamento é considerado uma tecnologia interdisciplinar que possibilita a integração de diversas áreas científicas no estudo de fenômenos ambientais e urbanos. No entanto, é ressaltado que essa interdisciplinaridade, muitas vezes, é alcançada pela redução dos conceitos de cada disciplina a algoritmos e estruturas de dados utilizados nos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).

Segundo Paranhos Filho, Mioto e Pessi (2021), o sensoriamento remoto é definido como uma técnica para a obtenção de informações da superfície terrestre sem a necessidade de contato físico. Ainda conforme os autores, existem diferenças entre os sensores utilizados no sensoriamento remoto: os sensores ópticos capturam imagens visuais; os sensores radar utilizam ondas de rádio para mensurar distâncias; e os sensores LiDAR empregam lasers para obter dados sobre a topografia. O sensoriamento remoto fornece uma visão abrangente da superfície terrestre, auxiliando em diversas áreas, como a gestão territorial e o meio ambiente.

Segundo Santos *et al.* (2022), o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nas ciências ambientais, destacou-se no período de 2009 a 2019, sendo considerado um marco no avanço da ferramenta como indispensável para a análise e a gestão ambiental. Os autores enfatizam a aplicação dos SIG em áreas como o monitoramento de recursos naturais, a gestão do uso e ocupação da terra e a análise espacial. Destacam ainda que os estudos nesta área têm crescido significativamente, refletindo no avanço de metodologias e na integração de novas tendências para o campo da geotecnologia. Santos *et al.* (2022) afirmam que, após 2019, o uso dos SIG continua sendo indispensável, trazendo novas possibilidades metodológicas para a gestão ambiental e para o entendimento dos processos espaciais.

Matias (2003) enfatiza que o SIG, junto com outras geotecnologias, como Cartografia Digital, GPS e Sensoriamento Remoto, deve ser compreendido não apenas como ferramentas técnicas, mas como elementos críticos na reprodução do espaço geográfico. Matias (2003) já tinha uma visão teórico-metodológica que integra a crítica à tecnologia com uma compreensão mais ampla das necessidades sociais e históricas que influenciam o desenvolvimento dessas ferramentas. Ele destaca a importância de explorar novas metodologias que permitam uma

análise detalhada e crítica do espaço, enfatizando a necessidade de uma abordagem dialética para entender a interação entre tecnologia e espaço geográfico (Matias, 2003).

Sanchez (2010) destaca a análise de riscos como um processo essencial para a avaliação dos impactos ambientais. O autor aponta que as geotecnologias podem ser utilizadas para identificar, quantificar e priorizar riscos, utilizando métodos de análise de cenários passados. Essa abordagem permite a elaboração de prognósticos sobre os impactos potenciais, especialmente em áreas de risco associadas a cenários hidrológicos. A gestão de riscos, nesse contexto, é fundamental para reduzir os efeitos adversos sobre o meio ambiente, como a poluição e as alterações nos recursos hídricos.

Além disso, Sanchez (2010) ressalta a importância da implementação de medidas de mitigação baseadas em geotecnologias para monitoramento contínuo das áreas de risco. Essas medidas são fundamentais para evitar desastres e garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos. A utilização das geotecnologias facilita a preservação de áreas de proteção e o controle da poluição, assegurando um uso responsável e equilibrado da água.

Além disso, Câmara e Monteiro (2000) apontam que as imagens, obtidas por diferentes meios, como satélites, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, representam formas indiretas de capturar informações espaciais. Essas imagens são armazenadas como matrizes, onde cada elemento, denominado “pixel”, reflete a energia eletromagnética da área correspondente da superfície terrestre. Devido à natureza desse processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos nas imagens, o que requer o uso de técnicas de fotointerpretação e classificação para sua identificação.

Amaral, Reis e Silva (2000) discutem a influência da expansão urbana e da ocupação humana nos impactos ambientais em áreas de risco. Eles destacam ainda que essas áreas são suscetíveis a fenômenos naturais ou induzidos que podem causar perdas materiais e danos à integridade física dos habitantes. Além disso, as intervenções humanas podem afetar as formas do relevo e seus processos naturais, podendo gerar um desequilíbrio natural e catástrofes, dependendo da localização da área e do seu material constituinte.

A ocupação irregular das encostas urbanas tem se mostrado um fator de grande preocupação, pois as atividades humanas, como o corte de sopés, a retirada de taludes e a remoção da cobertura vegetal, têm acelerado e intensificado os movimentos de massa, especialmente os escorregamentos de terra (Amaral, Reis e Silva, 2000). Esses movimentos de massa, que são processos naturais de modificação da paisagem, envolvem o transporte coletivo de materiais, como rochas e solo, sendo principalmente impulsionados pela gravidade e, muitas vezes, potencializados pela ação das precipitações (Selby, 1992). Assim, a intervenção humana

nas encostas pode tornar esses eventos naturais mais frequentes e destrutivos, impactando diretamente a dinâmica ambiental e as áreas urbanas.

Segundo Bitar, Iyomasa e Cabral Jr. (2000), as tendências e os desafios no campo das aplicações das geociências já eram discutidos, especialmente no que se refere ao uso de geotecnologias no monitoramento de processos geológicos naturais e induzidos, prevenção de riscos, recuperação de áreas degradadas, construção de obras civis, aproveitamento de recursos hídricos e mineração.

No início dos anos 2000, Bitar, Iyomasa e Cabral Jr. (2000) já analisavam o panorama mundial das tendências no campo da geotecnologia, destacando as múltiplas aplicações das geociências para resolver problemas de engenharia e otimizar o aproveitamento de recursos naturais. Esse campo de estudo estava fortemente influenciado pelo debate global sobre a crescente degradação ambiental e o desafio de alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável para a sociedade humana.

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o mapeamento interativo das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador seguiu as seguintes etapas:

- a) dados temáticos secundários (“legislação do raio de 50 metros”);
- b) técnicas para a determinação da hidrografia, nascentes e cabeceiras de drenagem;
- c) aplicativo de campo (Survey 123);
- d) imagens aéreas em campo (inventário com drone, em áreas de difícil acesso);
- e) Webmapas, Dashboard, os passos anteriores mostram as etapas para a final do mapa interativo.

Essas etapas definem o processo necessário para a construção do mapa interativo final. (Figura 4).

Figura 4 – Integração de dados para o mapeamento interativo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.1 DADOS TEMÁTICOS SECUNDÁRIOS

Para a construção da base de dados, foi utilizado o software QGIS 3.34 Prezren. Considerando que esta pesquisa visa detalhar a relação sociedade e natureza, são necessários dados de diversas variáveis como: carta topográfica, hidrografia, hipsometria, imagens de satélite, limites municipais, classes de solo, uso e ocupação do solo e vulnerabilidade ambiental (Quadro 5).

A base cartográfica foi desenvolvida utilizando a carta topográfica SG-22-Y-A-II-2-NE, disponibilizada pelo plugin BGDEx do Exército Brasileiro no QGIS, em escala de 1:25000 e com projeção WGS 84. A hidrografia foi obtida no acervo do Instituto Água e Terra (IAT), também em escala 1:25000 e projeção UTM – Fuso 22 Sul, permitindo a identificação detalhada das redes de drenagem.

Os dados de hipsometria foram extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo USGS, com resolução espacial de 30 metros e projeção geográfica WGS 84, utilizando o plugin Open Topography DEM Downloader no QGIS, facilitando a análise altimétrica do relevo. As imagens de satélite, com resolução espacial de 4 metros, foram obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), utilizando projeção UTM – Fuso 22 Sul, e são referentes ao ano de 2023.

Os limites municipais foram extraídos do banco de dados do IBGE, com escala de 1:250000, projetados em SIRGAS 2000, enquanto as classes de solos foram mapeadas pela Embrapa no ano de 2019, com escala de 1:50000 e projeção UTM – Fuso 22 Sul. As informações sobre uso e ocupação do solo foram extraídas da plataforma MAPBIOMAS, com resolução de 10 metros, elaboradas em 2023 e projetadas em SIRGAS 2000. Os dados de vulnerabilidade socioambiental foram coletados no censo demográfico de 2010 do IBGE, em escala de 1:25000 e projeção SIRGAS 2000, considerando variáveis socioeconômicas como alfabetização, renda, rede de esgoto, moradia irregular e coleta de lixo.

Quadro 5 – Base de dados cartográficos

Variáveis	Fonte	Escala	Ano de elaboração	Sistema de coordenadas
Carta topográfica	BGDEx	1:25000	1938/1950	WGS 84
Hidrografia	IAT	1:25000	2015	UTM – Fuso 22 Sul
Hipsometria	USGS	30 metros	2021	WGS 84
Copernicus Global DSM 30 m	INPE	4 metros	2023	UTM – Fuso 22 Sul
Limites municipais	IBGE	1:250000	2010	SIRGAS 2000
Classes de solos	Embrapa	1:50.000	2019	UTM – Fuso 22 Sul
Uso e ocupação do solo	MAPBIOMAS	10 metros	2023	SIRGAS 2000
Vulnerabilidade socioambiental	IBGE	1:25000	2010	SIRGAS 2000

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No Quadro 6, as variáveis selecionadas para mensurar a vulnerabilidade socioeconômica foram escolhidas com base em fatores críticos que influenciam diretamente as condições de vida da população na bacia.

As características dos moradores, como alfabetização e renda, têm um peso total de 40%, sendo 10% atribuídos à alfabetização e 30% à renda. Esses fatores refletem a capacidade da população de lidar com adversidades, uma vez que a educação e a renda são recursos essenciais para o enfrentamento de desafios sociais e econômicos. Já as características dos domicílios, que somam 60% do peso, são distribuídas entre rede de esgoto ou fossa séptica (10%), moradia irregular (30%) e coleta de lixo (20%). Esses indicadores refletem as condições de infraestrutura e os riscos associados à saúde pública e à qualidade habitacional, sendo essenciais para a compreensão das vulnerabilidades socioambientais da área de estudo.

A escolha dessas variáveis está fundamentada na sua capacidade de capturar tanto as condições individuais quanto as estruturais que impactam diretamente a resiliência da população. Conforme Goudart *et al.* (2020), fatores como falta de saneamento básico, baixa escolaridade e condições habitacionais precárias estão intimamente relacionados à vulnerabilidade socioeconômica. A ausência de serviços básicos, como saneamento e coleta de lixo, aumenta a exposição da população a riscos ambientais e à proliferação de doenças, enquanto moradias irregulares frequentemente se encontram em áreas de risco, como encostas e margens de corpos d'água.

Além disso, a baixa escolaridade limita o acesso a informações e à participação em políticas públicas, enquanto uma renda reduzida dificulta a capacidade de investimento em melhorias habitacionais e mitigação de riscos. A integração dessas variáveis permite uma análise mais precisa das desigualdades sociais e ambientais presentes na área de estudo, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de intervenções mais eficazes que abordem tanto os sintomas quanto as causas subjacentes da vulnerabilidade socioeconômica.

Quadro 6 – Variáveis utilizadas do censo demográfico de 2010

Categoria	Peso	Subcategoria	Peso	Variáveis
Características dos moradores	40%	Alfabetização	10%	Total de responsáveis não alfabetizados – Planilha Pessoas_Responsáveis (V001, V093)

		Renda	30%	Total responsável com renda até 2 salários mínimos – Planilha Responsável_Renda (V001,V002, V003)
Características dos domicílios	60%	Rede de esgoto ou fossa séptica	10%	Domicílios particulares ermanentes sem rede de esgoto ou fossa séptica – Planilha Domicílio 01 (V019, V020, V021, V022, V023)
		Moradia irregular	30%	Domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação. (não são próprios, alugados, nem cedidos) – Planilha Domicílios 01 (V011)
		Coleta de lixo	20%	Domicílios particulares permanentes sem coleta de lixo, com depósito na propriedade, em terreno baldio, logradouro, rio, lago ou mar, ou outro destino – Planilha Domicílios 01 (V038, V039, V040, V041, V042)

Fonte: IBGE (2010).

5.2 TÉCNICAS E FERRAMENTAS DE ANÁLISE

5.2.1 Delimitação da hidrografia e nascentes pela carta topográfica

Inicialmente, com a carta topográfica, foi realizada a delimitação da Bacia do Rio Lonqueador por meio dos pontos de controle que incluem locais de alta elevação do terreno, como divisores de água, e seguindo as orientações das curvas de níveis.

Para a delimitação das nascentes, inicialmente foi utilizada a carta topográfica com escala de 1:25000, obtida por meio do plugin BGDEx do Exército Brasileiro. A partir dessa base cartográfica, foram identificados os locais de nascentes e cursos d'água. Utilizando a ferramenta de digitalização do QGIS, foi realizada manualmente a espacialização das nascentes e dos cursos d'água. Após a digitalização, os dados foram ajustados para a base cartográfica SIRGAS 2000, assim assegurando a correta sobreposição com os próximos *layers*.

5.2.2 Delimitação das APPs de nascentes e cursos d'água

A Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, estabelece o raio mínimo de 50 metros para APPs de nascentes e olhos d'água perenes, enquanto para cursos d'água com largura de até 10 metros necessita uma faixa de 30 metros de raio. Para a delimitação dos locais, foi aplicado o

novo Código Florestal. Para esta etapa de delimitação das APPs de nascentes e cursos d'água, foram utilizadas layers das nascentes e dos cursos d'água. Para a obtenção do raio de 50 metros estipulado pelo novo Código Florestal, foi utilizado o QGIS, por meio da ferramenta de *buffer*. O *buffer* foi configurado com 50 metros ao redor das camadas (layers) das nascentes, e com 30 metros para os cursos d'água, em conformidade com as determinações do novo Código Florestal. Diante disso, foi possível criar as zonas de proteções adequadas. As áreas de APP resultantes foram então salvas como novas camadas vetoriais, integrando-se ao banco de dados do projeto para análise e uso subsequente.

5.3 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS APPS DE NASCENTES E CURSOS D'ÁGUA

Nesta etapa, foi aplicado o buffer da delimitação, conforme descrito na técnica anterior. Esse *layer* foi gerado utilizando a ferramenta de buffer, resultando em uma camada de zonas de proteção entorno das nascentes e cursos d'água. Com as camadas de *buffer* e de uso e cobertura do solo carregadas, a próxima etapa foi realizar o recorte utilizando a área definida. Para isso, utilizou-se a ferramenta de geoprocessamento *recortar* do QGIS, selecionando a camada de uso e cobertura da terra como a camada a ser recortada e a camada de *buffer* das nascentes e cursos d'água como a máscara de recorte.

Após realizar o recorte da camada, a próxima etapa foi sua classificação, realizada diretamente nas propriedades da própria camada. Na simbologia, foi escolhido categorizado e, no valor, o nível I. Com isso, foram geradas automaticamente as categorias baseadas nos atributos do nível I do uso e cobertura da terra. O nível I é uma das classificações presentes na tabela de atributos dos dados de uso e cobertura da terra. Nesta tabela, os dados são categorizados em três níveis distintos. Para esta etapa, foi escolhido o nível I, que oferece uma visão específica das categorias de uso e cobertura da terra conforme definido nos atributos.

Após a configuração da simbologia, a camada recortada foi atualizada na visualização do mapa com a simbologia categorizada nível I, conforme a classificação definida. Esse processo de recorte resultou em um novo *layer* contendo só os dados dentro do *buffer* delimitado na etapa anterior. A camada recortada foi salva como uma nova camada integrando a base de dados.

5.3.1 Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental

A construção dos cenários de vulnerabilidade socioambiental, correspondente à situação do ano de 2010, foi realizada com base na técnica de cartografia de síntese (Martinelli 1991, 2003), por meio da álgebra de mapas e análise multicritério.

De antemão, cita-se o uso de variáveis associadas às questões de alfabetização, renda, coleta de lixo, moradia, esgotamento sanitário e abastecimento de água, todos com valores positivos, variando de 0 a 1. Os fatores que permitem estimar a vulnerabilidade são numerosos, devendo aplicar-se a classificação, a partir do grau de importância e da disponibilidade de dados na escala de análise espaço-temporal escolhida. Para facilitar a compreensão da vulnerabilidade, esses dados podem ser ponderados com o intuito de que seja obtido um valor de vulnerabilidade por unidade (Veyret, Richemond, 2007).

Para a construção desses cenários, baseado em mapeamento, é necessário realizar o processo de normalização dos dados por setores censitários. Diante disso, é necessário, para garantir a comparabilidade dos dados entre diferentes áreas, independentemente de suas dimensões ou densidades populacionais, de modo a constituir, também, a síntese elementar do mapeamento final da vulnerabilidade socioambiental.

Sampaio (2012) ressalta que “o processo de normalização é definido como a relação entre duas variáveis” e pode ser expresso da seguinte maneira (Equação 1):

$$Vn = \frac{V1}{V2} \text{ (Equação 1)}$$

em que: Vn corresponde à variável normalizada, V1 à variável a ser normalizada e V2 à variável normalizadora.

O processo de padronização da variável normalizada, segundo Sampaio (2012), pode ser obtido pela aplicação da Equação 2, a saber:

$$Vnp = \frac{Vn - Vmin}{Vmax - Vmin} \text{ (Equação 2)}$$

em que: Vnp é a variável normalizada padronizada, Vn a variável a ser padronizada (podendo ser normalizada ou não), Vmin o menor valor da série de dados e Vmax o maior valor da série de dados, sendo, portanto, Vmax – Vmin igual a amplitude (h).

