



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

SARAH WYSSLANA SOUZA VIANA

**PROPOSTA DE DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ
CARRAPATO E SEU SIGNIFICADO PARA A GESTÃO HÍDRICA**

BOA VISTA, RR

2026

SARAH WYSSLANA SOUZA VIANA

**PROPOSTA DE DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ
CARRAPATO E SEU SIGNIFICADO PARA A GESTÃO HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira

BOA VISTA, RR

2026

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

V614p Viana, Sarah Wyllana Souza.

Proposta de delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato e seu significado para a gestão hídrica / Sarah Wyllana Souza Viana. – Boa Vista, 2026.

116 f. : il. Inclui Apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Roraima. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA).

1. Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato. 2. Modelos Digitais de Elevação (MDEs). 3. Gestão hídrica. I. Título. II. Vieira, Carlos Eduardo Lucas (orientador).

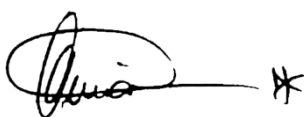
CDU: 556.51(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista (UFRR):
Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

SARAH WYSSLANA SOUZA VIANA

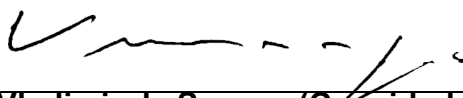
**PROPOSTA DE DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ
CARRAPATO E SEU SIGNIFICADO PARA A GESTÃO HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Defendida em 14/11/2025 e avaliada pela seguinte banca avaliadora:



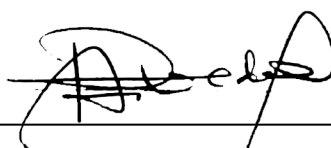
Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira – (Orientador)

Universidade Federal de Roraima – UFRR



Prof. Dr. Vladimir de Souza – (Convocado Interno)

Universidade Federal de Roraima – UFRR



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho – (Convocado Interno)

Universidade Federal de Roraima – UFRR

AGRADECIMENTO

Este trabalho representa a soma de muitos apoios recebidos ao longo da minha trajetória. Agradeço, antes de tudo, à Deus e minha família — em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu esposo — pelo amor, incentivo e presença constante, assim como aos meus irmãos, que sempre foram meu porto seguro.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR), expresso gratidão pela oportunidade de formação acadêmica, pela infraestrutura disponibilizada e pelos auxílios institucionais, registro que este trabalho contou com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Por fim, agradeço ao meu orientador pela paciência, disponibilidade e pela valiosa contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa. À banca avaliadora, pelo tempo e atenção dedicados à leitura crítica deste trabalho.

RESUMO

A delimitação acurada de bacias hidrográficas é fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos, pois permite compreender a dinâmica fluvial, a disponibilidade hídrica e as interações entre águas superficiais e subterrâneas. Nesse contexto, este estudo tem como temática o aprimoramento da delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC), localizada no município de Boa Vista – RR, diante da crescente pressão antrópica associada à expansão urbana e às atividades agropecuárias, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3, 6 e 11. O objetivo geral consistiu em delimitar a BHIC por meio da integração de técnicas de sensoriamento remoto por satélite e drone, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e dados geoespaciais, com foco na análise da dinâmica das águas superficiais e subterrâneas e na avaliação de sua aplicação à gestão hídrica. A metodologia baseou-se em uma abordagem escalonada, integrando diferentes MDEs (FABDEM, COP 30, SRTM, ALOS PALSAR, NASADEM e ANADEM), ortomosaicos de drone, validação altimétrica em campo, análise multitemporal de imagens ópticas, técnicas de geoprocessamento, interpolação hidrogeológica, aplicação de índices espectrais (NDVI, SAVI, NDWI e MNDWI) e análise de dados dos sistemas SIGGAR e SIAGAS. Os resultados demonstraram que a escolha do MDE exerce influência determinante na precisão da delimitação hidrográfica, sendo os modelos com maior resolução espacial e correção hidrológica mais condizentes com as feições reais do relevo, enquanto modelos mais generalizados apresentaram inclusão indevida de áreas sem contribuição efetiva à drenagem. A área final da BHIC foi estimada em 109,372 km², com variação altimétrica entre 54 e 120 m. A análise ambiental indicou, entre 2016 e 2024, o registro de 12 focos de calor, sendo cinco em 2016, um em 2022 e seis em 2024, sem ocorrências diretas na bacia em 2018 e 2020, sugerindo avanços no controle das queimadas. As cicatrizes mapeadas entre 2016 e 2023 totalizaram 32,333 km² segundo o DETER e 20,602 km² segundo o SIGGAR, correspondendo a 29,56% e 18,84% da área da bacia, respectivamente, sem indicativos de impactos significativos sobre o equilíbrio hidrológico. No âmbito hidrogeológico, o Mapa de Profundidade do Nível Estático indicou variação entre 0 m e +2,10 m, evidenciando elevada vulnerabilidade do aquífero. As cotas potenciométricas variaram entre 63,66 e 87,83 m no período seco e entre 62,00 e 90,50 m no período chuvoso, com fluxo predominante no sentido norte-sul, delimitando zonas de recarga ao norte e de

descarga ao sul. Quanto aos usos da água, o SIGGAR identificou 249 captações subterrâneas e 39 outorgas superficiais, enquanto o SIAGAS registrou 64 poços associados a múltiplos usos, evidenciando fragilidades no monitoramento. A integração entre dados de superfície, subsuperfície e análises ambientais resultou em uma base técnica robusta e replicável, capaz de subsidiar o planejamento territorial e o fortalecimento da gestão integrada dos recursos hídricos da BHIC.

Palavra-Chave: Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato; Modelos Digitais de Elevação (MDEs); Gestão hídrica.

ABSTRAT

Accurate watershed delineation is fundamental for effective water resources management, as it enables a comprehensive understanding of fluvial dynamics, water availability, and the interactions between surface and groundwater systems. In this context, this study focuses on improving the delineation of the Carrapato Stream Watershed (BHIC), located in the municipality of Boa Vista, Roraima State, Brazil, in response to increasing anthropogenic pressure associated with urban expansion and agro-pastoral activities, aligning with the Sustainable Development Goals (SDGs) 3, 6, and 11. The main objective was to delineate the BHIC through the integration of satellite- and drone-based remote sensing techniques, Digital Elevation Models (DEMs), and geospatial data, with emphasis on analyzing surface and groundwater dynamics and evaluating their applicability to water resources management. The methodology was based on a stepwise approach integrating multiple DEMs (FABDEM, COP 30, SRTM, ALOS PALSAR, NASADEM, and ANADEM), drone-derived orthomosaics, field-based altimetric validation, multitemporal optical image analysis, geoprocessing techniques, hydrogeological interpolation, application of spectral indices (NDVI, SAVI, NDWI, and MNDWI), and analysis of data from the SIGGAR and SIAGAS databases. The results demonstrated that DEM selection has a decisive influence on the accuracy of watershed delineation, with higher-resolution and hydrologically corrected models providing representations more consistent with actual topographic features, whereas more generalized models led to the inclusion of areas without effective drainage contribution. The final watershed area was estimated at 109.372 km², with elevations ranging from 54 to 120 m. Environmental analysis revealed the occurrence of 12 fire hotspots between 2016 and 2024, including five in 2016, one in 2022, and six in 2024, with no direct occurrences within the watershed in 2018 and 2020, indicating improvements in fire control. Burned area scars mapped between 2016 and 2023 totaled 32.333 km² according to DETER and 20.602 km² according to SIGGAR, corresponding to 29.56% and 18.84% of the watershed area, respectively, without evidence of significant impacts on hydrological balance. From a hydrogeological perspective, the groundwater depth map indicated variations between 0 m and +2.10 m, evidencing high aquifer vulnerability. Potentiometric levels ranged from 63.66 to 87.83 m during the dry season and from 62.00 to 90.50 m during the rainy season, with predominant groundwater flow from north to south, delineating

recharge zones in the northern sector and discharge zones in the southern sector. Regarding water use, SIGGAR identified 249 groundwater abstractions and 39 surface water withdrawals, while SIAGAS registered 64 wells associated with multiple uses, highlighting limitations in monitoring and data integration. The integration of surface, subsurface, and environmental data resulted in a robust and replicable technical framework capable of supporting territorial planning and strengthening integrated water resources management in the BHIC.