Nesse viés de análise, e considerando que as variáveis têm níveis de importância distintas, deve-se realizar a ponderação das categorias e variáveis de modo a atribuir pesos para cada uma, com a soma dos pesos igual a 100%. A síntese final da vulnerabilidade socioambiental, corresponde à somatória dos valores obtidos por intermédio das variáveis normalizadas, padronizadas e ponderadas. Os grupos de vulnerabilidades foram organizados a

partir do método estatístico de *Natural Breaks*, que permite minimizar a variância intraclases e maximizar a variância interclasses (Girardi, 2008).

Esse método de mapeamento da vulnerabilidade socioambiental na análise dos problemas socioambientais urbanos, baseado na técnica de cartografia de síntese por meio de álgebra de mapas e análise multicritério, foi utilizado por Buffon (2015) e Mendonça *et al.* (2015b) apresentando resultados satisfatórios.

Com a metodologia de Sposatti (2000), torna-se possível conhecer as desigualdades fazendo uma análise dos dados sobre a desigualdade territorial, assim mostrando locais com inclusão/exclusão social. Sposatti (2000) afirma, ainda, que essa análise geoespacial demonstra a dinâmica social e a qualidade ambiental.

A espacialização dos dados socioeconômicos foi realizada utilizando o Excel para a tabulação das informações das variáveis alfabetização, renda, rede de esgoto ou fossa séptica, moradia irregular e coleta de lixo. Após a tabulação, esses dados foram importados para o QGIS. Para utilizar esses dados no QGIS, criou-se uma tabela de atributos, na qual cada variável foi inserida com seus valores. Esses dados permitiram unir as camadas dos setores censitários.

Em seguida, foram gerados mapas individuais para cada variável utilizando as funções de simbologia do QGIS. O último passo envolveu a criação de um mapa para o índice VPPN, que combinou os valores de todas as variáveis para representar a vulnerabilidade, a perda, a prevenção e a notificação de forma integrada.

Para a confecção dos mapas individuais para cada variável, os dados foram classificados utilizando intervalos iguais. Primeiramente, o número de classes foi determinado aplicando a Regra de Sturges para garantir uma quantidade adequada de intervalos. A fórmula da Regra de Sturges é:

$$k = 1 + 3.322 \cdot \log (n)$$

Em que:

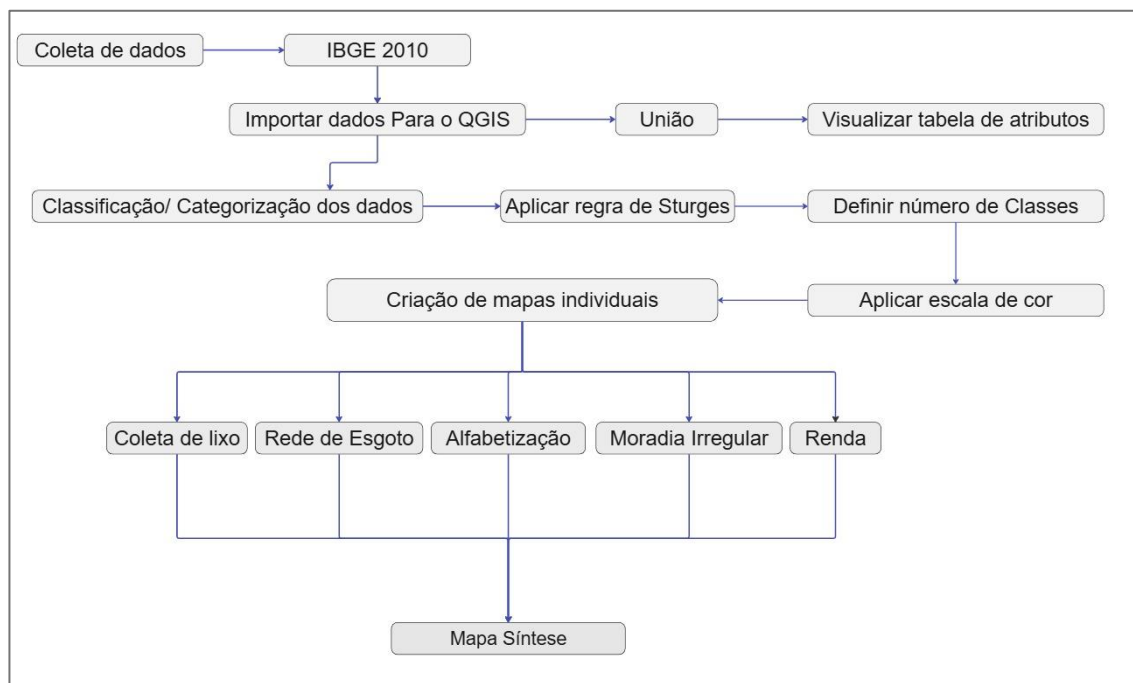
- K é o número de classes;
- N é o número total de variáveis.

A regra de Sturges auxilia a definir o número de classes para padronizar as variáveis utilizadas no fluxograma da Figura 5.

A Figura 5 demonstra o processo da coleta de dados e a classificação no QGIS, em que foram coletados dados do site do IBGE, das variáveis de coleta de lixo, rede de esgoto ou fossa séptica, alfabetização, moradia irregular e renda. Essas variáveis foram selecionadas para caracterizar o cenário de vulnerabilidade socioambiental. As variáveis serviram para

contextualizar a Bacia do Rio Lonqueador, que está impactando diretamente a conservação das nascentes.

Figura 5 – Fluxograma de coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Primeiramente, os dados de coleta de lixo (Apêndice A) foram obtidos e importados para o QGIS. Com os *shapefiles* carregados, os dados foram visualizados na tabela de atributos e, em seguida, categorizados na aba de simbologia. De maneira semelhante, os dados sobre a rede de esgoto (Apêndice B) foram importados e processados. Após acessar a tabela de atributos no QGIS, as informações foram categorizadas para representar a existência ou ausência de rede de esgoto, aplicando cores distintas para cada categoria. O mapa gerado foi ajustado e anexado à sequência de resultados. Para a variável alfabetização (Apêndice C), os dados foram carregados no QGIS, onde foram categorizados utilizando uma escala de cores que representava diferentes níveis de alfabetização. Após a categorização, o mapa temático foi gerado e adicionado aos resultados. Os dados de moradia irregular (Apêndice D) também foram processados no QGIS. A categorização das áreas de moradia irregular foi feita na aba de simbologia, onde foram aplicadas cores específicas para diferenciar as áreas regulares das irregulares. O mapa resultante foi anexado aos demais resultados. Por fim, os dados de renda (Apêndice E) foram obtidos e importados para o QGIS. Com as faixas de renda representadas

na Tabela de Atributos, foi aplicada uma escala de cores para categorizar as diferentes faixas de renda. O mapa foi gerado e incorporado à série de mapas temáticos criados.

Todas as variáveis foram categorizadas em 6 classes, seguindo a Regra de Sturges para definir o número ideal de classes. Cada variável foi ajustada com base em intervalos iguais, assegurando que todas as categorias fossem representadas de maneira consistente. Após a criação desses mapas temáticos individuais, será gerado um mapa síntese, que integrará todas as variáveis analisadas.

5.4 CRIAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO DE CAMPO NO APLICATIVO SURVEY 123

Para a coleta de dados em campo, foi utilizado o Survey 123. O Survey 123 é um aplicativo da Esri projetado para coletar dados em campo de maneira eficiente, utilizando dispositivos móveis, como smartphones. O aplicativo Survey 123 pode ser utilizado de forma offline. Para dar início ao aplicativo Survey, é preciso formular as perguntas personalizadas que serão utilizadas em campo. Esse processo envolve adicionar perguntas, escolher modelos de respostas (como texto, número ou escolha múltipla).

As questões foram formuladas para capturar informações específicas ao estudo das nascentes. No momento da criação do formulário, as questões foram inseridas da seguinte forma:

1. A nascente se encontra em área urbana ou rural?
2. Há vegetação mista no entorno da nascente?
3. Dentro do raio de 50 metros, há edificações?
4. Caso haja, quantas edificações?
5. Existem sinais de erosão no entorno da nascente (natural ou antrópica)?
6. Caso haja, qual erosão?
7. A nascente apresenta algum tipo de poluição visível?
8. Existem práticas agrícolas na proximidade da nascente?
9. A nascente está cercada ou protegida de acesso de pessoas e animais?
10. Há alguma fonte de contaminação industrial nas proximidades da nascente?
11. A nascente tem fluxo de água?

Após a escolha das perguntas, começa o processo de criação do aplicativo Survey 123. O processo começa com o acesso ao site ArcGIS online, e seguindo o Survey 123. Uma vez conectado, é possível iniciar a criação de um novo formulário de pesquisa.

O próximo passo é a criação do formulário, no aplicativo Survey 123, permitindo a criação e personalização do formulário de coleta, que foram elaboradas na primeira etapa. O formulário foi configurado previamente e elaborado com base nos objetivos da pesquisa. O aplicativo oferece diferentes modelos de perguntas para escolher, como texto, numérico, escolhas múltiplas, adequando-se às necessidades específicas da coleta de dados. Após inserir as questões no aplicativo, o formulário foi configurado para determinar aspectos, como obrigatoriedade das respostas. A seguir, foi habilitada a opção de coleta de dados offline e estabelecidas as permissões de acesso ao formulário, definindo quem poderá visualizá-lo e preencher a pesquisa (Figura 6).

Figura 6 – Painel de visualização da aplicação de campo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

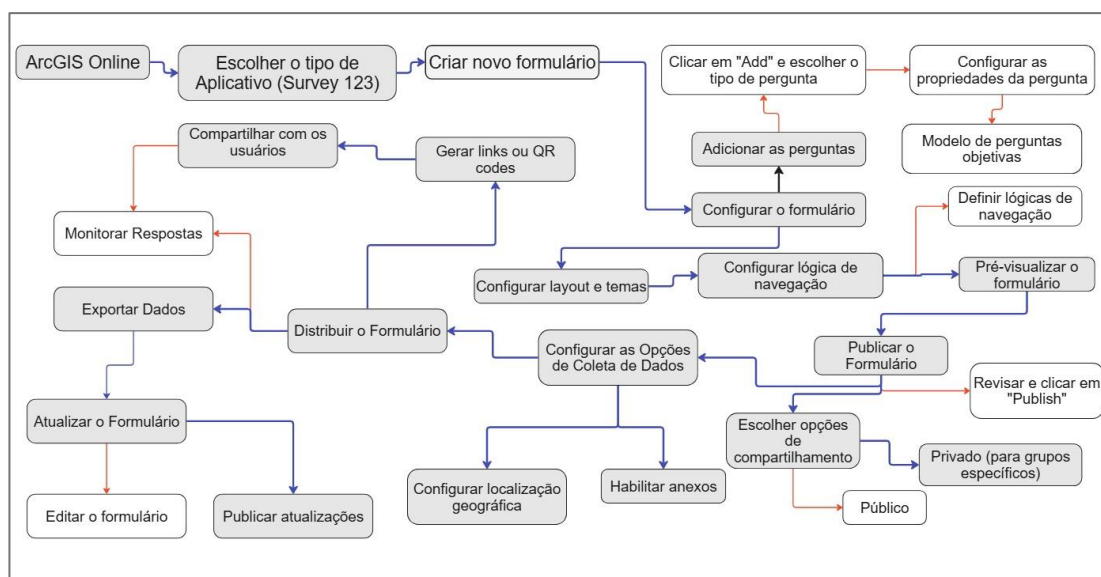
Concluindo a criação e a configuração, o formulário foi publicado para estar disponível nos dispositivos móveis. A publicação o torna acessível por meio do aplicativo Survey 123, que pode ser utilizado em dispositivos Android ou IOS.

A etapa seguinte corresponde à coleta de dados em campo. Durante a visita de campo, foram respondidas as questões de cada local visitado, registradas no formulário, preenchendo as perguntas configuradas anteriormente. A coleta de dados foi feita tanto em modo online quanto offline, com sincronização dos dados quando a conectividade fosse reestabelecida.

Após a coleta, os dados foram exportados para o ArcGIS. O Survey 123 permite a exportação dos dados coletados para um ambiente SIG. Assim iniciando a próxima etapa do *dashboard*.

A Figura 7 demonstra o processo de criação e implementação do Survey123 para a coleta de dados em campo. Este fluxo abrange desde a formulação das perguntas e personalização do formulário até a coleta de dados e exportação para o ArcGIS. As etapas incluem a criação do formulário no Survey123 com questões específicas para o estudo das nascentes, a configuração para coleta offline, a publicação do formulário para dispositivos móveis e a sincronização dos dados coletados.

Figura 7 – Fluxograma do Survey 123



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.5 CRIAÇÃO DO MAPA INTERATIVO PELO APLICATIVO DASHBOARD

O banco de dados é utilizado para criar webmaps, que é a extensão dashboard da Plataforma do ArcGIS Online. No dashboard são adicionados gráficos, indicadores, filtros e ações nas camadas dos webmaps. Cada elemento é configurado para exibir variáveis específicas, assim permitindo uma visualização personalizada. Essa configuração é realizada

dentro da extensão. Com essa ferramenta, os filtros podem ser alterados dinamicamente para selecionar quais elementos são visíveis nos mapas. Após a publicação do dashboard, é possível gerenciar e atualizar com novos dados, inclusive inserir novas coletas de campo por meio do inventário.

Após a coleta de dados com o aplicativo Survey 123 em campo, a próxima etapa é o mapa interativo. Antes da criação do Dashboard, é necessário preparar o WebMap no ArcGIS online. O WebMap é a base de dados produzido pelo QGIS.

Para isso, adicionaram-se para visualizar no Dashboard, incluindo os dados coletados pelo Survey 123. No WebMap, as camadas de dados são configuradas para garantir que as informações sobre a bacia sejam exibidas. A próxima etapa é a personalização da simbologia, definindo os pop-ups para a exibição dessas informações, ao clicar em um ponto de dados e aplicar algum filtro. A etapa seguinte é a criação do Dashboard. Com o WebMap configurado, no ArcGIS online, na seção criar aplicativo e selecionar Dashboard, e escolher o WebMap que foi criado como base.

A próxima etapa consiste na adição de elementos ao dashboard. No Dashboard, você pode adicionar alguns elementos, como mapas, gráficos, tabelas, indicadores e listas. Cada elemento pode ser configurado para exibir informações específicas dos dados do Web Map. Para adicionar um mapa, é preciso selecionar a opção “Mapa” na barra de ferramentas e configurar a visualização conforme necessário. Para gráficos e tabelas, deve-se escolher a opção “Gráfico” ou “Tabela” na barra de ferramentas, selecionar a camada de dados relevante e configurar as propriedades, como tipo de gráfico (barra, pizza etc.) e campos a serem exibidos.

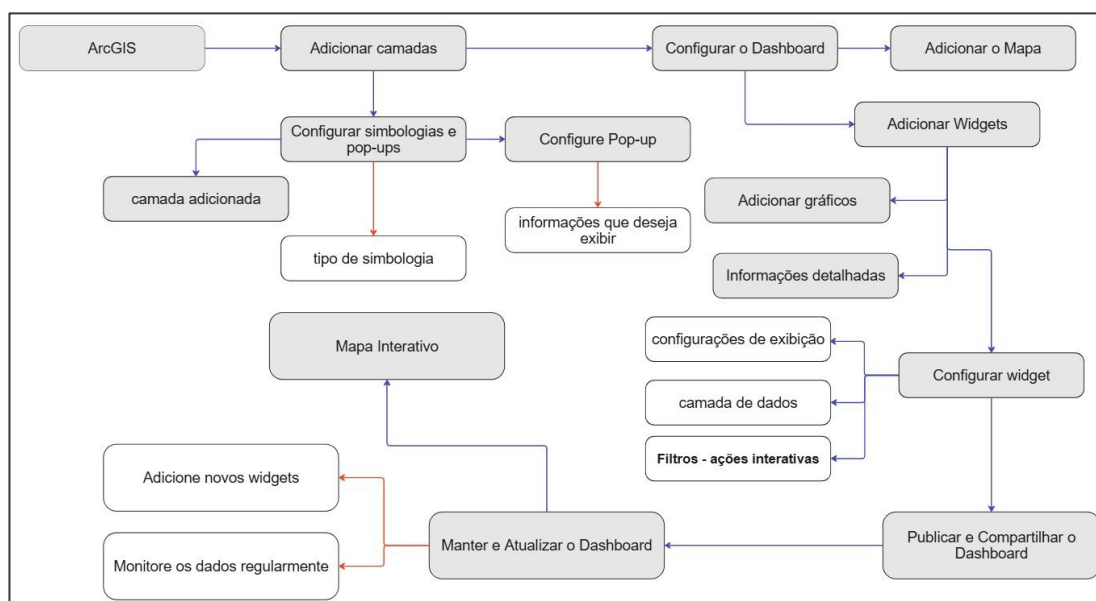
Nessa etapa, são configuradas as interações entre os elementos do Dashboard. Por exemplo, pode-se definir que, ao clicar em um item em uma tabela ou gráfico, o mapa será automaticamente filtrado para mostrar apenas os dados relacionados a esse item. Isso é feito na aba de “Ações” dentro das configurações de cada elemento.