Keywords: Carrapato Stream Watershed; Digital Elevation Models (DEMs); Water Resources Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos Reservatórios Hídricos.	18
Figura 2 - Ciclo Hidrológico e Reservatórios Hídricos.....	18
Figura 3 - (A) Modelo conceitual para rios efluentes; (B) Modelo conceitual para rios influentes no cenário em que a elevação do nível d'água que separa a zona saturada da não saturada está conectada com o rio; (C) Modelo Conceitual para rios influentes com cenário em que a elevação de nível d'água que separa a zona saturada do rio; (D) Modelo conceitual de fluxo direto.	19
Figura 4 - Representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos. O arcabouço geológico como elemento-base de definição do território da bacia e do armazenamento de água.	21
Figura 5 - Representação Esquemática do Aquífero Livre e Confinado. Funcionamento do aquífero.	22
Figura 6 - Diferentes níveis de avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea.	24
Figura 7 - Fórmula do IQA.....	31
Figura 8 - Representação de MDE.....	35
Figura 9 - Arranjo institucional das Política Nacional de Recursos Hídricos.....	40
Figura 10 - Organograma do Sistema de Gerenciamento dos recursos hídricos de Roraima.....	42
Figura 11 - Mapa Hidrográfico de Boa Vista - Roraima.	45
Figura 12 - Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) em Roraima.	46
Figura 13 - Organograma metodológico para realização da pesquisa.	48
Figura 14 - Localização do Igarapé Carrapato: (a) Estado de Roraima no contexto nacional; (b) Município de Boa Vista em destaque no Estado de Roraima; (c) Delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato no município de Boa Vista.	50
Figura 15 - Vista aérea indicando com pin vermelho a foz do Igarapé do Carrapato, localizada no município de Boa Vista-RR. Essa imagem foi utilizada como referência inicial para a delimitação hidrográfica da bacia, evidenciando a confluência com o corpo hídrico principal.	63

Figura 16 - Vista de imagem de satélite da foz do Igarapé do Carrapato, localizada no município de Boa Vista-RR. Em (a) no dia 13/07/2018 meio do período chuvoso e (b) em 17/09/2018 no início do período seco. Em (c) no dia 01/04/2019 no início do período chuvoso.	64
Figura 17 - Contornos de delimitação da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato..	65
Figura 18 - Etapas de delimitação preliminar da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato.	66
Figura 19 - Detalhamento da conformidade da delimitação da BHIC.	70
Figura 20 - Delimitação inicial da Bacia do Igarapé do Carrapato da Etapa 01: (a) Demonstrativo dos DEM's gerados; (b) Comparativo dos DEMs gerados e produto inicial da mesclagem dos DEM's; (c) Comparativo da fusão dos DEMs preliminar e o a delimitação realizada por Vieira (2022).	71
Figura 21 - Mapa indicando o recorte dos buffers utilizado para área de referência para análise quantitativa da delimitação de bacia usando DEM.	72
Figura 22 - Demonstrativo da análise quantitativa da delimitação da Bacia usando DEM.	73
Figura 23 - Delimitação inicial da Bacia do Igarapé do Carrapato, apresentando em (a) Demonstrativo da área de interesse de sobrevoo do drone; (b) Ortomosaico realizado por drone em composição RGB; (c) a altimetria detalhada obtida a partir Ortomosaico - dsm com indicação da direção de fluxo; (d) a área de refino da delimitação da bacia com base em dados de alta resolução espacial; (e) os pontos de influência na delimitação superficial, como estradas, bueiros, pontes e barragens; e (f) os polígonos de áreas de influência associadas à infraestrutura viária.	74
Figura 24 - Pontos de influência na delimitação superficial da bacia, apresentando em (a) o estado das principais vias de acesso; (b) a barragem identificada por linha fina em branco na Fazenda Esperança I; (c) a localização aérea do bueiro representado na imagem (d); (d) o tipo de bueiro que permite a comunicação do fluxo superficial entre setores; (e) a visualização aérea da ponte localizada na BHIC; e (f) a ponte localizada na BHIC, evidenciando sua função na conectividade hídrica da área.	76
Figura 25 - Análise temporal da série histórica de imagens entre 2010 e 2024 no período de seca.	77

Figura 26 - Análise temporal da série histórica de imagens entre 2010 e 2024 no período de chuva.	78
Figura 27 - Sistema lacustre representando formas e padrões típicos do lavrado, predominantes durante o período chuvoso. Na estação seca, observa-se a presença de lagos isolados com morfologias elipsoidais, geminadas, circulares ou resultantes da aglutinação de pequenas bacias. Os lagos de formato goticular estão indicados pelas setas pretas, enquanto as setas brancas destacam as veredas de buritizal, que funcionam como corredores ecológicos e canais naturais de escoamento superficial, favorecendo a conectividade hídrica entre os compartimentos da paisagem.....	79
Figura 28 - Eventos hidrológicos extremos em Boa Vista, Roraima: (A) Enchente do rio Branco em 2011, com o nível do rio atingindo 10,02 metros acima do normal, deixando comunidades isoladas (Foto: Divulgação/Governo de Roraima); (B) Alagamento no bairro Pedra Pintada, em Boa Vista, durante o período chuvoso de 2018 (Foto: Alan Chaves/G1 RR); (C) Seca severa em 2024 atinge o rio Branco, principal curso d'água de Roraima, levando o município de Boa Vista a decretar estado de emergência.....	80
Figura 29 - Análise quantitativa dos Processamentos com base nas etapas.	80
Figura 30 - Produto Final da delimitação da BHIC detalhado.....	81
Figura 31 - Mapa de Localização dos Pontos utilizado para a análise hídrica.	82
Figura 32 - Mapa de Profundidade Hídrica da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato.	83
Figura 33 - Mapa potenciométrico da Bacia do Igarapé do Carrapato.	84
Figura 34 - Caracterização do uso e ocupação do solo. (a) Uso e ocupação do solo com base no MapBiomass de 2024; (b) Mapa do índice NDVI na BHIC; (c) Mapa do índice SAVI na BHIC.	86
Figura 35 - Caracterização da conservação vegetal. (a) Foco de calor aplicado no ano de 2024 na BIHC;(b) Cicatrizes de queimadas na BHIC baseado nos dados de deter 2016-2023 e SIGGARR.	87
Figura 36 - Caracterização da distribuição hídrica. (a) Mapa do índice NDWI na BHIC; (b) Mapa do índice MNDWI na BHIC.	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais normativas, destacando o ano de publicação e o foco principal.	26
Quadro 2 - Origem dos principais constituintes presentes nas águas principalmente as subterrâneas.	27
Quadro 3 - Composição da água subsuperficial e caracterização.....	29
Quadro 4 - Parâmetros de análise do IQA.	32
Quadro 5 - Panorama das características dos Modelos Digitais de Elevação.....	37
Quadro 6 - Instrumentos previstos de gestão de RH Nacional e em Roraima.	43
Quadro 7 - Panorama das características dos Modelos Digitais de Elevação.....	53
Quadro 8 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo do processamento do RMSE com o buffer de 5km.	55
Quadro 9 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo das imagens utilizadas na serie histórica.	56
Quadro 10 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo organizacional para o processamento da análise hídrica.	57
Quadro 11 - Comparação da delimitação de DEM.	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. OBJETIVO	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. ORIGEM, DINÂMICA E DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	17
2.2. MONITORAMENTO DAS ÁGUAS	23
2.2.1. QUALIDADE HÍDRICA	25
2.2.2. CONTAMINAÇÃO E VULNERABILIDADE HÍDRICA	33
2.2.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	35
2.3. GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	39
2.3.1. Política Estadual de Recursos Hídricos em Roraima	41
2.4. SISTEMA FLUVIAL, SUBTERRÂNEO DE BOA VISTA E BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CARRAPATO	44
3. METODOLOGIA	48
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	49
3.2. DELIMITAÇÃO DA BHIC	52
3.3. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BHIC	58
3.4. ANÁLISE DA GESTÃO HÍDRICA E DO USO DOS RECURSOS.....	60
3.5. ELABORAÇÃO DE PRODUTO.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1. DELIMITAÇÃO DA BHIC	62
4.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BHIC	85
4.3. ANÁLISE DA GESTÃO HÍDRICA DA BHIC	89
5. CONCLUSÃO	92
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE.....	114

1. INTRODUÇÃO

A gestão da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) envolve o planejamento do uso do solo a fim de se evitar contaminações e superexploração de suas águas, o que, por sua vez, exige a compreensão da dinâmica dos fluxos superficiais e subterrâneos (BRAGA; 2008, SANCHES, 2017).