O próximo passo é a organização dos elementos no Dashboard de forma que essas informações sejam de fácil entendimento. Para isso, deve-se ajustar o tamanho dos elementos para criar um layout claro e intuitivo. Assim, utilizando painéis de navegação, elementos de interface para melhorar o mapa intuitivo.

A última etapa é a publicação, o monitoramento e as atualizações. Após a configuração dos elementos, é possível configurar as permissões de compartilhamento, e o Dashboard pode ser compartilhado publicamente. Com o dashboard publicado, é possível acessá-lo e utilizá-lo em tempo real. Conforme novos dados são coletados, o Dashboard pode ser atualizado.

A Figura 8 demonstra o processo para a construção do aplicativo Dashboard na plataforma ArcGIS, destacando a integração dos dados obtidos por meio do Survey123. Após a coleta e a preparação dos dados, o fluxo descrito inclui a criação e a configuração do WebMap, o desenvolvimento e a personalização do Dashboard, e, finalmente, a publicação e o compartilhamento do aplicativo.

Figura 8 – Etapas para a criação do Dashboard no ArcGIS

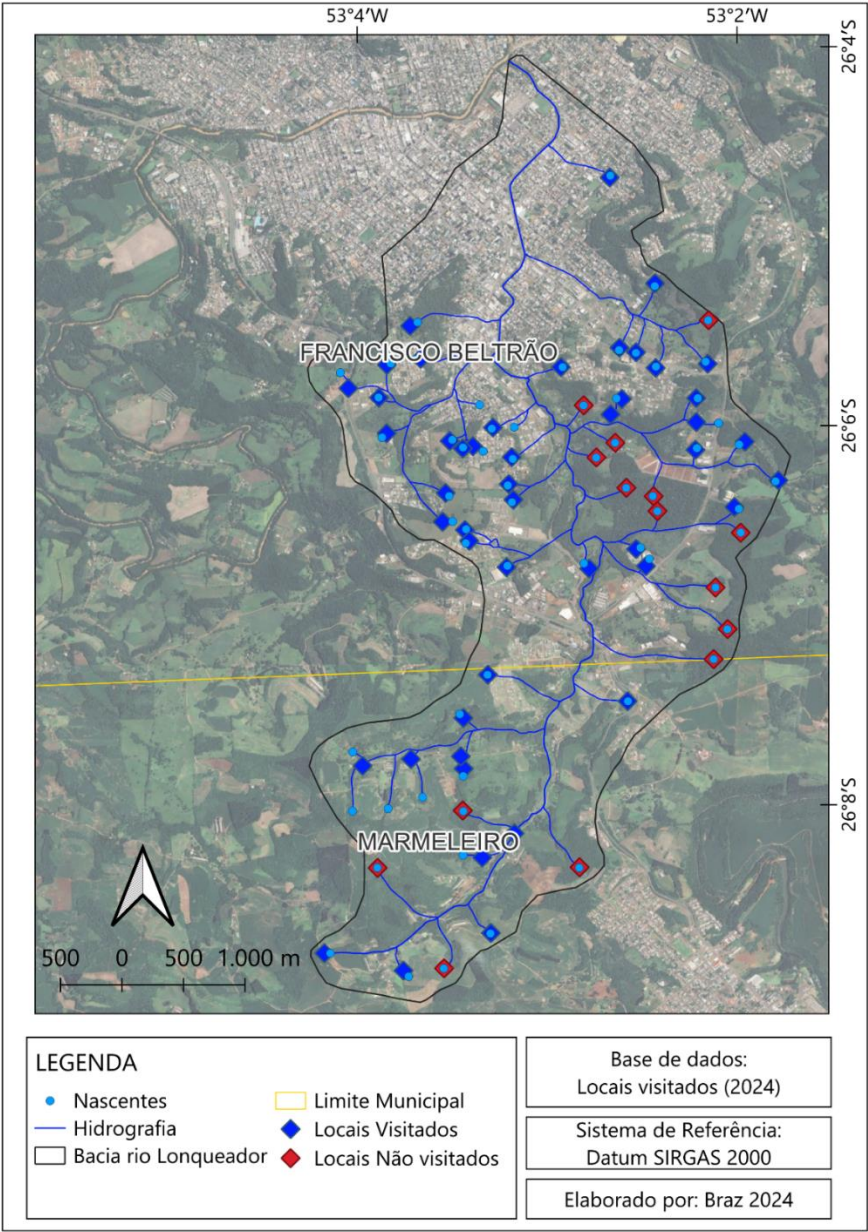


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.6 ETAPAS DE CAMPO PARA AVALIAÇÃO DAS NASCENTES

Durante o trabalho de campo, foram visitadas um total de 49 nascentes, representando aproximadamente 76,56% das 64 nascentes mapeadas inicialmente na fase inicial. O processo dos dados foi dividido em duas etapas principais, que se concentraram na visitação e avaliação das condições das nascentes e nas suas respectivas áreas de entorno (Figura 9).

Figura 9 – Mapa do trabalho de Campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A primeira etapa foi realizada no dia 26 de junho de 2024, quando foram visitadas 13 nascentes previamente identificadas. Essas nascentes foram selecionadas com base nas informações coletadas anteriormente, por meio de consulta às bases de dados. O objetivo principal desta visita foi verificar as condições de acesso, as características ambientais e o estado de conservação das nascentes e testar o aplicativo Survey 123.

A segunda etapa foi conduzida em quatro datas diferentes: 28 e 29 de outubro; e 5 e 6 de novembro de 2024. Na segunda etapa, foram visitadas 37 nascentes adicionais, completando a maior parte do trabalho de campo planejado. As visitas se concentraram em áreas que

envolvem diferentes tipos de uso e cobertura do solo. Nas visitas, foram feitas observações sobre o estado das possíveis nascentes.

No entanto, não foi possível visitar 15 nascentes, o que corresponde a cerca de 23,44% do total mapeado. As razões para a não visitação desses locais estão relacionadas a questões de logística e de acesso. As nascentes estavam localizadas em propriedades privadas e não foi possível obter as autorizações necessárias para a entrada nas áreas. A vegetação densa e a declividade acentuada também foram fatores que dificultaram o trabalho de campo nessas áreas. Mesmo com o uso do drone para auxiliar na localização e no monitoramento das nascentes, a falta de informações precisas sobre a localização exata de algumas delas impediu o uso eficaz dessa ferramenta.

As nascentes observadas em campo permitiram uma análise preliminar das condições ambientais, incluindo a observação direta e a coleta de informações sobre suas características físicas e seu estado de preservação. Para registrar os dados de forma eficiente, foi utilizado o aplicativo Survey123, que garantiu a sistematização das informações no momento da coleta.

Durante essa etapa, as nascentes foram classificadas em duas categorias principais: cabeça de canal perene (Cp) e cabeça de canal intermitente (Ci). Essa distinção é essencial devido à variabilidade dinâmica dos canais de primeira ordem, cujos trechos perenes e intermitentes sofrem alterações ao longo do ano, influenciados diretamente pelo regime hidrológico. Tanto para as nascentes perenes quanto para as intermitentes, o fluxo de água tem origem na cabeceira de drenagem, identificada previamente por meio da análise das curvas de nível da carta topográfica na escala 1:25.000, obtida do Exército Brasileiro, conforme detalhado no item 5.1 do trabalho.

As observações de campo ocorreram logo após eventos pluviométricos que resultaram em uma precipitação média mensal de 171,6 mm, de acordo com dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Essas condições meteorológicas foram consideradas ideais, uma vez que favoreceram a visibilidade do fluxo hídrico nas nascentes e possibilitaram uma melhor distinção entre os trechos perenes e intermitentes.

Com base na legislação ambiental vigente, que estabelece um raio de 50 metros de proteção entorno das nascentes, foi considerada a cabeceira de canal como o ponto de origem para fins de delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Em casos em que as nascentes perenes identificadas nas análises cartográficas não coincidiam com as nascentes observadas em campo, devido à migração do canal para um trecho intermitente, aplicou-se a legislação contemplando ambas as situações. Essa abordagem garantiu a proteção adequada das

áreas, respeitando tanto as condições observadas quanto as variações naturais identificadas durante a análise topográfica e hidrológica.

A integração das informações coletadas permitiu o desenvolvimento de um panorama detalhado sobre as características físicas, dinâmicas hídricas e condições de preservação das nascentes visitadas, constituindo uma base sólida para as análises subsequentes e para a formulação de estratégias de manejo e proteção ambiental.

5.7 COLETA DE FOTOGRAFIAS AÉREAS COM DRONE PARA O INVENTÁRIO

Durante o trabalho de campo, foi utilizado um drone para alcançar locais de difícil acesso. Essa ferramenta possibilitou visitar locais inacessíveis por outros meios, contribuindo para o inventário. O modelo escolhido foi o Mavic Mini SE, que pesa 249 gramas. Devido ao seu peso de decolagem, o equipamento está isento de permissões de voos em locais de livre acesso, conforme regulamentação da ANAC e DECEA. Para cada operação, foi definida uma altura média de 30 metros.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 VALIDAR AS NASCENTES MAPEADAS NA CARTA TOPOGRÁFICA NA ESCALA 1:25000 DA BACIA DO RIO LONQUEADOR

No contexto da Bacia do Rio Lonqueador, a análise das nascentes revelou uma distribuição geograficamente significativa entre as áreas rurais e urbanas. De acordo com a carta topográfica utilizada (escala 1:25000, SG-22-Y-A-II-2-NE), foi possível identificar um total de 64 nascentes distribuídas ao longo da bacia. Destas, 21 nascentes estão localizadas em áreas rurais, o que corresponde a aproximadamente 32,81% do total de nascentes identificadas, enquanto 43 nascentes estão situadas em áreas urbanas, representando 67,19% do total (Quadro 7). Esses dados foram obtidos a partir da análise da carta topográfica, que serviu como a principal fonte de informações geoespaciais.

A visualização dessas nascentes no mapa, representadas por pontos azuis, mostra uma concentração significativa nas porções centrais e ao norte da bacia. Esse padrão de distribuição sugere uma maior presença de nascentes nas regiões de cabeceira da bacia, com uma clara predominância em áreas urbanas. Essas áreas são, muitas vezes, mais suscetíveis à urbanização desordenada e ao impacto das atividades humanas, o que pode ter implicações na preservação e na qualidade das águas dessas nascentes.

A rede hidrográfica, representada por linhas azuis no mapa, conecta essas nascentes e ilustra um padrão de drenagem que segue um fluxo natural em direção às áreas mais baixas da bacia. Esse padrão de drenagem é característico da topografia da região e reflete a dinâmica hidrológica, na qual as águas fluem das áreas de maior elevação para as partes mais baixas, alimentando os corpos d'água da bacia. A integração entre as nascentes e a rede hidrográfica é essencial para compreender a dinâmica fluvial e os processos hidrológicos da bacia, ajudando a identificar potenciais áreas de vulnerabilidade, especialmente em zonas urbanas, onde o uso do solo pode afetar diretamente o regime de drenagem e a qualidade da água.

Além disso, a posição das nascentes nas áreas urbanas e rurais pode oferecer dados sobre os desafios e as oportunidades para a gestão ambiental da bacia, como o controle da urbanização em áreas sensíveis e a implementação de práticas sustentáveis de uso do solo para preservar essas fontes hídricas.

Quadro 7 – Distribuição das nascentes na Bacia do Rio Lonqueador

Localização	Número de nascentes	Percentual (%)
Áreas rurais	21	32,81
Áreas urbanas	43	67,19
Total	64	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

6.2 CABECEIRA DE DRENAGEM

Na análise das cabeceiras de drenagem da Bacia do Rio Lonqueador, foram identificadas 62 unidades, distribuídas em diferentes formatos. A maioria das cabeceiras apresenta formato alongado, representando 72% do total (46 unidades), característica comum em áreas onde o espaçamento entre as curvas de nível é maior. Já 25% das cabeceiras (16 unidades) possuem formato circular ou oval, associados a regiões onde as curvas de nível se aproximam, favorecendo a retenção e a infiltração de água. Apenas 3% (2 unidades) foram registradas em áreas urbanizadas, onde as alterações antrópicas impossibilitaram a caracterização geomorfológica original (Quadro 8).

Quadro 8 – Classificação das cabeceiras de drenagem

Formato	Quantidade	Porcentagem (%)
Alongadas	46	72
Circular/oval	16	25
Sem identificação	2	3
Total	62	100

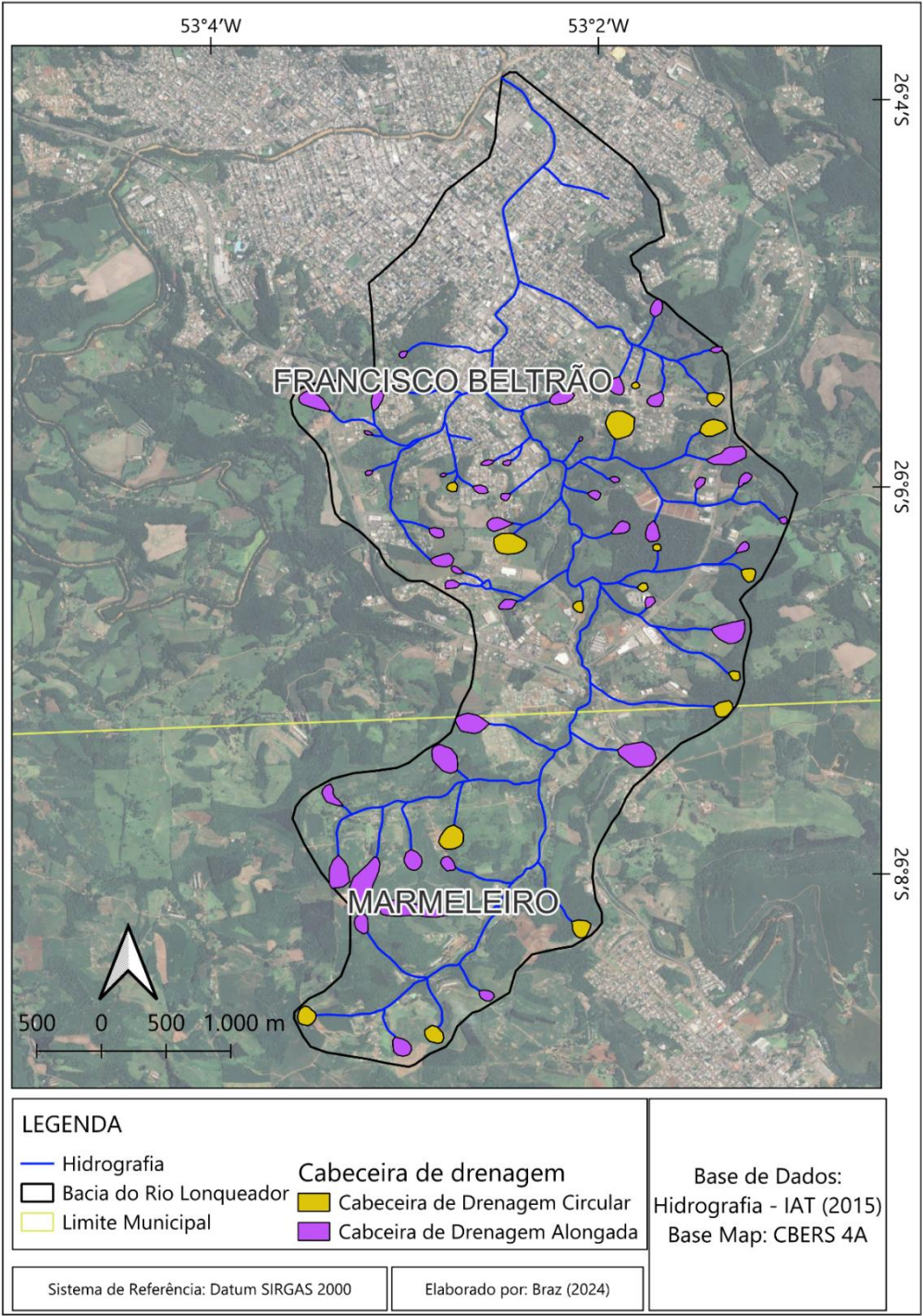
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A distribuição dos formatos reflete as dinâmicas geomorfológicas locais e a interação entre o relevo e o uso do solo. As cabeceiras alongadas, predominantes na bacia, favorecem o transporte direto da água, funcionando como corredores de escoamento mais rápido em direção aos cursos d'água. Em contraste, as cabeceiras circulares ou ovais indicam áreas de maior retenção hídrica, onde o armazenamento temporário de água é mais eficiente antes da sua descarga.

As cabeceiras alongadas concentram-se majoritariamente na região central da bacia, onde o relevo é mais acidentado, com variações altimétricas marcantes. Essa configuração favorece o escoamento superficial concentrado, aumentando o potencial de erosão e o transporte de sedimentos. Já as cabeceiras circulares ou ovais localizam-se, em sua maioria, nas áreas periféricas ao norte da bacia, associadas a terrenos mais planos e estáveis. Nesses setores,

a formação de nascentes é menos frequente, mas as condições são mais propícias ao armazenamento hídrico (Figura 10).

Figura 10 – Mapa de cabeceira de drenagem da Bacia do Rio Lonqueador



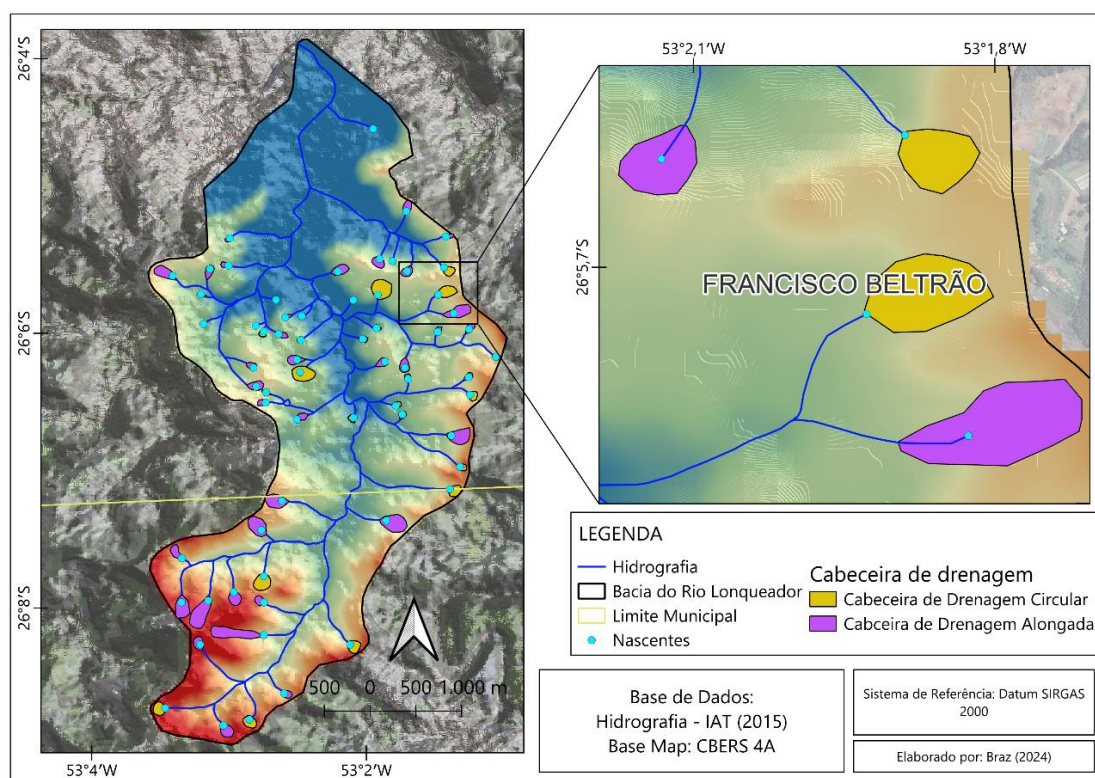
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Entretanto, essas áreas de relevo mais regular mostram-se mais vulneráveis às atividades antrópicas, como a expansão urbana e o uso agrícola intensivo. A alteração do uso do solo,

especialmente com a remoção da vegetação e a impermeabilização, reduz a capacidade de infiltração de água, favorecendo o aumento do escoamento superficial e o risco de enchentes locais. Nas cabeceiras alongadas, o formato estreito e linear favorece a drenagem rápida, especialmente durante eventos de chuva intensa, o que, por outro lado, reduz o tempo de retenção da água e contribui para a resposta mais imediata da bacia aos eventos de precipitação.

As cabeceiras de drenagem, representadas na Figura 10 e detalhadas na Figura 11, destacam-se em duas categorias principais: cabeceiras alongadas, identificadas pela cor roxa, e cabeceiras circulares ou ovais, indicadas em amarelo. Essas formações são particularmente frequentes na região central da Bacia do Rio Lonqueador, o que sugere a predominância de áreas de relevo mais acentuado, caracterizadas por elevações e depressões marcantes.

Figura 11 – Mapa de cabeceira de drenagem alongada e circular/oval



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A configuração central das cabeceiras indica uma dinâmica de escoamento concentrada, com grande potencial para erosão e transporte de sedimentos. Por outro lado, as cabeceiras circulares, localizadas nas áreas periféricas ao norte da bacia, associam-se a terrenos mais planos, onde a formação de nascentes é menos frequente e o uso humano, mais intenso.

As cabeceiras circulares ou ovais, devido ao seu formato, tendem a concentrar fluxos hídricos e a armazenar água de maneira mais uniforme. No entanto, essa característica também as torna mais vulneráveis a intervenções antrópicas, como o desmatamento e a impermeabilização do solo. Modificações no uso da terra nessas áreas podem impactar diretamente os processos hidrológicos, reduzindo a capacidade de infiltração e aumentando o risco de enchentes e degradação ambiental.

Nas áreas centrais, as cabeceiras alongadas, com seu formato mais estreito e linear, são menos propensas à retenção de água, mas desempenham papel essencial na drenagem rápida, especialmente em eventos de chuva intensa. Essa dinâmica reforça a necessidade de preservação, já que alterações em sua estrutura podem comprometer a eficiência do escoamento e intensificar os impactos de eventos extremos.

A análise das cabeceiras, combinada com sua localização e morfologia, evidencia padrões de vulnerabilidade e uso do solo que podem servir como subsídio para políticas de gestão e conservação da bacia.

6.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise do uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador, com base nos dados de 2015 fornecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAT), apresenta uma distribuição das categorias de cobertura do solo dentro da área de proteção das nascentes, considerando os 50 metros de proteção previstos pelo Novo Código Florestal de 2012 (Figura 12).

A vegetação natural na bacia ocupa 3.406 km², o que representa uma parte significativa da cobertura do solo total. Comparando com a área das nascentes, que ocupa 0,002619 km², pode-se observar que, apesar de ser uma fração da vegetação natural da bacia, essa pequena área de vegetação é fundamental para a preservação da qualidade ambiental nas nascentes. Mesmo sendo uma área limitada, ela contribui diretamente para a proteção do solo e a regulação do ciclo hídrico. No entanto, a pressão crescente de atividades humanas, como a urbanização e a agricultura, pode reduzir a quantidade e a qualidade dessas áreas nas APPs.

A área antrópica não agrícola ocupa 5.854 km² na bacia como um todo. Quando comparamos com a área das nascentes, que ocupa 0,017354 km², a diferença é considerável. A área não agrícola abrange principalmente zonas urbanas e industriais, que impactam diretamente a permeabilidade do solo e o regime de escoamento superficial. Embora essa categoria represente uma fração menor da área das nascentes, a presença de áreas urbanas e

industriais pode comprometer a qualidade da água das nascentes, contribuindo para a impermeabilização do solo e o aumento da erosão.

A área antrópica/agrícola com vegetação ocupa 5.665 km² na bacia total, enquanto na área das nascentes, ocupa 0,057770 km². Esse tipo de uso do solo reflete uma combinação de atividades agrícolas e presença de vegetação nativa, ainda que de forma fragmentada. Comparando as proporções, pode-se observar que, embora a área das nascentes represente uma fração pequena dessa categoria, ela ainda é uma parte relevante em termos de manutenção de corredores ecológicos. A coexistência de agricultura com vegetação natural, quando bem manejada, pode minimizar os impactos ambientais, como a erosão e a perda de biodiversidade. No entanto, a fragmentação e a intensificação das práticas agrícolas nas nascentes ainda geram impactos na qualidade do solo e na disponibilidade de água.

As áreas antrópicas agrícolas representam 3.060 km² da bacia, enquanto ocupam 0,020649 km² da área das nascentes. Embora essa categoria represente uma menor extensão comparada às outras, a conversão de áreas naturais para a agricultura intensiva nas nascentes é particularmente preocupante. A análise da proporção entre a área total da bacia e a área das nascentes revela que, embora as áreas agrícolas na bacia sejam vastas, elas afetam de forma significativa as APPs das nascentes, resultando em impactos como degradação do solo, uso excessivo de recursos hídricos e poluição das águas. A agricultura intensiva compromete a capacidade regenerativa das áreas de vegetação natural, afetando a dinâmica ambiental das nascentes.

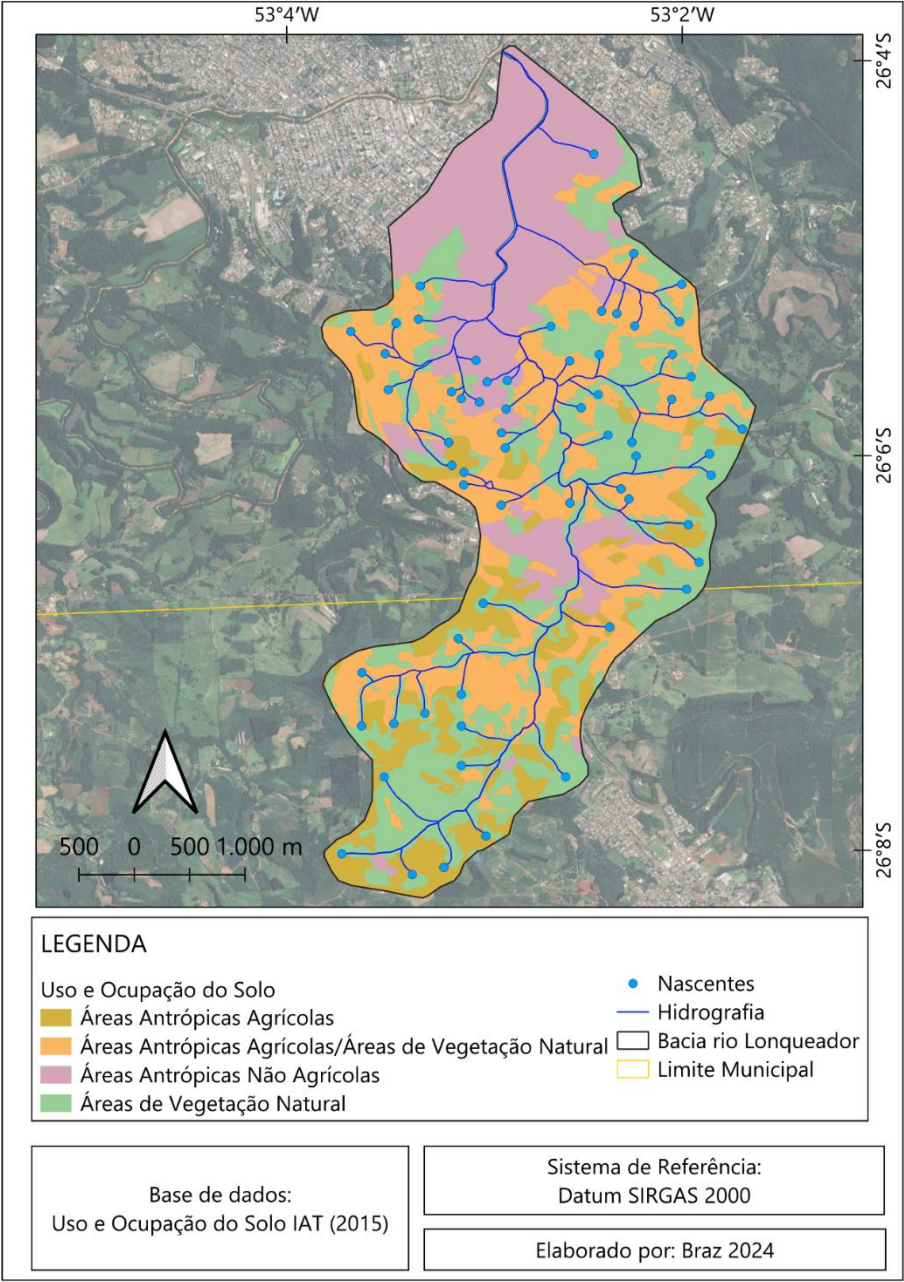
Esses dados são apresentados no Quadro 9, que ilustra a distribuição do uso e cobertura do solo nas áreas totais e das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador, conforme dados de 2015:

Quadro 9 – Categorias de uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Lonqueador – IAT 2015

Tipo de cobertura	Valor em km²	Área das nascentes (km²)
Área de vegetação natural	3.406	0. 002619
Área antrópica não agrícola	5.854	0. 017354
Área antrópica/agrícola com vegetação	5.665	0. 057770
Áreas antrópicas agrícolas	3.060	0. 020649

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

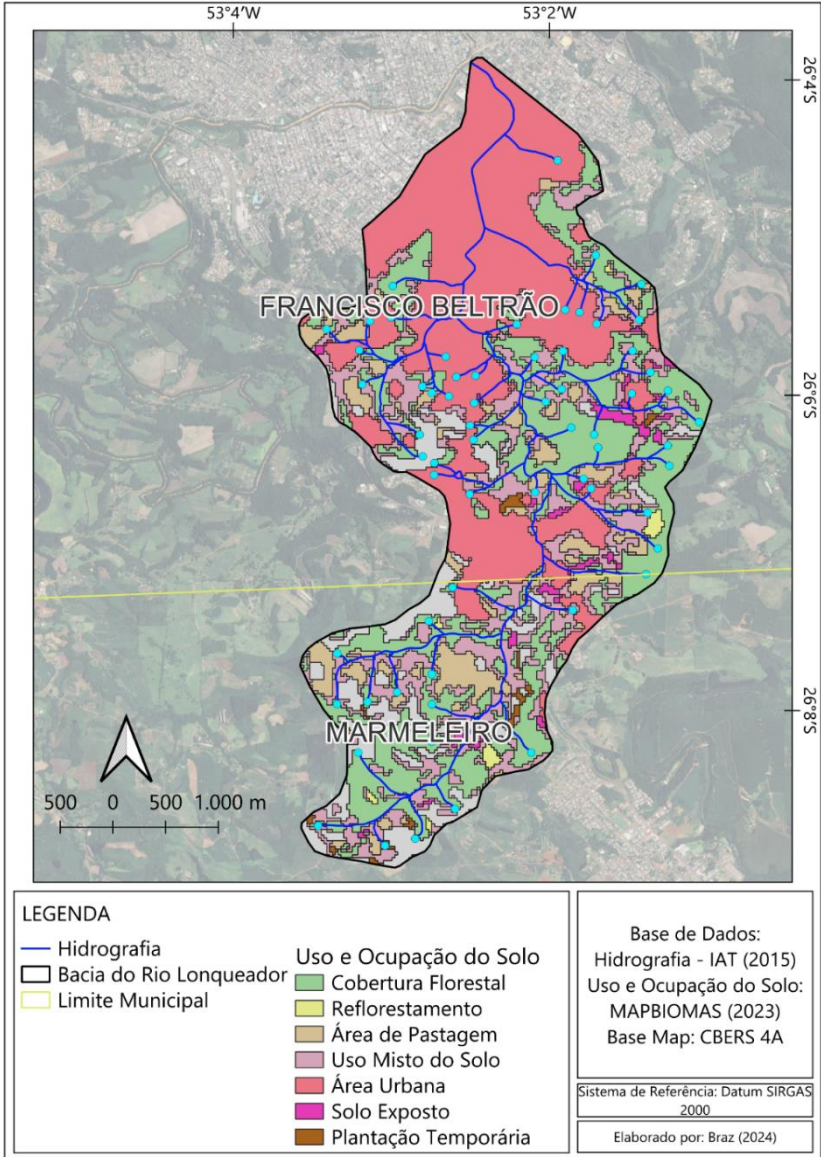
Figura 12 – Mapa de uso e ocupação do solo IAT – 2015



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os dados analisados para o ano de 2023, obtidos a partir do MapBiomias, revelam a distribuição do uso e cobertura do solo na área de estudo, destacando a predominância das categorias (Figura 13).

Figura 13 – Mapa de uso e ocupação do solo MAPBIOMAS – 2023



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A cobertura florestal tem uma área total da bacia de 4.852 km², enquanto nas nascentes, a cobertura florestal corresponde a 0,202211 km². Comparando os dois valores, observa-se que a área de cobertura florestal nas nascentes é uma fração bem menor em relação à bacia como um todo, o que pode refletir a fragmentação de áreas florestais e a necessidade de estratégias de conservação e recuperação dessas áreas em torno das nascentes.

A bacia tem um total de 0,106 km² de área reflorestada, enquanto nas nascentes, o reflorestamento ocupa 0,000841 km². Essa comparação mostra que o reflorestamento nas nascentes é uma área muito pequena, indicando que os esforços para recuperação da vegetação nas zonas de preservação precisam ser intensificados.

A área urbana ocupa 6.398 km² na Bacia do Rio Lonqueador, enquanto nas nascentes, a área urbana é de 0,139087 km². Embora a área urbana nas nascentes seja pequena em comparação com a área total da bacia, ainda representa um impacto considerável, especialmente devido à urbanização crescente e seus efeitos sobre a qualidade da água e o ecossistema local.

O valor total da bacia para solo exposto é de 0,254 km², enquanto nas nascentes essa área corresponde a 0,002516 km². A área de solo exposto nas nascentes, embora pequena, reflete locais onde a cobertura de vegetação foi removida, o que pode afetar a estabilidade do solo e o controle da erosão nessas áreas sensíveis.

As culturas temporárias ocupam 1.643 km² na bacia, enquanto nas nascentes, a área com culturas temporárias é de 0,040930 km². A diferença entre o valor total e o valor das nascentes sugere que, apesar de haver alguma atividade agrícola nas zonas de nascente, ela é limitada em comparação com a bacia em geral. Isso pode ajudar na preservação de áreas naturais, mas também revela o risco de impactos negativos da agricultura intensiva nas nascentes.