A BHIC integra a Bacia do Rio Branco e a sub-bacia do Rio Cauamé, tendo o Igarapé do Carrapato como sua principal calha. Localizada na Depressão Boa Vista, na margem esquerda do rio Cauamé, o relevo da BHIC é bastante plano e seu substrato geológico é formado por rochas metamórficas do Grupo Cauarane, que é capeado por rochas sedimentares total ou parcialmente consolidadas da Formação Boa Vista e, por vezes, rochas da Formação Apoteri da Bacia do Tacutu (as quais podem apresentar-se associadamente como diques ou derrames basálticos). Quando saturadas, as rochas da Formação Boa Vista compõem o Aquífero Boa Vista (CPRM, 2014).

A delimitação de bacias hidrográficas em áreas planas é desafiadora devido à dificuldade de identificar os divisores topográficos de água (SILVA et al, 2022). Essa limitação impacta diretamente a determinação exata das direções dos fluxos d'água e seus volumes e, conseqüentemente, a gestão dos recursos hídricos. Diante da ausência de levantamentos planialtimétricos abrangentes para grandes áreas, os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são amplamente utilizados para definir os limites das bacias hidrográficas (CORREIA et al, 2017).

Nos últimos anos, avanços técnicos em sistemas de informação geográfica, bem como em ferramentas e abordagens de geoprocessamento, têm possibilitado a obtenção de MDE mais precisos, permitindo análises detalhadas do relevo e uma delimitação mais acurada das bacias (JENSEN; EPIPHANIO, 2009). No entanto, a resolução espacial dos MDE disponíveis ao grande público ainda está muito aquém da necessária para solucionar de forma eficaz os desafios da delimitação de bacias em áreas planas.

Este estudo visa refinar a delimitação dos limites da BHIC a partir da conjugação de técnicas modernas de sensoriamento remoto e dados geoespaciais com as informações planialtimétricas porventura existentes, bem como com levantamento de campo e análise de imagens óticas remotas de drones e satélites, a fim de avaliar a dinâmica das águas superficiais e sua utilidade para as políticas de

gestão hídrica da bacia. Também serão avaliados dados oriundos dos bancos de dados hidrogeológicos públicos (SIGAA e SIGGARR/FEMARH) e de sondagens SPT a fim confeccionar mapas hidrogeológicos atualizados da bacia.

A pesquisa está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, particularmente os ODS 3 (Saúde e Bem-estar), 6 (Água Potável e Saneamento) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022). Os produtos esperados serão um mapa atualizado dos limites da bacia, um mapa dos fluxos superficiais e um dos fluxos subterrâneos, integrados em manual hidrográfico e hidrogeológico da bacia para avaliação de sua aplicação na gestão hídrica e promoção de usos mais racionais e sustentáveis dos recursos hídricos na BHIC, bem como para a tomada de decisões sobre ordenação da ocupação e medidas de preservação ambiental necessárias para a realidade presente e esperada (futura) da bacia (GRYCZAK, 2020; LEMOS, 2022).

1.1. OBJETIVO

Para abordar a problemática identificada, foram definidos os seguintes objetivos:

1.1.1. Objetivo Geral

Delimitar a Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) utilizando técnicas de sensoriamento remoto por satélite, drone e dados geoespaciais, com foco na análise da dinâmica das águas superficiais e subterrâneas e avaliação de sua aplicação na gestão hídrica.

1.1.1.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a Contribuição dos diferentes Modelos de Digitais de Elevação na delimitação automática da BHIC;
- Integrar dados hidrológicos e hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC), com base na análise espacial de modelos digitais de elevação, imagens remotas (drone e satélite), levantamentos planialtimétricos e informações de nível de poços e sondagens SPT, visando a caracterização integrada da bacia;

- Analisar os possíveis impactos dos resultados para a gestão hídrica da BHIC;
- Integrar dados e interpretações e gerar manual Hidrográfico e Hidrogeológico da BHIC.

1.2. JUSTIFICATIVA

Uma delimitação acurada e mais realista da BHIC é essencial para a gestão eficiente dos seus recursos hídricos, pois ela permite uma melhor compreensão da sua dinâmica fluvial e dos volumes d'água disponíveis para uso. Neste sentido, este estudo alinha-se com as Metas de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 – Saúde e Bem-estar, 6 – Água Potável e Saneamento, e 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, contribuindo diretamente para práticas sustentáveis e para a preservação dos recursos hídricos, conforme destacado pelas Nações Unidas Brasil (2022).

A motivação da pesquisa é a convicção de que uma hidrocartografia mais acurada é fundamental para enfrentar os desafios ambientais locais, especialmente ante o atual crescimento de Boa Vista – RR. A aplicação de expertise técnica da geologia nesse estudo é fundamental para promover a preservação dos recursos hídricos e práticas sustentáveis, com especial atenção à dinâmica fluvial e aquífera, que é essencial para o planejamento e a gestão hídrica da bacia.

A integração de metodologias de sensoriamento remoto com levantamentos em campo (planialtimétrico e sondagens SPT) foi escolhida por sua eficiência, facilidade de obtenção e replicabilidade. A exequibilidade técnica e financeira do estudo é garantida pela abordagem adotada e pelos equipamentos disponíveis, contribuindo para a gestão hídrica sustentável e beneficiando a ciência, a comunidade e o meio ambiente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreensão da problemática apresenta-se o referencial teórico a seguir.

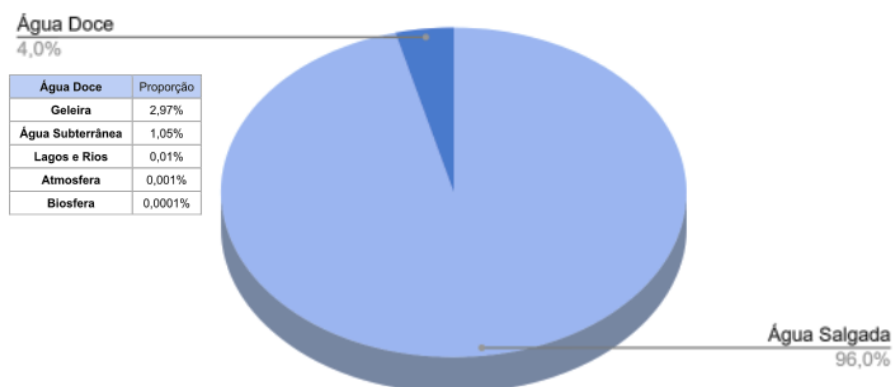
2.1. ORIGEM, DINÂMICA E DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

A origem da água na Terra deve-se a um conjunto de fenômenos, tanto terrestres, quanto extraterrestres. Marty e Reika (2023) associam esses processos a mecanismos geológicos, enquanto Shorttle et al. (2024) associam a bombardeamento por asteroides. Para Catling (2023) e Texeira et al. (2009), a intensa atividade vulcânica durante a formação da atmosfera primitiva promoveu desgaseificação e acúmulo de gases, que posteriormente se condensaram em chuvas torrenciais. Além disso, O'Neill e Herbert (2008) e Peslier et al. (2017) destacam que meteoros e cometas ricos em gelo contribuíram para o aumento do volume hídrico na superfície terrestre.

Os locais de armazenamento de água são denominados **reservatórios** (GROTZINGER; JORDAN, 2013). Júnior e De Paula Barros (2020) contribui que os reservatórios recebem água por **influxos** (ex.: precipitação e fluxo fluvial) e perdem por **defluxos** (ex.: evaporação e escoamento fluvial). Quando influxo e defluxo são equivalentes, o volume do reservatório permanece constante (GROTZINGER; JORDAN, 2013). Conforme Grotzinger e Jordan (2013) e Texeira et al. (2009) o volume total de água no planeta é aproximadamente **$1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$** , sendo que os **reservatórios de água doce** (fig. 01) representam 4,04% desse total, o volume e tempo de permanência são:

- **Geleiras:** $4,34 \times 10^7 \text{ km}^3$, 10 – 1.000 anos;
- **Águas subterrâneas:** $1,54 \times 10^7 \text{ km}^3$, 2 semanas – 10.000 anos;
- **Lagos e rios:** $1,27 \times 10^5 \text{ km}^3$, 2 semanas – 10 anos;
- **Atmosfera:** $1,5 \times 10^4 \text{ km}^3$, ~ 10 dias;
- **Biosfera:** $2 \times 10^3 \text{ km}^3$, 1 semana.