A Bacia do Rio Lonqueador possui 3.498 km² de uso misto do solo, enquanto nas nascentes, essa área é de 0,087920 km². O uso misto do solo nas nascentes, embora menor, ainda representa uma parte importante da dinâmica do território, evidenciando uma transição entre atividades antrópicas e vegetação natural. Esse tipo de uso pode contribuir para a preservação parcial das nascentes, mas também pode implicar desafios para a gestão ambiental da área.

Esses dados são apresentados no Quadro 10, que ilustra a distribuição do uso e cobertura do solo nas áreas totais e das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador, conforme os dados de 2023 da cobertura do solo do MAPBIOMAS:

Quadro 10 – Classificação e percentual de cobertura do solo do MAPBIOMAS – 2023

Tipo de cobertura	Valor em km ²	Área das nascentes (km ²)
Cobertura florestal	4.852	0.202211
Reflorestamento	0.106	0.000841
Área urbana	6.398	0.139087
Solo exposto	0.254	0.002516
Cultura temporária	1.643	0.040930
Uso misto do solo	3.498	0.087920

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise comparativa entre os dados de 2015 e 2023 evidencia mudanças significativas no uso e ocupação do solo, com destaque para o aumento expressivo das áreas urbanizadas. Em 2015, segundo o IAT, as áreas urbanas estavam incluídas na categoria “área antrópica não agrícola”, representando 34,36% do território. Já em 2023, os dados do MapBiomas mostram

que as áreas urbanizadas alcançaram 37,55%, consolidando-se como a maior categoria. Esse crescimento reflete a intensificação da ocupação humana e da infraestrutura urbana, o que, embora contribua para o desenvolvimento socioeconômico, eleva os riscos ambientais, especialmente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), que sofrem maior pressão e apresentam maior vulnerabilidade à degradação.

A redução proporcional das áreas naturais e agrícolas reforça os impactos da urbanização. Em 2015, a “área de vegetação natural” correspondia a 19,99%, enquanto a cobertura florestal, em 2023, alcançou 28,46%, indicando um aumento absoluto, mas proporcionalmente menor devido à reclassificação de outras categorias. A expansão de áreas classificadas como “uso misto” e “cultura temporária”, que juntas somaram 30,16% em 2023, aponta para a transformação de espaços anteriormente dedicados à vegetação natural ou à agricultura em usos mais fragmentados e intensivos.

A presença de solo exposto em 1,49% da área, em 2023, ressalta processos de degradação ou ocupação recente, agravando as fragilidades ambientais, principalmente em áreas próximas a nascentes e cursos d’água. Esse cenário amplia o risco de assoreamento de corpos hídricos e perda de biodiversidade. Por outro lado, a categoria de reflorestamento, que representa 0,62% do território, em 2023, evidencia esforços localizados de recuperação ambiental, mas ainda em escala insuficiente para mitigar os impactos do avanço antrópico.

Essas mudanças destacam a necessidade de estratégias integradas de planejamento e conservação ambiental. A proteção dos recursos hídricos e das APPs torna-se essencial, demandando ações que conciliem desenvolvimento urbano com sustentabilidade. Nesse contexto, práticas de conservação e recuperação ambiental se mostram fundamentais.

Entre as estratégias existentes, o Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas (ANA), incentiva a preservação dos recursos hídricos por meio de pagamento por serviços ambientais (PSA), beneficiando proprietários rurais que conservam ou recuperam áreas naturais, como nascentes e matas ciliares. As Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), regulamentadas pelo ICMBio, complementam essas iniciativas ao permitir que proprietários instituem áreas de preservação em suas terras, promovendo a conectividade entre fragmentos florestais e garantindo benefícios fiscais e suporte técnico. Já a Política Nacional de Educação Ambiental, instituída pela Lei n.º 9.795/1999, fomenta campanhas educativas para sensibilizar a sociedade sobre a importância da preservação ambiental, fortalecendo o engajamento da população em ações de conservação.

Nos municípios de Francisco Beltrão e Marreleiro, observam-se iniciativas locais alinhadas a essas propostas. Em Francisco Beltrão, a Secretaria de Meio Ambiente distribuiu

mais de 17 mil mudas de árvores nativas em 2019, visando à recuperação da vegetação em áreas urbanas e rurais, especialmente nas APPs (Prefeitura de Francisco Beltrão, 2019). Já em Marmeleiro, a implementação de um programa de proteção de nascentes focou na recuperação de áreas degradadas ao redor de fontes hídricas, combinando assistência técnica a propriedades rurais com a distribuição de mudas para reflorestamento, promovendo a sustentabilidade hídrica local (Instituto Água e Terra, 2023).

No âmbito estadual, o Paraná se destaca com políticas abrangentes, como o programa “Paraná Mais Verde”, que distribuiu mais de 9,8 milhões de mudas desde 2019 (Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, 2024), e o “Programa Estadual de Proteção de Nascentes”, responsável pela recuperação de mais de 6,9 mil nascentes até 2024, com a meta de alcançar 30 mil até 2026 (Paraná, 2024). Essas ações integram campanhas educativas e fiscalização rigorosa, reforçando a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável.

6.4 CAMINHO METODOLÓGICO PARA INVENTÁRIO DAS NASCENTES EM CAMPO

O mapa interativo desenvolvido para a Bacia do Rio Lonqueador é uma ferramenta que auxilia a sintetizar os diferentes conjuntos de dados coletados em campo. Com foco nas nascentes e cabeceiras de drenagem, o mapa combina informações sobre práticas agrícolas, acesso, presença de animais, vegetação e outras condições locais. Os gráficos incorporados ao mapa oferecem uma síntese visual das principais questões respondidas em campo, como a interferência das atividades humanas e a cobertura vegetal nas áreas de nascente. Além disso, a sobreposição dos dados de vulnerabilidade socioambiental no mapa permite uma avaliação geoespacial detalhada.

A criação do dashboard permitiu que as informações coletadas fossem apresentadas de forma integrada, oferecendo uma visão clara e abrangente das condições e características da área estudada.

O Dashboard é composto por três quadros principais (Figura 14):

a) Quadro de Perguntas sobre as principais perguntas dados do Campo.

- Práticas agrícolas próximas à nascente: Este gráfico de pizza exibe informações sobre as práticas agrícolas realizadas nas áreas próximas às nascentes. Esse gráfico demonstra se há prática agrícola no entorno da nascente.

- Acesso da cabeceira de drenagem: O gráfico apresenta dados sobre as condições de acesso às cabeceiras de drenagem. A visualização desse gráfico permite verificar se o local visitado tem fácil acesso.

- Animais próximos à cabeceira de drenagem: Este gráfico mostra a presença de animais nas proximidades das cabeceiras de drenagem.

- Vegetação no entorno da cabeceira de drenagem: A vegetação no entorno das cabeceiras de drenagem é representada neste gráfico, indicando a cobertura vegetal que pode proteger ou influenciar as cabeceiras. Se o local está protegido com a área de APP.

- Localização da cabeceira de drenagem: Este gráfico visualiza a localização das cabeceiras de drenagem identificadas na pesquisa.

- Cabeceira sobrevoada por drone: Indica se as cabeceiras de drenagem foram sobrevoadas por drone, auxiliando nos locais de acesso restrito.

Os gráficos de pizza sintetizam as informações coletadas. O gráfico sobre as práticas agrícolas próximas às nascentes ajuda a identificar áreas onde a agricultura pode estar impactando a preservação de água ou a integridade ecológica das nascentes.

O gráfico relacionado ao acesso às cabeceiras de drenagem revela as dificuldades ou facilidades encontradas para acessar essas áreas, o que é importante para a conservação. Locais de difícil acesso podem ser mais vulneráveis, pois podem ser negligenciados em termos de monitoramento e proteção, exigindo estratégias específicas para garantir a sua preservação.

Outro aspecto relevante é a presença de animais nas proximidades das cabeceiras de drenagem. Esse fator pode ter impactos tanto positivos quanto negativos. A presença de fauna local pode ser um indicativo de boa saúde ambiental, mas, ao mesmo tempo, animais de criação podem representar uma fonte de poluição, especialmente se estiverem em grande número ou sem manejo adequado.

A análise da vegetação no entorno das cabeceiras é fundamental para entender a proteção natural das nascentes. Cabeceiras com boa cobertura vegetal tendem a estar mais protegidas contra erosão e poluição, o que reforça a importância de conservar e, quando necessário, restaurar a vegetação nativa nessas áreas.

A localização das cabeceiras de drenagem e a utilização de drones permitiu uma visualização precisa das condições locais, especialmente em áreas de difícil acesso. Esses dados são integrados no segundo quadro do mapa, que sobrepõe informações sobre a vulnerabilidade socioambiental.

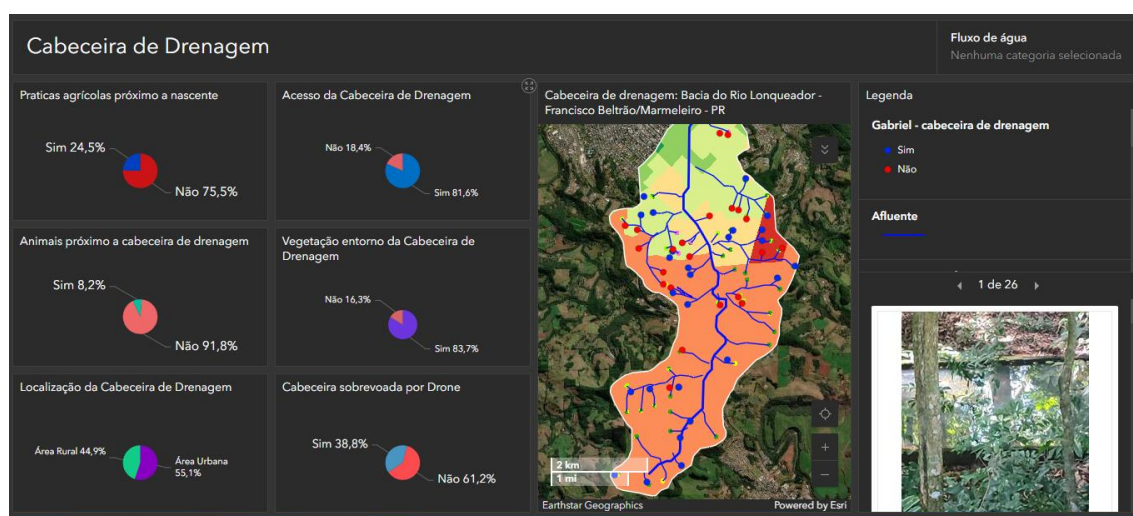
b) Quadro do mapa da cabeceira com dados de vulnerabilidade:

- O segundo quadro exibe um mapa das cabeceiras de drenagem, sobrepondo os dados de vulnerabilidade socioambiental. Nesse mapa, é possível visualizar a vulnerabilidade que apresenta na área rural.

c) Quadro da legenda e fotos registradas:

- O terceiro quadro inclui a legenda do mapa e as fotos registradas. As fotos fornecem evidências visuais das condições dos locais e das áreas circundantes, enquanto a legenda ajuda a interpretar as informações representadas no mapa. O mapa interativo permite que usuários visualizem as respostas selecionadas diretamente no mapa e nos gráficos. Ao clicar nos gráficos, o mapa exhibe as informações correspondentes.

Figura 14 – Mapa interativo ArcGIS online



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao utilizar um mapa interativo¹, é possível integrar dados visuais e analíticos em uma plataforma dinâmica e funcional. Diferente dos mapas estáticos, que oferecem representações fixas de informações, o mapa interativo proporciona uma experiência flexível e personalizada ao permitir a exploração de diferentes camadas de dados, ajustando a visualização conforme as necessidades do usuário.

A combinação de informações geográficas com dados coletados em campo, como práticas agrícolas, condições de acesso e cobertura vegetal, é apresentada de maneira integrada e acessível. A alimentação dos dados ocorre em tempo real ou de forma contínua, o que permite atualizações frequentes e facilita o monitoramento constante das condições analisadas.

Além disso, o uso de mapas interativos favorece a análise espacial detalhada ao sobrepor camadas de informações, como a vulnerabilidade socioambiental e a localização das cabeceiras de drenagem. Esse recurso permite identificar padrões e tendências que podem ser ocultos em

¹ Segue o link para acessar o mapa interativo no dashboard, onde é possível visualizar os dados coletados em campo: <https://webgisunioeste.maps.arcgis.com/apps/dashboards/80033355471d4757b198733e336fb261>

representações estáticas, otimizando a tomada de decisões e o planejamento estratégico. A interface interativa também promove maior engajamento dos usuários, já que facilita a visualização de dados complexos de forma intuitiva, permitindo explorar cenários específicos e adaptar as análises de acordo com diferentes contextos ou objetivos.

Por fim, a dinâmica dos mapas interativos não apenas melhora a comunicação de informações técnicas para diferentes públicos, mas também amplia sua aplicabilidade em atividades de pesquisa, gestão ambiental, tornando-se uma ferramenta essencial para análises geoespaciais contemporâneas.

7 ANALISAR ESPAÇO-TEMPORALMENTE AS NASCENTES MAPEADAS E SUAS RELAÇÕES COM A VULNERABILIDADE E RISCOS SOCIOAMBIENTAIS

O cenário de vulnerabilidade socioambiental na Bacia do Rio Lonqueador apresenta uma configuração complexa, com variações significativas entre áreas urbanas e rurais. Os dados a seguir ilustram essas diferenças por meio de uma escala cromática que indica os níveis de risco socioambiental, destacando cada setor censitário.

Nas áreas urbanas da bacia, predomina uma vulnerabilidade baixa, representada pelas tonalidades verdes no mapa. Essa classificação reflete uma infraestrutura mais consolidada, particularmente em regiões do norte da bacia, onde a densidade populacional e o nível de urbanização são mais elevados. Setores censitários próximos ao centro do município de Francisco Beltrão se destacam com vulnerabilidade muito baixa, localizada no baixo curso à margem esquerda da Bacia do Rio Lonqueador. Esses setores apresentam uma combinação de fatores que contribuem para a menor vulnerabilidade, como a proximidade a serviços essenciais e uma gestão ambiental mais estruturada, que reduz pressões sobre os recursos naturais.

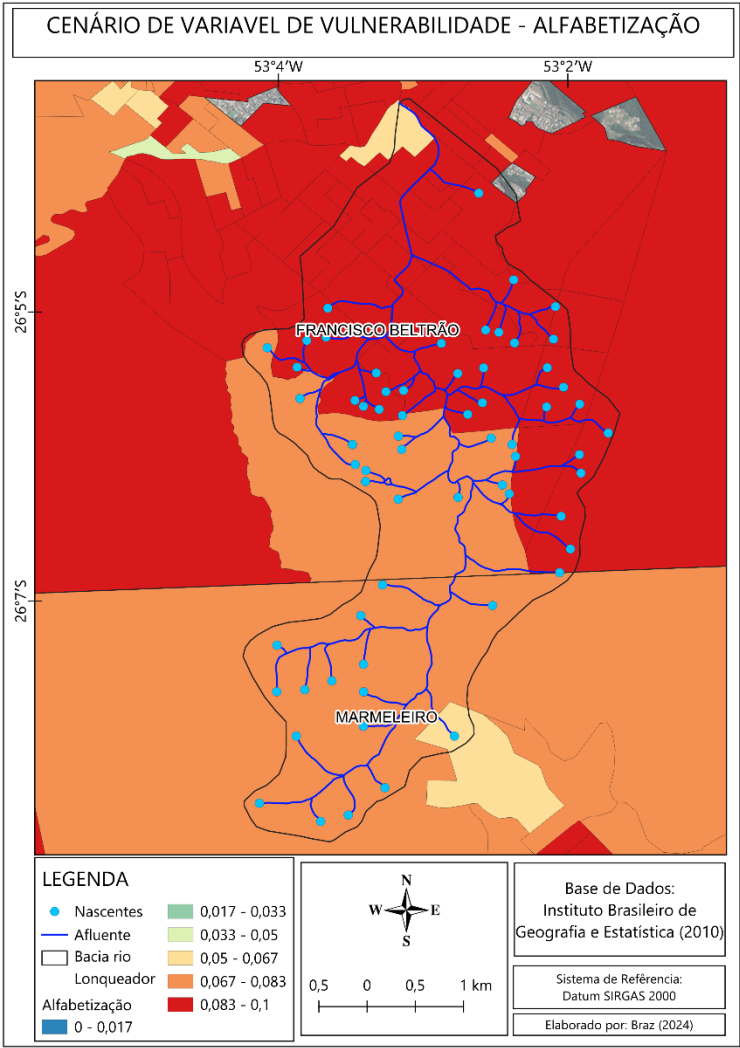
Contrariamente, as áreas rurais, situadas ao sul da bacia, apresentam uma vulnerabilidade predominantemente moderada, simbolizada pelas cores amarelas no mapa. Essas áreas possuem menor densidade populacional e uma cobertura vegetal mais extensa, o que pode favorecer a conservação ambiental. Entretanto, a intensificação das práticas agrícolas e o uso descontrolado do solo elevam os riscos ambientais. O manejo inadequado de resíduos, tanto industriais quanto agrícolas, também contribui para agravar esse cenário. A presença de lixo nas margens das nascentes reflete esses desafios e destaca a necessidade de melhorias na gestão de resíduos e na preservação ambiental, conforme discutido por Souza (2018).

Além disso, o aumento da pressão sobre os recursos naturais em zonas rurais pode comprometer a qualidade ambiental, exigindo estratégias voltadas à restauração da vegetação nativa e à implantação de práticas agrícolas mais sustentáveis. A proteção das áreas de preservação permanente (APPs) é crucial para mitigar esses riscos e garantir a integridade dos ecossistemas locais.

Fatores socioeconômicos desempenham um papel significativo na configuração da vulnerabilidade ambiental na bacia. Nas áreas rurais, as taxas de alfabetização (Figura 15) são reduzidas devido à dificuldade de acesso às escolas, causada pelas grandes distâncias entre as residências e as instituições de ensino. Nas áreas urbanas, as taxas de alfabetização também são

menores do que o esperado, mas por razões diferentes, como o impacto da densidade populacional na qualidade da educação.

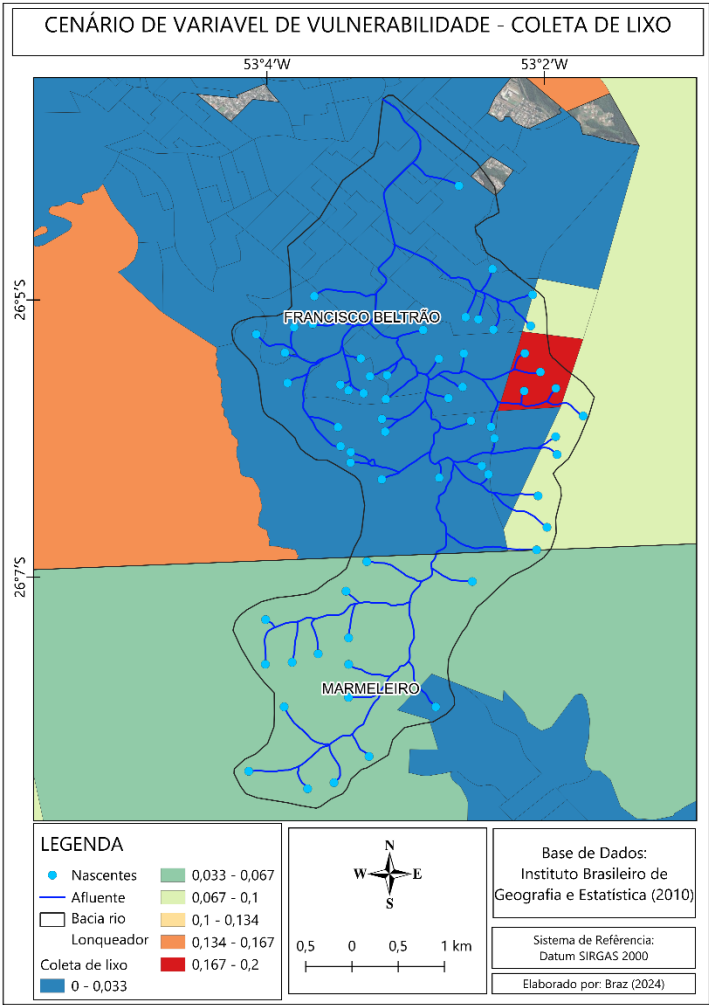
Figura 15 – Mapa da variável de vulnerabilidade – alfabetização



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os índices de coleta de lixo (Figura 16) são baixos tanto em áreas urbanas quanto rurais, especialmente na área rural de Marmeleiro, onde a frequência de coleta é ainda menor. Essa deficiência compromete a saúde pública e o meio ambiente, aumentando os riscos de contaminação dos recursos hídricos.

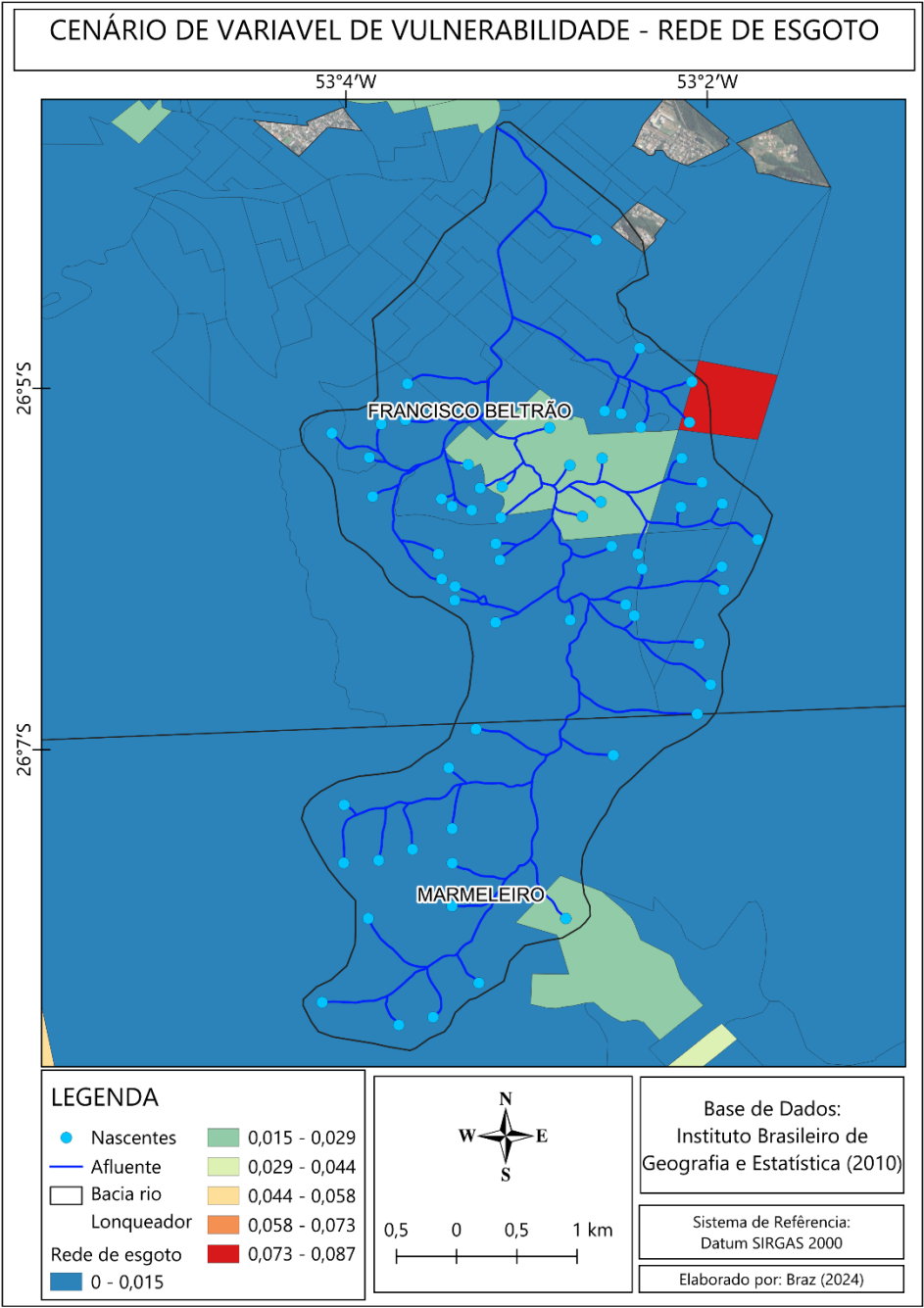
Figura 16 – Mapa da variável de vulnerabilidade – coleta de lixo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De forma similar, a cobertura da rede de esgoto (Figura 17) é insuficiente em toda a bacia, indicando fragilidades na infraestrutura básica, o que acentua a vulnerabilidade socioambiental.

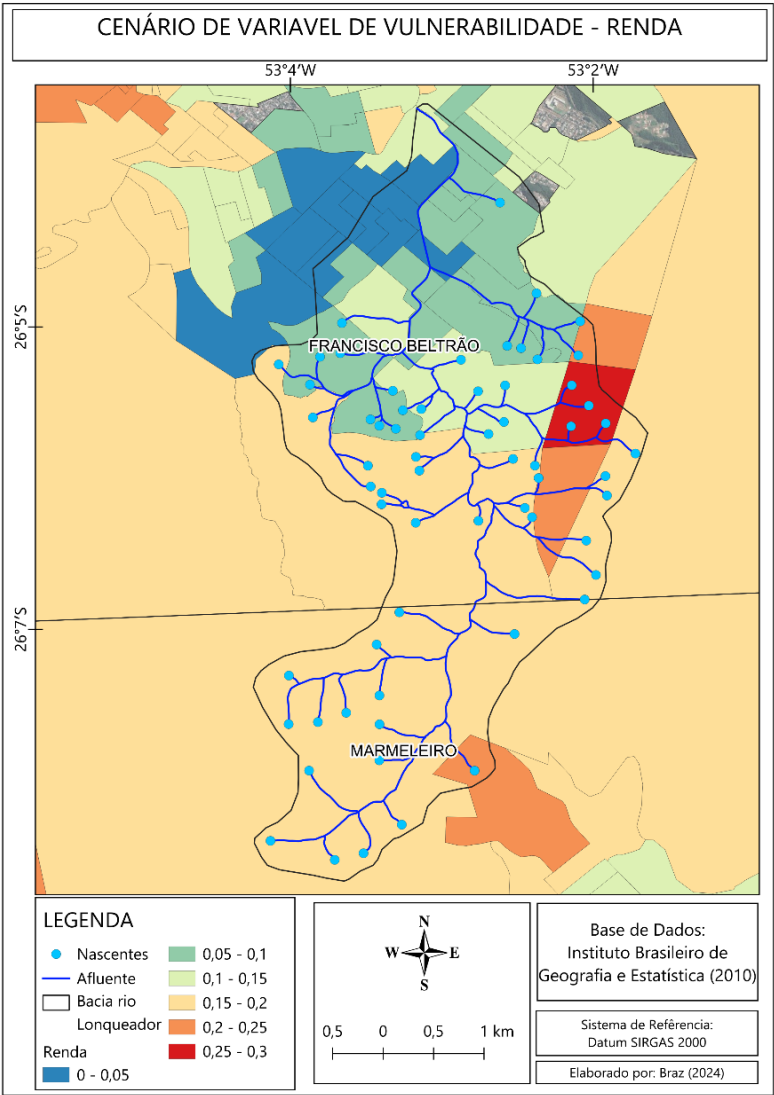
Figura 17 – Mapa da variável de vulnerabilidade – rede de esgoto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A distribuição de renda (Figura 18) apresenta contrastes evidentes entre áreas urbanas e rurais. No meio rural, a distribuição de renda é mais homogênea, provavelmente devido à diversificação das atividades econômicas. Em contraste, nas áreas urbanas do norte da bacia, há maior concentração de renda, evidenciando disparidades econômicas que impactam o acesso a recursos e serviços.

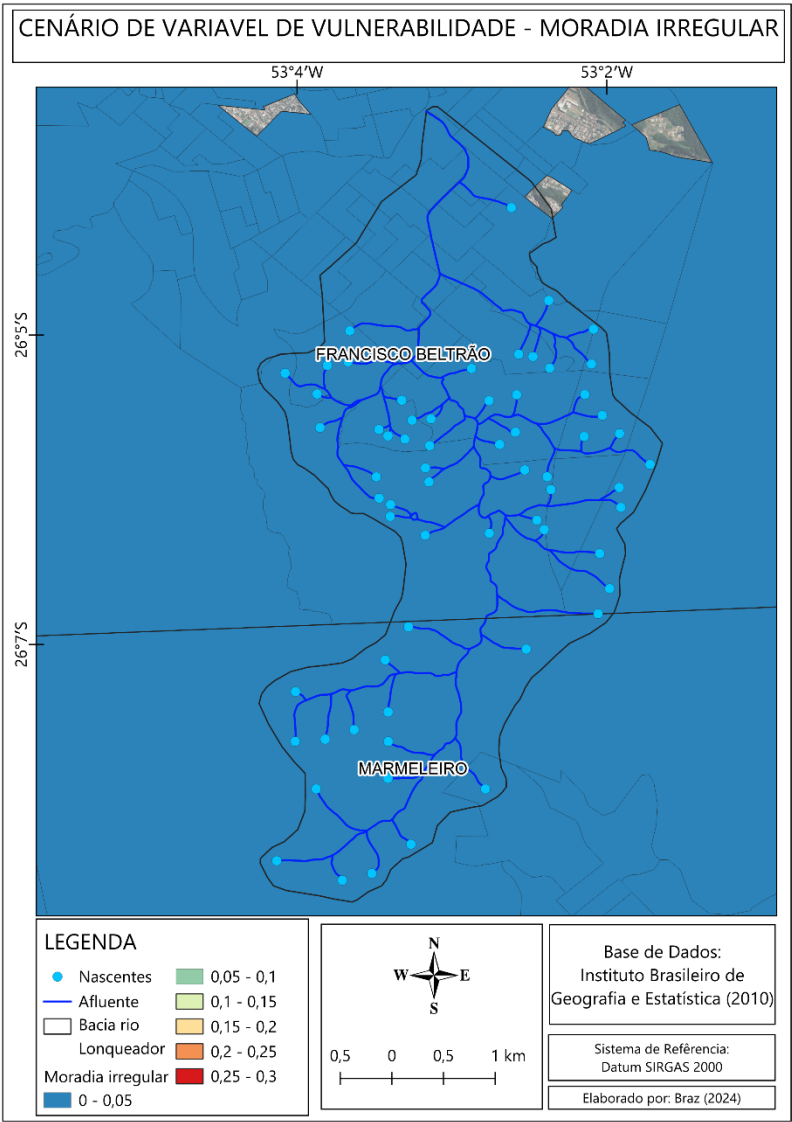
Figura 18 – Mapa da variável de vulnerabilidade – renda



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Apesar desses desafios, o índice de moradia irregular (Figura 19) na bacia é extremamente baixo, o que reflete uma vulnerabilidade habitacional reduzida. Esse fator, aliado a iniciativas de urbanização controlada, contribui para a redução de riscos em áreas habitadas. A análise detalhada do cenário de vulnerabilidade socioambiental na Bacia do Rio Lonqueador reforça a importância de uma abordagem integrada para a gestão ambiental e socioeconômica da região. A preservação das áreas de APPs, a restauração da vegetação nativa e a melhoria da infraestrutura básica, como rede de esgoto e coleta de lixo, são essenciais para mitigar os riscos e promover um desenvolvimento sustentável. A disparidade entre áreas urbanas e rurais exige estratégias específicas que considerem as peculiaridades de cada setor, buscando equilibrar a conservação ambiental com as necessidades socioeconômicas da população.

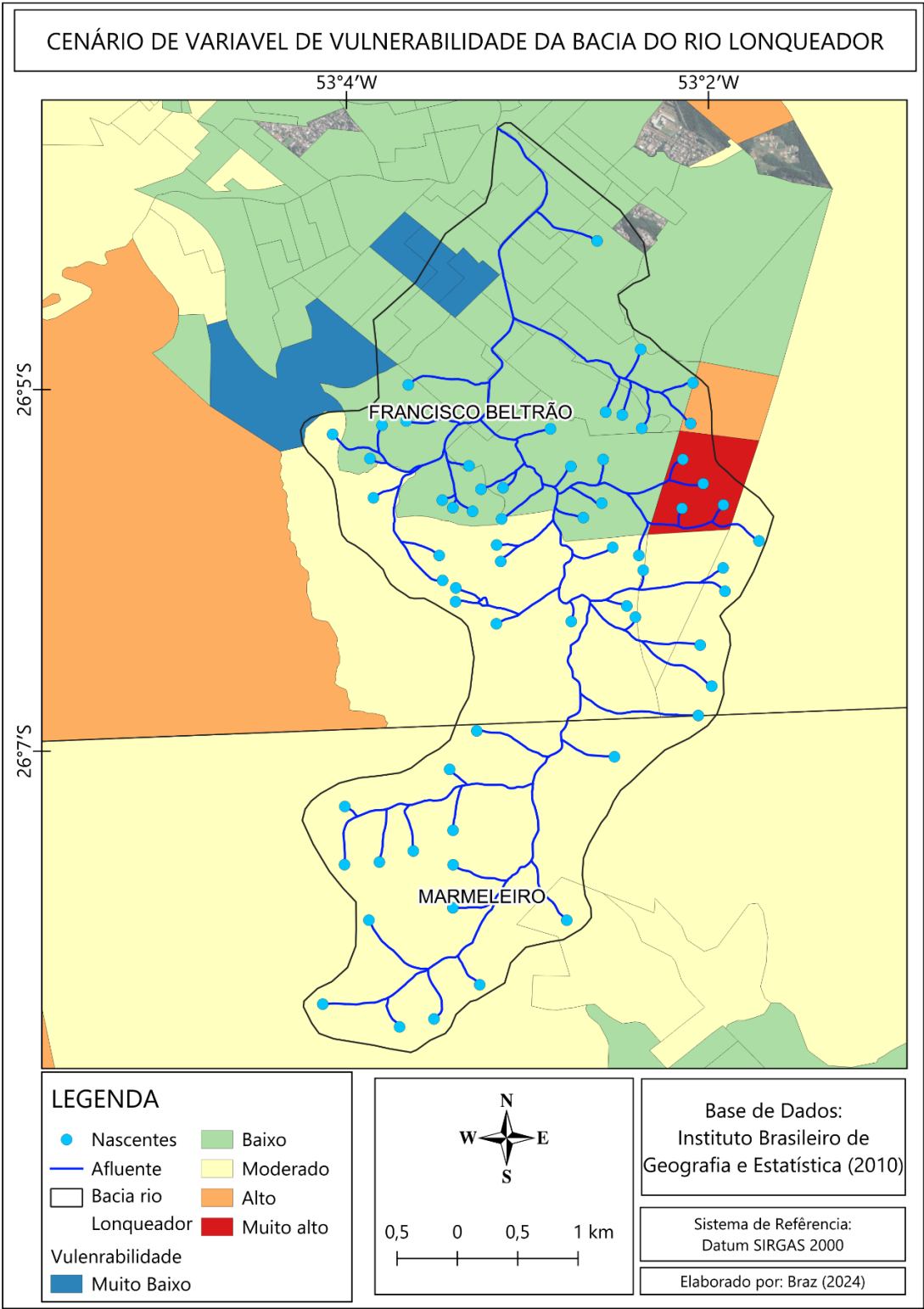
Figura 19 – Mapa da variável de vulnerabilidade – Moradia irregular



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A área rural da Bacia do Rio Lonqueador apresenta vulnerabilidade socioambiental moderada, enquanto a área urbana tem um nível de vulnerabilidade mais baixo (Figura 20). Esse contraste é crucial para entender as diferenças nas ameaças e nos riscos ambientais enfrentados nas duas regiões. Nas zonas rurais, a vulnerabilidade moderada é resultado de fatores como o uso inadequado da terra e a falta de infraestrutura básica. A presença de atividades agrícolas e de pastagem intensivas nas áreas rurais contribui para a degradação do solo e a poluição das águas. Além disso, a escassez de recursos hídricos pode ser um problema crescente devido ao uso excessivo e à falta de estratégias adequadas de preservação.