Figura 1 - Distribuição dos Reservatórios Hídricos.

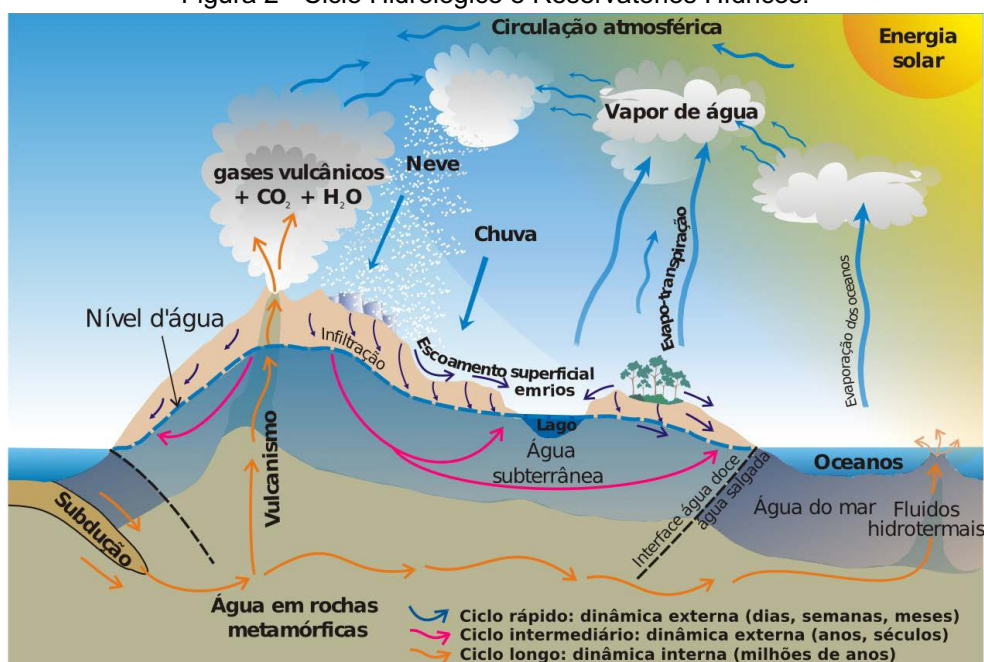


Fonte: Baseado em Grotzinger e Jordan (2013).

Apesar da maior parte da água ser salgada, as águas doces, em especial rios e as águas subterrâneas, são parcelas vitais desta reserva (SILVA; PEREIRA, 2019). De acordo com Odum (1983), ecossistemas lênticos e ecossistemas lóticos e alagados são habitats de uma miríade de formas de vida.

A circulação entre esses reservatórios é explicada pelo ciclo hidrológico (fig. 02), que compreende processos internos (ciclo primário, ligado à dinâmica tectônica e vulcânica) e externos (ciclo secundário, impulsionado por energia solar e gravidade, incluindo evaporação, precipitação, infiltração e escoamento) (GROTZINGER; JORDAN, 2013; TEIXEIRA et al., 2009).

Figura 2 - Ciclo Hidrológico e Reservatórios Hídricos.

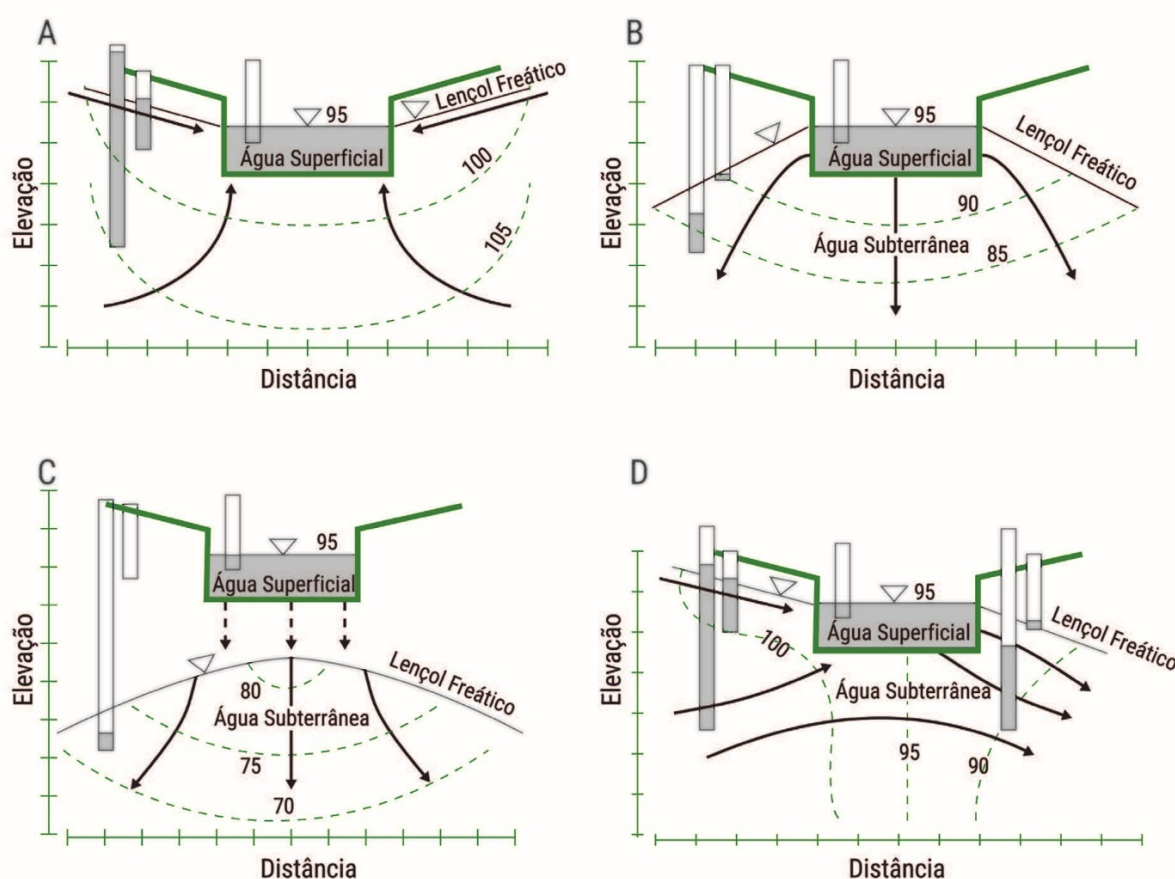


Fonte: Modificado de Teixeira et al (2009).

O ciclo hidrológico inicia-se com a precipitação, que pode formar geleiras. Parte da água retorna à atmosfera por evaporação ou evapotranspiração e, nas florestas, pela interceptação em folhas e caules. Ao atingir o solo, infiltra-se, recarregando aquíferos, ou escoar superficialmente, alimentando rios, lagos e oceanos (GROTZINGER; JORDAN, 2013; QUEIROS, 2020; TEIXEIRA et al., 2009; OLIVEIRA, 2012).

Baseado em Teixeira et al (2009), a infiltração depende do solo, relevo, vegetação e precipitação, sendo afetado o lençol freático (fig. 03) e a recarga dos aquíferos por atividades humanas ou sazonalidade.

Figura 3 - (A) Modelo conceitual para rios efluentes; (B) Modelo conceitual para rios influentes no cenário em que a elevação do nível d'água que separa a zona saturada da não saturada está conectada com o rio; (C) Modelo Conceitual para rios influentes com cenário em que a elevação de nível d'água que separa a zona saturada do rio; (D) Modelo conceitual de fluxo direto.



Fonte: Woessner (2020), adaptado por Gastmans e De Lima et al. (2022).

O lençol freático pode formar nascentes e rios; a interação rio-aquífero ocorre conforme a diferença de elevação entre seus níveis d'água, rios efluentes recebem água subterrânea (fig. 03a e 03d), enquanto rios influentes a recarregam (fig. 03b e

03c), resultando em dois tipos principais de rios: **perenes** (fig. 03a e 03d), que permanecem conectados ao lençol freático e mantêm vazão contínua mesmo em períodos secos, e **intermitentes** (fig. 03c), nos quais a desconexão do aquífero durante a estiagem leva ao esgotamento do fluxo superficial. Em regiões áridas, a infiltração pode se inverter sazonalmente, favorecendo a evaporação (TEIXEIRA et al., 2009; GROTZINGER; JORDAN, 2013).

A interação entre águas subterrâneas e superficiais é fundamental: aquíferos recarregados alimentam corpos hídricos (FEITOSA et al, 2008), enquanto fluxos profundos segundo Teixeira et al (2009) seguem trajetórias lentas e a água dos oceanos retorna pela evaporação. No curto prazo, o ciclo é regido por processos rápidos (fig. 02), como a fotossíntese e a evapotranspiração; no longo prazo, envolve o intemperismo químico e a formação de rochas, resultando na configuração das bacias hidrográficas (fig. 04) na superfície da terra (FEITOSA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009).

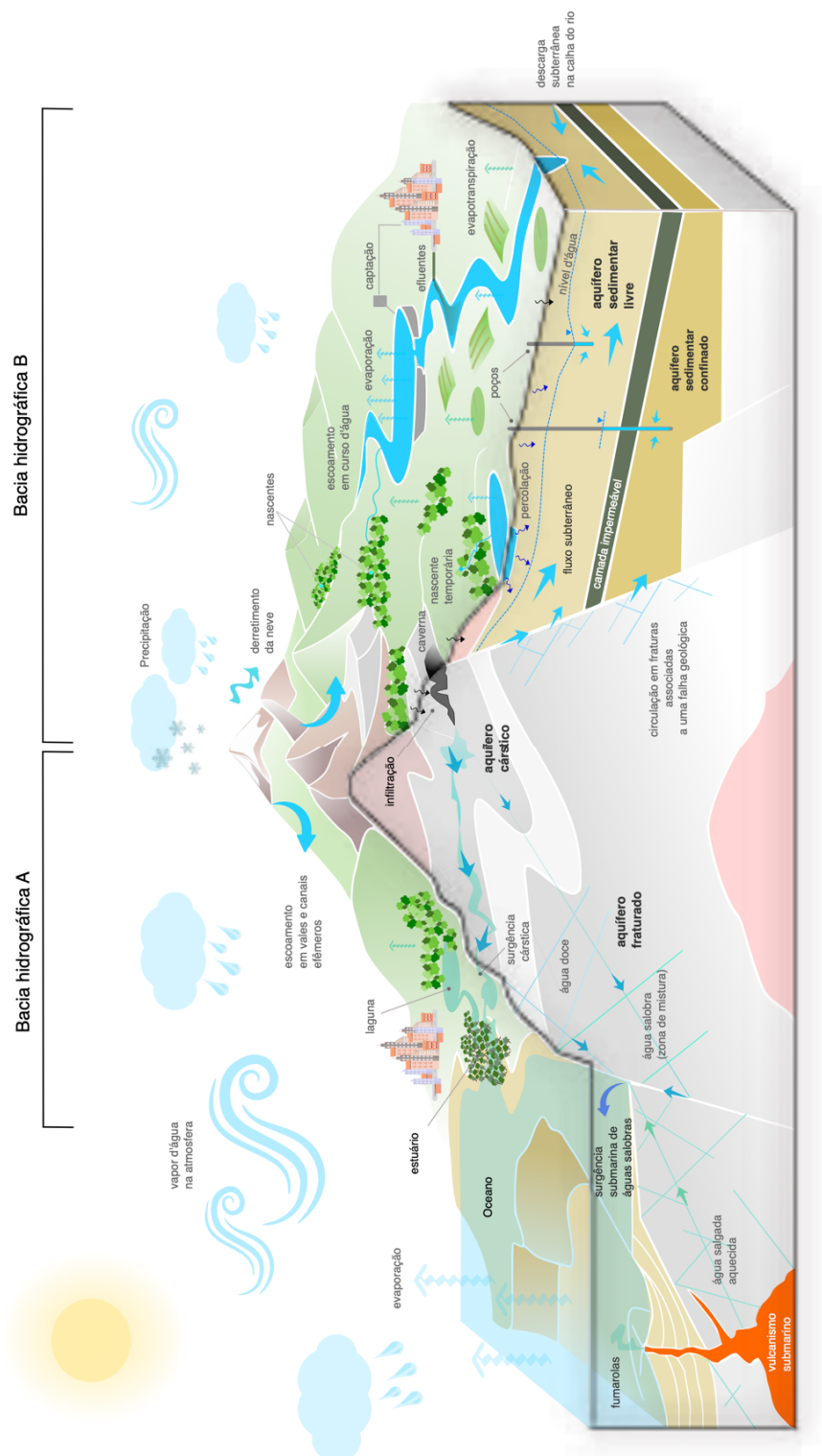
Conforme a Lei 9433, a bacia hidrográfica é uma unidade de estudo e gestão. Ela é descrita como um sistema aberto em equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000). Para a Agência Nacional de Águas (2011), Tucci (2001), Collischonn e Dornelles (2013), a bacia hidrográfica é uma região formada por cursos d'água interligados, com afluentes e rio principal que converge para um exultório (ou foz), integrando águas meteóricas, superficiais, subterrâneas e costeiras. Ela é delimitada por divisores topográficos (MACHADO; TORRES, 2012) e freáticos (GUZZO, 2021), definindo também os limites dos reservatórios subterrâneos e fluviais.

Os fluxos subterrâneos, por sua vez, não necessariamente são iguais aos limites de bacias hidrográficas, antes, são controlados muito mais efetivamente pela geologia local e regional. Aspectos como relevo, drenagem e transporte de sedimentos e nutrientes são fundamentais para compreender a origem, a distribuição e a relação da água subterrânea com corpos superficiais (TONELLO, 2005; BORDALO et al., 2018).

A **hidrologia** estuda a movimentação da água na superfície e no subsolo, considerando respostas a mudanças naturais e antrópicas (GROTZINGER; JORDAN, 2013). A **hidrogeologia**, por sua vez, concentra-se nas águas subterrâneas em interação com o meio geológico (ABAS, 2023). Segundo Rebouças et al (2002) estima-se que a água subterrânea disponível para abastecimento seja de 65.000 km³

no solo, 4,2 milhões de km³ até 750 m de profundidade e 5,3 milhões de km³ de 750 m até 4.000 m (REBOUÇAS et al., 2002).

Figura 4 - Representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos. O arcabouço geológico como elemento-base de definição do território da bacia e do armazenamento de água.

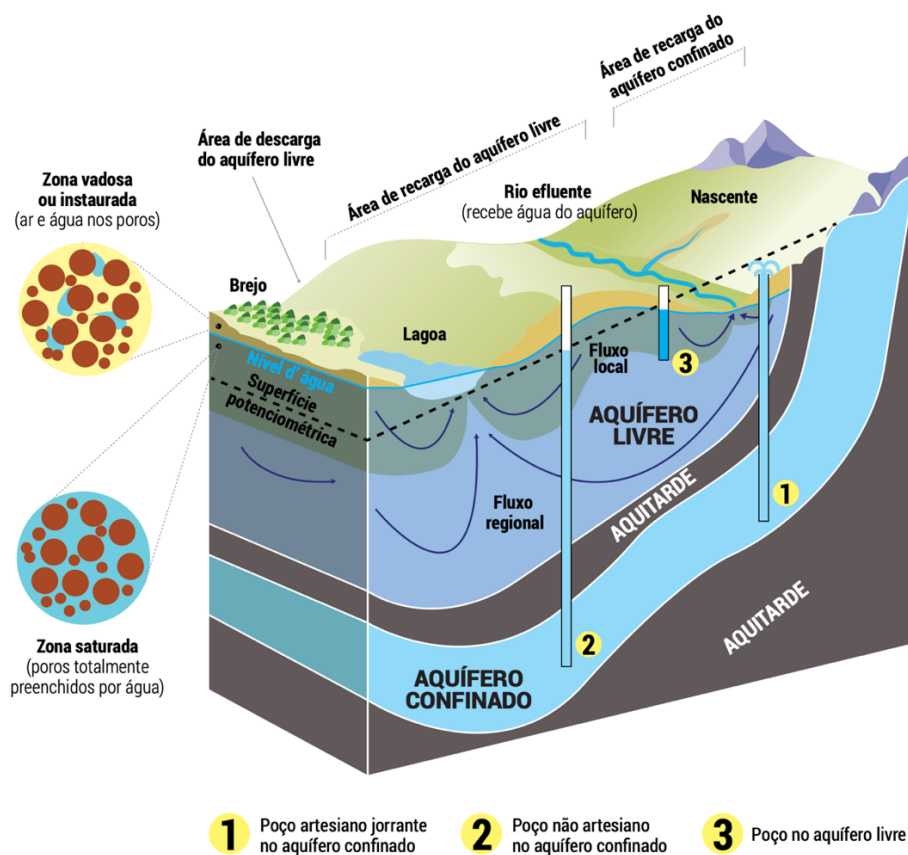


Fonte: Atman et al. (2022).