Figura 20 – Mapa de vulnerabilidade socioambiental na Bacia do Rio Lonqueador



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O uso do solo, predominantemente voltado para a agricultura e pecuária, acaba comprometendo a vegetação nativa ao redor das nascentes e cabeceiras de drenagem, o que

facilita a erosão do solo e aumenta a carga de poluentes nos corpos d'água. A ausência de infraestrutura, como sistemas de saneamento básico e drenagem adequados, agrava esses problemas. Isso torna as zonas rurais ainda mais vulneráveis a inundações, erosões e outros tipos de impacto ambiental. A pressão sobre os recursos naturais aumenta com o crescimento das atividades econômicas, que nem sempre são acompanhadas de práticas sustentáveis de manejo ambiental.

Em contraste, as áreas urbanas da Bacia do Rio Lonqueador possuem uma vulnerabilidade mais baixa, devido à presença de uma infraestrutura pública. A urbanização dessas áreas traz consigo benefícios como o sistema de saneamento básico, a coleta de resíduos e as redes de drenagem, que ajudam a reduzir os riscos ambientais. Com a infraestrutura adequada, há um controle maior sobre a poluição e uma gestão mais eficiente dos resíduos, o que melhora a qualidade ambiental e reduz os impactos negativos ao meio ambiente. No entanto, a urbanização também gera desafios, como o aumento da densidade populacional, que pode levar à sobrecarga da infraestrutura, especialmente em áreas periféricas, e ao aumento da poluição atmosférica e da ocupação desordenada do solo. Apesar da melhor infraestrutura urbana, as áreas urbanas ainda enfrentam desafios relacionados ao crescimento desordenado, que pode comprometer a eficiência da gestão de resíduos e poluição em algumas regiões. Assim, a vulnerabilidade socioambiental urbana, embora mais baixa, exige uma constante revisão e planejamento da expansão urbana para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

Portanto, a diferença nos níveis de vulnerabilidade entre as zonas rurais e urbanas reflete não apenas a infraestrutura disponível, mas também as práticas de uso da terra e o nível de cuidado com os recursos naturais. Em um contexto rural, a vulnerabilidade é impulsionada pela falta de cuidados com o meio ambiente e pela pressão das atividades econômicas.

Nas áreas urbanas, apesar de uma infraestrutura, a vulnerabilidade ainda está associada a desafios urbanos típicos, como o crescimento desordenado e a gestão inadequada dos recursos. Para lidar com esses problemas, é necessário adotar abordagens diferenciadas e mais eficientes de gestão socioambiental em cada contexto.

O Quadro 11 apresenta a distribuição das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador de acordo com os diferentes níveis de vulnerabilidade socioambiental identificados na análise espacial. Observa-se que a maioria das nascentes se encontra em áreas classificadas com vulnerabilidade moderada, totalizando 37 ocorrências. Em seguida, 21 nascentes estão situadas em regiões de vulnerabilidade baixa. Já os níveis extremos muito alto e muito baixo concentram, respectivamente, quatro e nenhuma nascente, o que indica a ausência de nascentes em áreas consideradas muito seguras ambientalmente. Por fim, apenas duas nascentes foram

identificadas em áreas de alta vulnerabilidade. Esses dados reforçam a importância de ações voltadas à proteção das nascentes localizadas em setores com maior fragilidade ambiental, especialmente aquelas inseridas em contextos de vulnerabilidade alta e muito alta, que somam seis ocorrências.

Quadro 11 – Distribuição das nascentes na Bacia do Rio Lonqueador

Nível de vulnerabilidade	Quantidade de nascentes
Muito Baixo	0
Baixo	21
Moderado	37
Alto	2
Muito alto	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

8 PROPOR MEDIDAS E ESTRATÉGIAS PARA MONITORAMENTO DE NASCENTES COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS

O monitoramento das nascentes da Bacia do Rio Lonqueador deve ser fundamentado na legislação ambiental vigente do novo Código Florestal de 2012 e no uso de geotecnologias, garantindo a proteção e a gestão eficiente dessas áreas. A implementação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e monitoramento participativo possibilita a identificação de vulnerabilidades e a adoção de medidas para prevenção e recuperação ambiental.

8.1 BASE LEGAL E DIRETRIZES PARA MONITORAMENTO

A legislação ambiental brasileira é a base para qualquer estratégia de monitoramento. O Código Florestal (Lei n.º 12.651/2012) define que as nascentes devem estar protegidas por um raio mínimo de 50 metros de vegetação nativa, garantindo sua integridade ecológica. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.º 9.433/1997) também estabelece princípios para a conservação dos mananciais.

Para assegurar o cumprimento dessas normas, recomenda-se:

- Mapeamento detalhado das APPs com SIG, utilizando técnicas de buffer para delimitação precisa das faixas de proteção;
- Monitoramento de alterações na vegetação e uso do solo por meio de imagens de satélite;
- Fiscalização contínua com apoio de análises geoespaciais para identificar irregularidades.

8.2 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O SIG é uma ferramenta essencial para monitoramento ambiental, pois permite a integração e a análise de dados espaciais sobre as nascentes. No estudo, foi criado um banco de dados geoespacial, consolidando informações sobre localização, estado de conservação e fatores de risco.

Entre as estratégias de aprimoramento, destacam-se:

- Criação de mapas temáticos que permitam identificar padrões de degradação;

- Integração dos dados coletados em campo ao banco geoespacial, garantindo atualização contínua.

8.3 SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO CONTÍNUO

O uso de imagens de satélite e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) permite um monitoramento contínuo e detalhado das nascentes, possibilitando a identificação de impactos ambientais e padrões de alteração da paisagem.

Entre as principais ações recomendadas, destacam-se:

- Visualização periódica de imagens de satélite para acompanhamento da cobertura vegetal e detecção de mudanças na paisagem;
- Uso de VANTs para monitoramento detalhado, permitindo a captação de imagens de alta resolução para análise de processos erosivos e ocupação irregular;
- Integração dessas imagens ao banco de dados SIG, possibilitando análises históricas e projeções futuras.

8.4 MONITORAMENTO PARTICIPATIVO E ENVOLVIMENTO COMUNITÁRIO

A participação da comunidade e de gestores locais é essencial para garantir a preservação das nascentes. Para isso, sugere-se:

- Criação de um aplicativo para coleta de informações ambientais, permitindo que moradores e pesquisadores relatem condições das nascentes em tempo real;
- Capacitação de agentes comunitários para monitoramento e ações de preservação;
- Campanhas educativas, promovendo conscientização sobre a importância das nascentes para o abastecimento hídrico e o equilíbrio ambiental.

8.5 MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Com base nos dados levantados, as nascentes degradadas necessitam de ações de recuperação, como:

- Reflorestamento das APPs, utilizando espécies nativas para restaurar a vegetação ripária;
- Controle de processos erosivos, aplicando técnicas de bioengenharia para estabilização do solo;

- Incentivo a práticas agroecológicas, promovendo sistemas de plantio sustentáveis que minimizem impactos nas nascentes.

9 CONCLUSÕES

As nascentes e as cabeceiras de drenagem desempenham papéis importantes para a dinâmica dos ecossistemas e o equilíbrio hidrológico em bacias hidrográficas, sendo particularmente relevantes em áreas urbanizadas e em processo de expansão, como a Bacia do Rio Lonqueador. Este estudo evidenciou que as nascentes, como pontos de origem dos cursos d'água, e as cabeceiras, responsáveis pela captação e condução inicial dos fluxos hídricos, são áreas de alta sensibilidade e, portanto, demandam atenção prioritária na gestão de recursos hídricos.

Os resultados obtidos mostram que a Bacia do Rio Lonqueador possui características naturais favoráveis à conservação, como solos com boa infiltração e vegetação nativa. Contudo, a pressão antrópica gerada pela expansão urbana e pela agricultura intensiva e a substituição da vegetação original por culturas agrícolas, somada ao desmatamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs), compromete a qualidade da água e acelera processos como erosão e assoreamento.

O uso de geotecnologias, neste estudo, para mapear e identificar áreas de maior vulnerabilidade socioambiental, forneceram informações sobre as condições das nascentes e cabeceiras. Ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto permitiram integrar variáveis físicas, sociais e ambientais, construindo cenários que revelaram a necessidade urgente de ações corretivas e preventivas. A plataforma de mapeamento interativo desenvolvida oferece uma base para o monitoramento contínuo dessas áreas, facilitando a implementação de estratégias de preservação e recuperação.

Essas áreas críticas concentram-se em locais com maior densidade populacional e menor infraestrutura básica, reforçando a necessidade de políticas públicas que integrem gestão ambiental e desenvolvimento social.

Além disso, a análise das cabeceiras de drenagem revelou a importância de proteger não apenas as nascentes em si, mas também suas zonas de influência, garantindo a recarga hídrica e a regulação do fluxo nos cursos d'água. A implementação de práticas conservacionistas, como o reflorestamento de APPs e o manejo adequado do solo, surge como medida indispensável para minimizar os impactos negativos e restaurar a funcionalidade ecológica dessas áreas.

Conclui-se que a gestão sustentável das nascentes e cabeceiras da Bacia do Rio Lonqueador exige uma abordagem integrada, que combine a aplicação de tecnologias, como o uso de SIG, com ações de educação ambiental e políticas públicas. Essa combinação pode

garantir não apenas a preservação dos recursos hídricos, mas, também, promover a sustentabilidade.

10 REFERÊNCIAS

ABREU, Ivy de Souza; FABRIZ, Daury Cesar. A necessidade fundamental de proteger o meio ambiente e seu fundamento na solidariedade: uma análise à luz do holismo ambiental. *Direito e Mudança Social*, Lima, ano 12, n. 41, p. 1-13, jan. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Programa Produtor de Água*. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>. Acesso em: 2 nov. 2024.

AMARAL, C.; REIS, C. H.; SILVA, J. A. F. da. A utilização das geotecnologias em redução de riscos. In: BITAR, O. Y. et al. *Geotecnologia: tendências e desafios*. São Paulo, jul. 2000. p. 371-409.

AMARAL, C.; REIS, C. H.; SILVA, J. A. F. da. A utilização das geotecnologias em redução de riscos. In: BITAR, O. Y. et al. *Geotecnologia: tendências e desafios*. São Paulo, jul. 2000. p. 371-409.

BITAR, O. Y.; IYOMASA, W. S.; CABRAL JÚNIOR, M. Geotecnologia: tendências e desafios. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 78-90, jul. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spp/a/fpBRzNVf6ysd7tMPV67gzTQ>. Acesso em: 10 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 2 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 27 abr. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm. Acesso em: 6 nov. 2024.

BREUNIG, F. M. et al. Reflexões sobre as geotecnologias no contexto da Geografia do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 46, n. 2, p. 185-198, jun. 2019.

BUFFON, E. A. M. Inundações em Áreas Urbanas: Proposição Conceitual metodológica e sua Aplicação na RMC – Região Metropolitana de Curitiba. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/69061>.

BUFFON, E. A. M., Metodologias para abordar informações da mídia impressa na perspectiva da educação geográfica. *Revista Brasileira de Educação em Geografia*, Campinas, v. 5, n. 10, p. 258-276, jul./dez., 2015.

CALHEIROS, R. de O.; TABAI, F. C. v., BOSQUILIA, S. V.; CALAMARI, M. Preservação e recuperação das nascentes (de água e de vida). Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá, 2004. 140 p.

CALHEIROS, R. O. et al. Cadernos da Mata Ciliar n. 1: preservação e recuperação de nascentes, de água e vida. São Paulo: SMA, 2009. 35p.

CAMARA, G. MEDEIROS, J. S. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE. 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds. e orgs.). Introdução à ciência da geoinformação, INPE, São Paulo, 2001. • CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds e orgs). Introdução à ciência da geoinformação, INPE, São Paulo, 2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Tendências de evolução do geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. (Org.) Sistemas de Informações Geográficas. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2003. cap. XX, p. 411-424.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 2-35.

CARTIER, R. *et al.* Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça ambiental. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 12, p. 2723-2734, 2009.

CASTRO A; COSTA A, T; NETO J, A, C; MORAIS J, S, D; CLAUDINO-SALES V; Expedição científica ao alto curso do Rio Jaguaribe (Ceará): identificação da nascente do possível maior rio temporário do mundo. *Caderno de Geografia*, v. 30, n 63, 2020.

CASTRO, P.S.; LOPES, J.D.S. Recuperação e conservação de nascentes. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2001. 84p. (Série Saneamento e Meio - Ambiente, n. 296).

COSTA, ALEXANDRE, *et al.* “Expedição científica ao alto curso do Rio Jaguaribe, Estado do Ceará: identificação da exata nascente do possivelmente maior rio efêmero do mundo”. *Caderno de Geografia*, vol. 30, n ° 63, outubro de 2020, p. 956.

DUARTE, J. P. Importância e função das nascentes nas propriedades rurais: uma análise conceitual dos cinco passos para sua proteção. In: IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, São Bernardo do Campo/SP, 2018. 9 p.

DUBREUIL, V.; FANTE, K.P; SANT’ANNA NETO, J.L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Revista Franco-Brasileira de Geografia*. n.37, 2018.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p.

FELIPPE, M. F. ; MAGALHAES JR., A. P. . O estudo hidrogeomorfológico das nascentes. In: Antônio Pereira Magalhães Junior; Luiz Fernando de Paula Barros. (Org.). *Hidrogeomorfologia - formas, processos e registros sedimentares fluviais*. 1ed.Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020, v. 1, p. 103-120.

FELIPPE, M. F. *et al.* Nascentes antropogênicas: processos tecnogênicos e hidrogeomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 279-286, out./dez. 2013.

FERNANDES, Rinaldo Afrânio. Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para a definição e caracterização de áreas estratégicas de abastecimento. 2003. 248 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

FLORENZANO, Teresa. G. Geotecnologias na Geografia Aplicada: Difusão e Acesso. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, São Paulo, v 17, p. 24-29, 2005. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/geu/Teresa_Gallotti_Florenzano.pdf. Acesso em: 6 out. 2013.

GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMANBORO, A. C.; BETTINE, S. C.; Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos *Sociedade & Natureza*, vol. 30, núm. 1, 2018, janeiro-abril, pp. 228-254 Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. *REGNE*, Caicó (RN), v. 4, n. esp., 2018.

GIRARDI, E. P. Proposição de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 17 (32). p.103-120. Jun. 2005a.

GUARESCHI, V.D., NUMMER, A.D., 2018. Cabeceiras de drenagem e controle estrutural na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado TaquarembóRS. IN: PREZE FILHO, A., AMORIM, R. R. (org). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. Editora Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, São Paulo, pp. 6343-6351. Disponível: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2527>. Acesso: mar de 2025.

GUERRA, A. T. *Dicionário geológico-geomorfológico*. 7. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.

GUIMARÃES, L. P.; RODRIGUES, L. F. T.; ALVES, R. G. Nascentes no Brasil: cenário atual e possíveis lacunas. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, v. 4, e023004, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>. Acesso em: março de 2025.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). *Boletim de Resultados: Proteção de Nascentes*. Curitiba: IAT, 2023. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br>. Acesso em: 30 abr. 2025.

LONGLEY, P. A. *et al. Geographical Information Systems and Science*. 3. ed. Chichester: Wiley, 2015.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 450 p.

MARQUES NETO R. Geomorfologia e geossistemas: influências do relevo na definição de unidades de paisagem no Maciço Alcalino do Itatiaia (MG/RJ). *Rev Bras Geomorfol*. 2014;39:321-36. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i4.907>

MARTINELLI, M. Curso de cartografia temática. São Paulo: Contexto, 1991.

MARTINELLI, M. Mapas da geografia e cartografia temática. São Paulo: Contexto, 2003.

MATIAS, L. F. Sistema de Informações Geográficas (SIG): ainda a questão de método. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 13, p. 21-33, 2003.