Esses recursos sustentam atividades domésticas, agropecuárias, industriais e, sobretudo, o abastecimento público (HIRATA et al., 2019; ANA, 2023b). O fluxo subterrâneo depende de propriedades do meio (porosidade [η] e permeabilidade [k]) e dos fluidos (viscosidade [μ] e densidade [ρ]), resultando na condutividade hidráulica [K] (GONÇALES; GIAMPÁ, 2013; HISCOCK; BENISE, 2014; IRITANI; EZAKI, 2008), que classifica em quatro as camadas geológicas (fig.05), em: **aquíferos** (alto armazenamento [S] e transmissividade [K]), **aquitardos** (alta S , baixa K), **aquicludes** (baixa S e K) e **aquífugos** (sem S e consequentemente sem K).

Os aquíferos ainda podem ser classificados quanto à pressão e posição: **livres** (nível d'água coincide com a superfície freática [$P \approx 1 \text{ atm}$]), **suspensos** (isolados acima do freático [$P \approx 1 \text{ atm}$]), **confinados** (água sob alta pressão entre camadas impermeáveis [$P \gg 1 \text{ ATM}$]) e **semiconfinados** (fluxo lento através de camadas pouco permeáveis [$P > 1 \text{ ATM}$]) (FEITOSA et al., 2008). Quanto ao tipo de reservatório, distinguem-se os porosos, fraturados e cársticos (condutos em rochas carbonáticas) (REBOUÇAS; FEITOSA; DEMÉTRIO, 2013).

Figura 5 - Representação Esquemática do Aquífero Livre e Confinado. Funcionamento do aquífero.



Fonte: Cabral (2008), adaptado por Atman et al. (2022).

O abastecimento por água subterrânea é feito principalmente por poços, que exigem monitoramento de parâmetros como nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, cone de rebaixamento, potencial hidrológico e carga hidráulica (FEITOSA et al., 2008). Globalmente, mais de 300 milhões de poços atendem metade da população mundial, e no Brasil, 61% da população depende dessa fonte, com 181 aquíferos e cerca de 2,5 de poços tubulares, responsáveis por extrair 17.580 milhões de m³/ano a 11.083,3 m³/s (HIRATA et al, 2019), correspondendo a 8% das reservas explotáveis (ANA, 2021). (REBOUÇAS, 2002; ANA, 2013; HIRATA et al., 2019; ANA, 2021). Essa exploração é estratégica para garantir segurança hídrica, de acordo com Jacobi, Buckeridge e Ribeiro (2021) frente à escassez e mudanças climáticas.

O fluxo de águas superficiais depende da precipitação, infiltração e relevo, transportando sedimentos e nutrientes que sustentam a biodiversidade aquática (WARD; ROBINSON, 2000; ALLAN; CASTILLO, 2007). Baseado em Teixeira et al (2009) áreas urbanizadas, o solo impermeabilizado intensifica o escoamento, favorecendo enchentes e contaminações. Assim, o monitoramento deve considerar variáveis como vazão, qualidade da água, erosão e sedimentos, fundamentais para a gestão de bacias hidrográficas (HEATH, 1983; WARD; ROBINSON, 2000). No Brasil, rios das bacias Amazônica e do São Francisco concentram grande parte dos recursos hídricos, essenciais para consumo e irrigação (SNIRH, 2013).

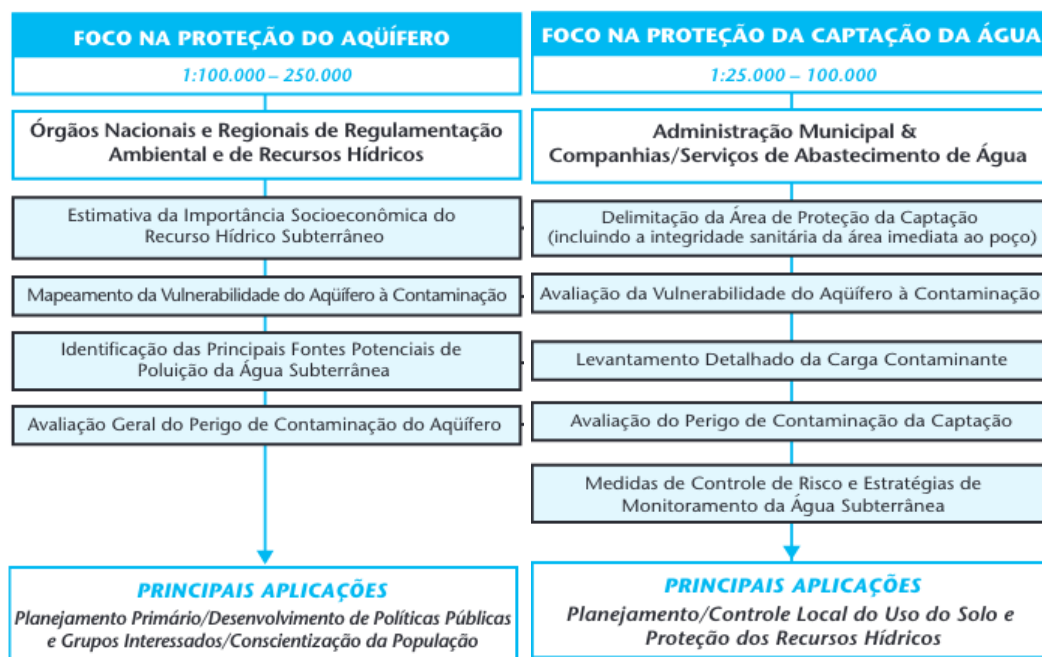
2.2. MONITORAMENTO DAS ÁGUAS

Foster et al (2006) descrevem medidas e ações de monitoramento para proteger o recurso hídrico contra a contaminação, sendo essencial o controle do uso do solo, a limitação da emissão de efluentes e a regulação do descarte de resíduos sólidos e líquidos (BECEGATO; FERREIRA, 2005; FÉLIX, 2021; SILVA, 2023). Embora como exemplo existam casos de empresas na Europa adquirindo áreas para proteger a água subterrânea (FOSTER et al, 2006), é eficiente e menos prejudicial ao desenvolvimento econômico aproveitar a capacidade natural de atenuação das camadas que cobrem o aquífero.

Encontrar equilíbrio entre a preservação do sistema e a atenção a áreas específicas de captação é crucial, dependendo das condições hidrogeológicas e da proporção de uso potável. Para áreas de captação, a escala de trabalho ideal é de 1:25.000 a 1:100.000 (fig. 6), começando pela delimitação das zonas e avaliação da

vulnerabilidade e carga contaminante. Foster et al (2006) descreve que opções institucionais, como avaliações de risco por empresas de abastecimento, fundamentam ação regulatória.

Figura 6 - Diferentes níveis de avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea.



Fonte: Modificado de Foster et al (2006).

Além das medidas de proteção dos aquíferos, é fundamental também focar na preservação das águas superficiais, que são essenciais para o abastecimento de água e a manutenção dos ecossistemas (GRYCZAK, 2020; LEMOS, 2022; HIRATA et al, 2019; CAMPOS, 2011; LORD, 2001). O controle da qualidade da água superficial requer ações semelhantes às adotadas para os aquíferos, incluindo a regulação do uso do solo nas áreas de drenagem, o monitoramento de efluentes industriais e urbanos e a proteção das zonas de recarga das bacias hidrográficas (DIAS; SILVA; GHEYI, 2011; MANZIONE, 2015; LEMOS, 2022; NASCIMENTO, 2013; HIRATA et al, 2019; DA SILVA, 2021).

Para as águas superficiais, é crucial avaliar a vulnerabilidade das bacias e identificar as fontes de contaminação, pois isso é vital para uma gestão sustentável (MELCHOR; GATTO, 2021; MESTRINHO, 2013; MALUNGO, 2023). A abordagem para a avaliação dessas áreas pode variar, mas recomenda-se uma análise detalhada em regiões sensíveis, com ênfase na redução da carga contaminante proveniente de atividades agrícolas, industriais e urbanas (HIRATA et al, 2019;

CECH, 2013).

Por fim, a proteção das águas subterrâneas e superficiais deve ser abordada de forma integrada e holística, garantindo assim, a qualidade da água para o consumo humano e a preservação ambiental a longo prazo.

2.2.1. Qualidade Hídrica

A qualidade da água é essencial para a saúde humana e para a preservação ambiental. Conforme Bordalo et al. (2018), ela é vital para diversos usos e para o funcionamento dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, assegurando o equilíbrio dos ecossistemas. Para manter o equilíbrio dos ecossistemas, agências governamentais estabelecem normativas regulatórias que disciplinam a potabilidade e a proteção dos recursos hídricos, em consonância com a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997). Nesse contexto, o monitoramento hidrológico, realizado em estações pluviométricas e fluviométricas, fornece informações essenciais sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas (ANA, 2023b).

No âmbito legal, destacam-se as Resoluções do CONAMA e as portarias do Ministério da Saúde, que em conjunto estruturam a regulação da qualidade da água no Brasil. A Resolução nº 357/2005 estabelece critérios de classificação e enquadramento das águas superficiais, definindo parâmetros físico-químicos e biológicos que orientam os usos múltiplos da água. Complementarmente, a Resolução nº 396/2008 disciplina especificamente as águas subterrâneas, enquanto a Resolução nº 397/2008 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Já a Resolução nº 410/2009 apresenta critérios técnicos adicionais relacionados a esse tema.

No que se refere à proteção do solo e ao gerenciamento de áreas contaminadas, a Resolução nº 420/2009 define critérios e valores orientadores para a qualidade do solo, estabelecendo diretrizes para recuperação de áreas impactadas. A Resolução nº 430/2011, por sua vez, complementa a Resolução nº 357/2005 no que tange aos padrões de lançamento de efluentes.

Além das resoluções ambientais, a legislação de saúde pública também desempenha papel essencial. A Portaria de Consolidação nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde fixou procedimentos e responsabilidades para o controle e a vigilância da

qualidade da água destinada ao consumo humano, posteriormente atualizados pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que revisou os padrões de potabilidade.

A seguir, apresenta-se o quadro 01 de síntese das principais normativas, destacando o ano de publicação e o foco principal de cada uma:

Quadro 1 - Principais normativas, destacando o ano de publicação e o foco principal.

NORMA/PORTARIA	ANO	FOCO PRINCIPAL
Resolução CONAMA nº 357	2005	Estabelece critérios de classificação e enquadramento das águas superficiais, definindo parâmetros físico-químicos e biológicos.
Resolução CONAMA nº 396	2008	Disciplina especificamente as águas subterrâneas.
Resolução CONAMA nº 397	2008	Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes (complementando a nº 357/2005).
Resolução CONAMA nº 91	2008	Regulamenta aspectos específicos de qualidade ambiental (relacionada ao enquadramento).
Resolução CONAMA nº 410	2009	Define critérios técnicos complementares para lançamento de efluentes.
Resolução CONAMA nº 420	2009	Estabelece critérios e valores orientadores para a qualidade do solo e diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas.
Resolução CONAMA nº 430	2011	Complementa a Resolução nº 357/2005 quanto a padrões de lançamento de efluentes.
Portaria de Consolidação nº 2.914 Ministério da Saúde	2011	Define procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano.
Portaria GM/MS nº 888	2021	Atualiza os padrões de potabilidade da água para consumo humano.

Fonte: A autora, baseado nas Resoluções e Portarias.

Dessa forma, O enquadramento dos corpos d'água em classes exige parâmetros que orientem a qualidade e o uso múltiplo da água. As normativas variam em enfoque, tratando de águas superficiais, subterrâneas, efluentes, áreas contaminadas e padrões de potabilidade para consumo humano.

A composição da água subsuperficial é influenciada tanto por fatores naturais quanto por atividades antrópicas de uso e ocupação do solo. Segundo Mestrinho (2013) a origem e a evolução hidroquímica da água estão associadas a fatores endógenos e exógenos que atuam no meio natural. Os principais constituintes presentes nas águas subterrâneas, como amônia, cálcio, carbonatos, cloreto, dióxido de carbono, enxofre, fosfatos, magnésio, potássio, sulfatos e sódio, têm diferentes origens e implicações patológicas, além de impactos ambientais significativos (quadro 02). Esses elementos, oriundos de processos como intemperismo de rochas, poluição difusa, atividades vulcânicas e escoamento superficial, podem causar efeitos adversos à saúde humana ao ambiente.

Quadro 2 - Origem dos principais constituintes presentes nas águas principalmente as subterrâneas.

Constituintes	Prováveis Fontes	Implicações Patológicas em Humanos	Impactos Ambientais	Autor
Amônia (NH ₃)	Matéria orgânica do solo; adubos nitrogenados; efluentes orgânicos/esgotos; e hidrólise da ureia.	Tóxica; pode causar irritações nas mucosas, o, tosse e sensação dolorosa na garganta e efeitos neurológicos.	Altamente tóxica para organismos aquáticos; contribui para a eutrofização	MESTRINHO, (2013) ; MONERÓ (2014); CARVALHO, (2025)
Cálcio (Ca ²⁺)	Intemperismo da calcita, dolomita, plagioclásio; argilas (montmorillonita); e aerossóis trapeados.	Essencial, mas em excesso pode contribuir para a formação de cálculos renais.	Pode aumentar a dureza da água e afetar reações químicas naturais.	MESTRINHO, (2013); FREITAS, A. et al. (2017); COUTINHO, J. V. de S. et al. (2023)
Carbonatos e Bicarbonatos (CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻)	Águas meteóricas; dissolução do CO ₂ ; calcários; redução dos sulfatos; intemperismo de rochas carbonatadas e de silicatos; e vulcanismo.	Interferem no equilíbrio ácido-básico do corpo; podem causar desconfortos gastrointestinais.	Regulam o pH da água; excesso pode comprometer a estabilidade química do ecossistema	MESTRINHO (2013); GONZÁLEZ (2008); SANTOS (2009); CECH (2013); TUCCI (2001)
Cloreto (Cl ⁻)	Água do mar trapeada nos sedimentos; águas juvenis ou meteóricas; dissolução de evaporitos; atividades vulcânicas; e poluição.	Altas concentrações causam hipertensão	Afeta a salinidade da água e a sobrevivência de espécies dulcícolas.	MESTRINHO, (2013); SANTOS (2009); BORDALO et al. (2018); VILLARDI; GIORDANO; BARBOSA (2016)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Águas juvenis (das atividades vulcânicas); água meteórica; carbonatos; oxidação de piratas; e reações bioquímicas.	Em ambientes mal ventilados pode levar à acidose respiratória.	Potencial de destruição da camada de ozônio ou o potencial de acidificação da terra e dos aquíferos	MESTRINHO, (2013); SANTORO; KRIPKA, (2016). GONZÁLEZ (2008); SANTOS (2009); CATLING (2023)
Dióxido de Enxofre/Sulfeto de Hidrogênio (SO ₂ / H ₂ S)	Atividades vulcânicas e reações bioquímicas.	Causam irritações respiratórias, náuseas e cefaleias; H ₂ S é tóxico em baixas concentrações.	Tóxicos para a fauna aquática.	MESTRINHO, (2013); DERÍSIO (2016); BARRETO et al. (2024)
Enxofre (S)	Sulfetos (pirita); sulfatos (gipso); águas juvenis; combustão de carvão e petróleo; e águas geotermiais.	O enxofre em excesso causa doenças respiratórias.	O enxofre em excesso causa chuva ácida, poluição e mudanças climáticas.	MESTRINHO, (2013); MARTINS et al. (2003).