MENDONÇA, F.A.; BUFFON, E. A. M.; GOUDARD, G. l'adaptation urbaine au changement climatique global: les inondations à Curitiba et Pinhais (Brésil) In: XXVIIIe Colóquio de l'Association Internationale de Climatologie. Liège (Sart-Tilman)/Belgique, 2015, p. 200 - 205.

Organização das Nações Unidas - ONU. Água e saneamento: um direito humano essencial. ONU, 2010.

PAISANI, J. C. *et al.* Características geológicas da Formação Serra Geral na área drenada pelo rio Marrecas (SW Paraná): fundamentos para a análise geomorfológica. *Geografia (UEL)*, Londrina, v. 17, n. 2, p. 49-65, 2008.

PAISANI, J. C.; GEREMIA, F. Utilização do índice de circularidade na determinação da forma de concavidades (cabeceiras de drenagem e depressões fechadas) na bacia do Rio Quatorze (PR). In: ENCONTRO DE GEOGRAFIA, 10.; ENCONTRO DE GEOGRAFIA DO SUDOESTE DO PARANÁ, 4., 2005, Francisco Beltrão. *Resumos Expandidos*. Francisco Beltrão: Unioeste, 2005. p. 156-158.

PAISANI, J. C.; SANTOS, L. J. C.; GOUDARD, G. *et al.* Subtropical Araucarias Plateau. In: SALGADO, A. A.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. *Physical Geography of Brazil*. Cham: Springer, 2019. p. 21-39. doi: 10.1007/978-3-030-04333-9_3.

PARANÁ. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. *Relatório do Programa Estadual de Proteção de Nascentes*. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2024. Disponível em: <https://desenvolvimentosustentavel.pr.gov.br>. Acesso em: 9 nov. 2024.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D. Introdução a conceitos de sensoriamento remoto. In: PARANHOS FILHO, A. C. *et al. Geotecnologias para aplicações ambientais*. Maringá: Uniedusul, 2021. p. 9-15.

PEREIRA, P.H. V.; PEREIRA, S. Y.; YOSHINAGA, A.; PEREIRA, P. R. B. Nascente: análise e discussão dos conceitos existentes. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 07, n. 02, 2011.

PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO. *Relatório de ações ambientais – 2019*. Francisco Beltrão: Secretaria de Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://franciscobeltrao.pr.gov.br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO. *Relatório de iniciativas municipais – Programa de Proteção de Nascentes*. Francisco Beltrão: Secretaria de Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://franciscobeltrao.pr.gov.br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (orgs.) *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2ª ed. São Paulo: Escrituras Editora. 2002. p. 01-37.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUDINISI, José Galizia. *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 702p.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.

SAMPAIO, T. V. M. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 121-131, 2012.

SANCHEZ, J. A. A. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SANTOS, J. R. U. dos, & Marchioro, E. (2020). Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista Do Departamento De Geografia*, 39, 72-87. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>.

SANTOS, L. A. C.; BRITO, T. R. do C.; SILVA-NETO, C. de M. Uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) nas Ciências Ambientais entre 2009 e 2019: uma análise cienciométrica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 15, n. 4, p. 1715-1731, 2022.

SCHUMM S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society American Bulletin*. Colorado v. 67, p. 597-646, 1956.

Secretaria do Desenvolvimento Sustentável do Paraná (SEDEST). Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br>. Acesso em: 12 mar 2025.

Selby (1992). Selby, M. J. (1993) *Hillslope Materials & Processes*. Oxford University Press, New York, 2ª ed., 451p.

SOUZA, C.R.G. Risco a inundação, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.231-247.

SPOSATI, Aldaíza (Coord.). (2000). *Mapa da Exclusão Inclusão Social da Cidade de São Paulo. Dinâmica Social dos anos 90*. Núcleo de Estudo e Pesquisas em Seguridade e Assistência Social – NEPSAS – PUC/SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/ Programa de Pesquisa em Geoprocessamento. Instituto de Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais – Polis. São Paulo.

STRAHLER, A.N. Dynamic basis of Geomorphology. Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952.

VESSONI, R. H. Conservação de nascentes e a degradação ambiental por ocupação do solo no bairro Nascente Imperial em Contagem (MG). 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Belo Horizonte, 2019.

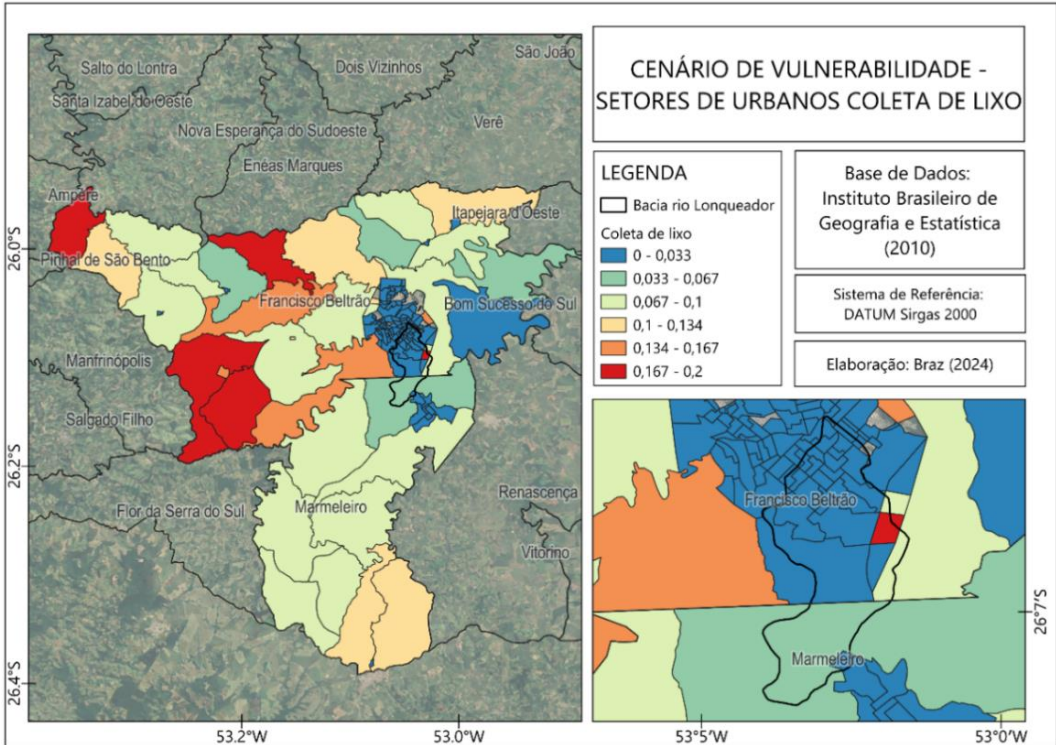
VEYRET, Y. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

VEYRET, Yvette. Introdução. In: VEYRET, Yvette (org.) Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradução Dílson F. da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p.

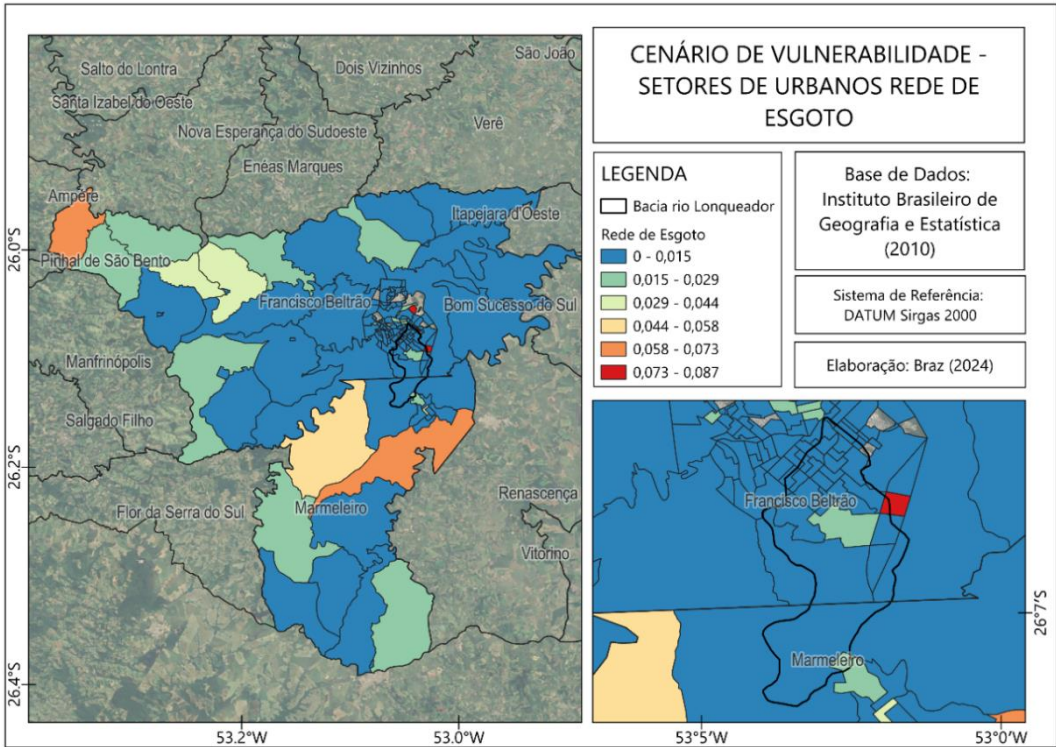
11 APÊNDICES

Apêndice A – Mapa da coleta de lixo na Bacia do Rio Lonqueador (IBGE, 2010)



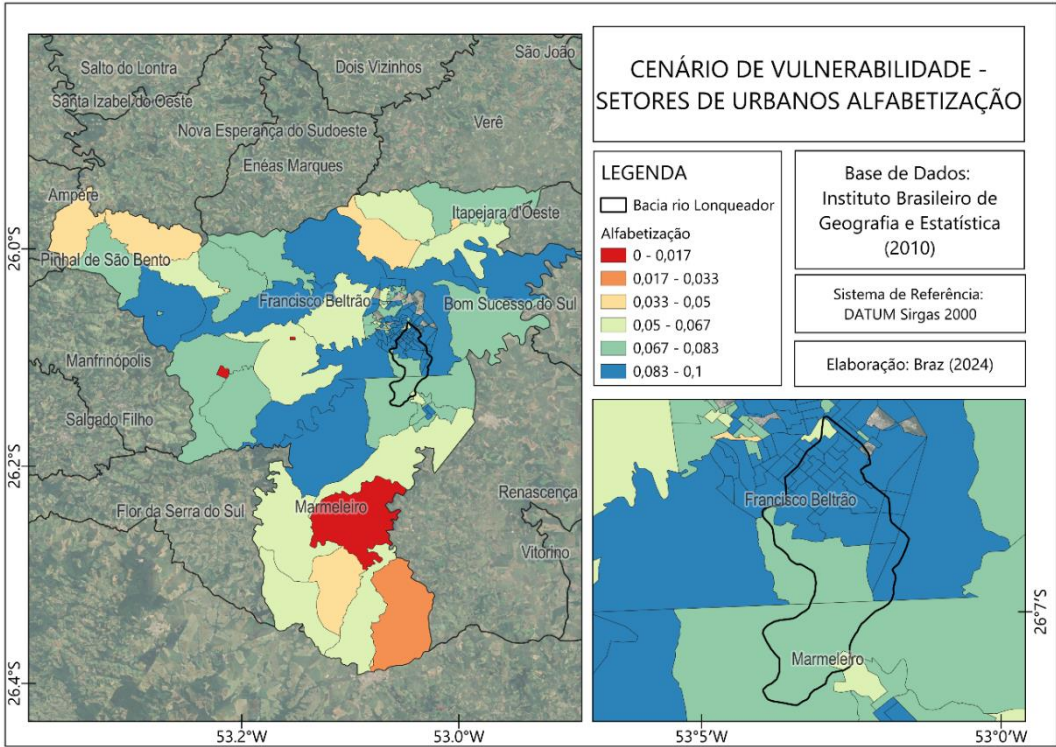
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Apêndice B – Mapa da rede de esgoto na Bacia do Rio Lonqueador (IBGE, 2010)



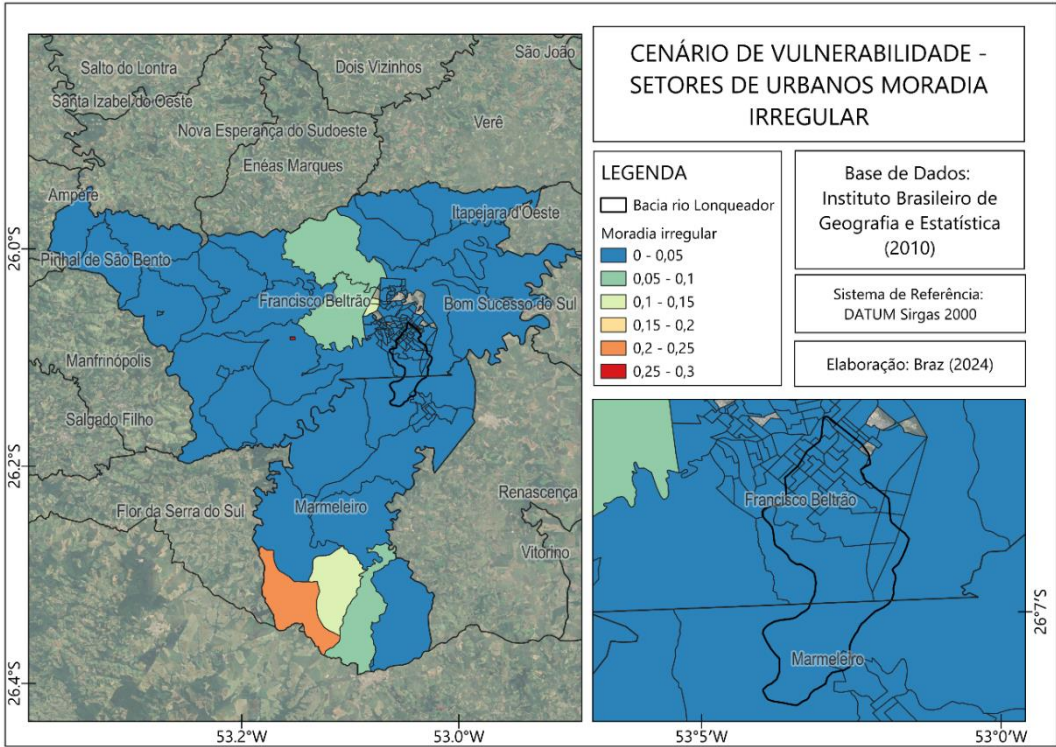
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Apêndice C – Mapa da taxa de alfabetização na Bacia do Rio Lonqueador (IBGE, 2010)



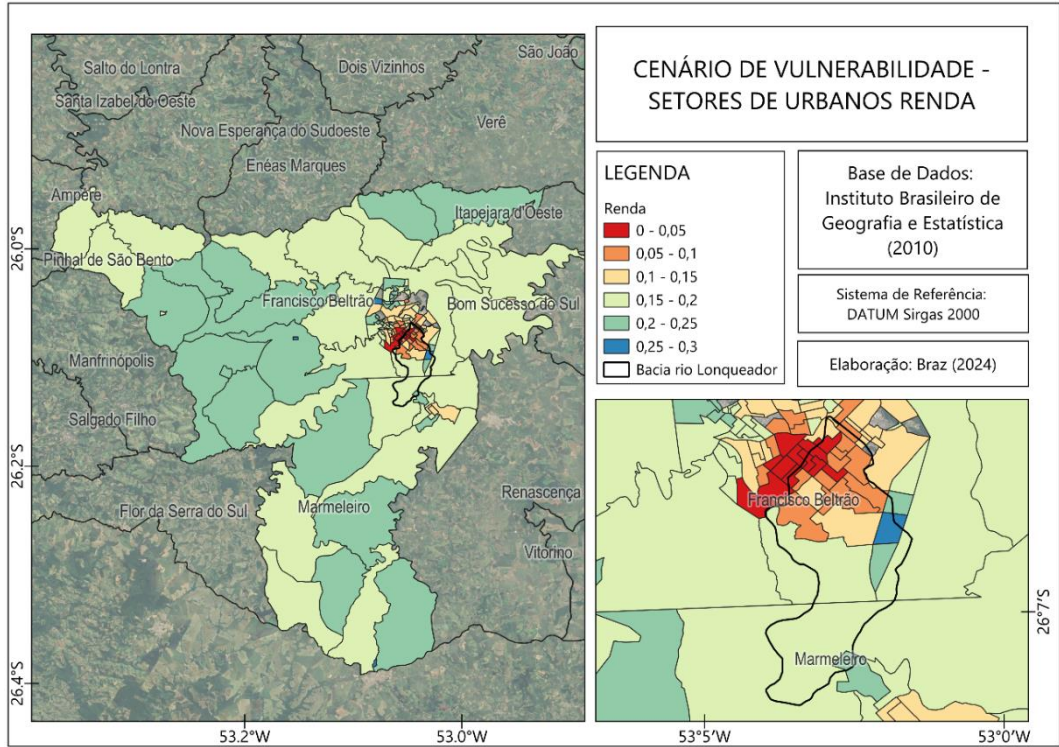
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Apêndice D – Mapa das áreas de moradia irregular na Bacia do Rio Lonqueador (IBGE, 2010)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Apêndice E – Mapa das faixas de renda na Bacia do Rio Lonqueador (IBGE, 2010)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).