Fosfato (PO_4^{3-})	Matéria orgânica e fosfatos.	Em excesso pode afetar o metabolismo celular; geralmente está ligado à poluição doméstica.	Contribui fortemente para a eutrofização e proliferação de algas	MESTRINHO, (2013); QUEVEDO (2009); SILVA (2023)
Magnésio (Mg^{2+})	Intemperismo de anfibólio, piroxênio, olivina, biotita e dolomita; MgCl em águas salinas; montmorillonita; e água meteórica.	Excesso pode causar efeitos laxativos e distúrbios eletrolíticos.	Chuvas que alteram a concentração de sais minerais, mudanças no uso do solo, variações na carga poluente e a influência da geologia local	MESTRINHO, (2013); COSTA (2025)
Potássio (K^+)	Intemperismo dos feldspatos alcalinos e biotita; argilas; aerossóis trapeados; e degradação da biomassa.	perda de função excretora renal e retenção de potássio, levando à hipercalcemia.	Pouco tóxico para o ambiente e contribuem para processo de salinização	MESTRINHO, (2013); GONZÁLEZ, (2008); SIMPLÍCIO (2015)
Sulfatos/Sulfetos ($\text{SO}_4^{2-} / \text{S}^{2-}$)	Minas; matéria orgânica; gipso; pirita; calcopirita; e compostos de enxofre.	Sulfatos em excesso têm efeito laxativo; sulfetos podem ser tóxicos e gerar odor fétido.	Reduzem a qualidade da água e afetam a biodiversidade aquática.	MESTRINHO, (2013); FREITAS et al. (2017); BORDALO et al. (2018); VILLARDI; GIORDANO; BARBOSA (2016)
Sódio (Na^+)	Sal (NaCl); intemperismo dos plagioclásios; água meteórica; argilas (montmorillonita); água do mar; água conatas; e poluição.	Contribui para hipertensão e desequilíbrios eletrolíticos.	Afeta a salinidade e pode inviabilizar espécies dulcícolas em altas concentrações.	MESTRINHO, (2013); DORNELAS et al. (2023); SANTOS (2009); ANA (2023)

Fonte: A autora.

Do ponto de vista físico-químico, a caracterização da água subsuperficial envolve parâmetros como turbidez, cor, sabor e odor, temperatura, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, salinidade, potencial redox (Eh), alcalinidade, acidez, sólidos totais, dureza, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT) e formas de nitrogênio (MESTRINHO, 2013; VILLARDI; GIORDANO; BARBOSA, 2016). Cada um desses indicadores apresenta implicações tanto para a saúde humana quanto para os ecossistemas aquáticos, justificando a importância de um monitoramento constante (quadro 03).

Quadro 3 - Composição da água subsuperficial e caracterização.

Característica	Descrição	Implicações Patológicas em Humanos	Impactos Ambientais	Autor
Turbidez	Dificuldade de penetração da luz nas águas, causadas por partículas em suspensão.	Risco de infecções gastrointestinais por microrganismos patogênicos	Redução da penetração de luz e prejuízo à fotossíntese aquática	MESTRINHO, (2013); VILLARDI, B.; GIORDANO, G.; BARBOSA, O. (2023); LEIRA et al. (2017); VILLARDI; GIORDANO; BARBOSA (2016)
Cor	A cor que as águas costumam apresentar é referente às substâncias dissolvidas.	Pode indicar presença de metais ou matéria orgânica; exposição contínua pode levar à toxicidade crônica	A luz solar é essencial para as algas clorofiladas, pois permite a fotossíntese e a produção de matéria orgânica.	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017); TUCCI (2008)
Sabor e Odor	A água potável é descrita como inodora, insípida e incolor, mas isso depende muito dos sais dissolvidos.	Indicam presença de compostos químicos ou orgânicos voláteis; causam náuseas, irritações e rejeição sensorial.	Revelam poluição orgânica ou industrial, afetando a fauna aquática.	MESTRINHO, (2013); CETESB (2017); DORNELAS et al. (2023); MONERÓ; DOS SANTOS (2014)
Temperatura	Influência nos processos bioquímicos e na solubilidade dos gases dissolvidos nas águas.	Pode intensificar efeitos de contaminantes e afetar processos fisiológicos	Temperaturas fora da faixa ideal reduzem o crescimento dos animais aquáticos	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017); TUCCI (2008); BORDALO et al. (2018)
Condutividade Elétrica	Capacidade de transmitir corrente elétrica por meio das substâncias dissolvidas.	Pode refletir excesso de sais prejudiciais (hipertensão, distúrbios renais)	Desequilíbrio osmótico nos ecossistemas aquáticos	MESTRINHO, (2013); SANTOS (2009); BORDALO et al. (2018); VILLARDI; GIORDANO; BARBOSA (2016)
pH	Logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio na água, resultante do equilíbrio químico das reações.	pH extremo pode causar irritação na pele, mucosas e distúrbios gastrointestinais	Alterações do pH da água fora da faixa ideal comprometem o equilíbrio químico, reduzem o oxigênio disponível e podem causar mortalidade de peixes.	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017); MONERÓ; DOS SANTOS (2014); TUCCI (2008)

Oxigênio Dissolvido	O oxigênio consumido pela matéria orgânica biodegradável é importante para avaliar o grau de poluição e as condições aeróbicas para degradar a matéria orgânica.	Baixos níveis reduzem a capacidade de autodepuração e favorecem patógenos anaeróbios	Causa anóxia e morte de espécies aquáticas	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017); BORDALO et al. (2018); TUCCI (2008)
Salinidade	Representa a quantidade total de sais dissolvidos em um determinado volume de água.	Exposição contínua pode provocar desidratação celular e desequilíbrios eletrolíticos	A alcalinidade estabiliza o pH da água viabilizando a vida de espécies	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017); SANTOS (2009); BORDALO et al. (2018); ANA (2023)
Eh	O potencial de oxirredução determina a característica do ambiente, se ele é redutor ou oxidante.	Afeta a mobilidade de metais tóxicos no organismo, podendo causar bioacumulação	Altera ciclos biogeoquímicos no ecossistema	MESTRINHO, (2013); SIMPLÍCIO (2015); MARTINS et al. (2003); BORDALO et al. (2018)
Alcalinidade	É a capacidade das substâncias dissolvidas em dissolver ácidos.	Altos níveis podem interferir no metabolismo ácido-básico	Pode tamponar alterações de pH, mas afetar interações químicas	MESTRINHO, (2013); MORAES, (2014).
Acidez	A capacidade de neutralizar bases.	Pode causar corrosão dentária, irritações e exposição a metais pesados	Solubiliza metais tóxicos e afeta a biodiversidade	MESTRINHO, (2013); GODOY, (2002)
Sólidos	É a soma dos constituintes minerais nas águas.	Podem causar distúrbios digestivos e interferir na absorção de nutrientes	Reduzem transparência da água e afetam organismos fotossintetizantes	MESTRINHO (2013); LEIRA et al. (2017)
Dureza	Característica relativa à presença de sais nas águas.	Associada à litíase renal (cálculos) em indivíduos predispostos	Incrustações e interferência na dinâmica dos ecossistemas aquáticos	MESTRINHO (2013); FREITAS et al. (2017)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Quantidade de matéria orgânica que pode consumir oxigênio rapidamente.	Alta DBO favorece micro-organismos patógenos anaeróbios; risco de doenças infecciosas	Altos valores de DBO reduzem o oxigênio da água e podem causar morte de peixes.	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017)
Carbono orgânico Total (COT)	É a liberação de carbono durante a degradação do dióxido de carbono.	Indica matéria orgânica biodegradável; pode estimular crescimento microbiano indesejado	Alimenta flora microbiana e contribui para eutrofização	MESTRINHO (2013); BORDALO et al. (2018)
Nitrogênio	Possui várias formas e estados de oxidação que resultam dos processos bioquímicos (entre eles amônia, nitratos,	Nitrato e nitrito causam metemoglobinemia, principalmente em lactentes	Eutrofização e desequilíbrio ecológico	MESTRINHO, (2013); LEIRA et al. (2017)

	nitritos, nitrogênio molecular e orgânico.			
--	--	--	--	--

Fonte: A autora.

A avaliação da qualidade da água, portanto, deve integrar características físicas, químicas e biológicas, permitindo sua classificação segundo o conteúdo mineral, a potabilidade e a presença de substâncias tóxicas (MESTRINHO, 2013; MANZIONE, 2015). Nesse sentido, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) representa um instrumento essencial de gestão, sendo utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) desde 1975, com base em metodologia originalmente desenvolvida pela National Sanitation Foundation (NSF) em 1970 (ANA, 2023a). O IQA combina nove parâmetros principais: coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais, temperatura e oxigênio dissolvido, resultando em um índice entre 0 e 100 (ANA, 2023; MEDEIROS; LIMA; GUIMARÃES, 2016; PEREIRA et al., 2010). Essa ferramenta sintetiza a condição dos corpos hídricos, indicando se a qualidade da água é ótima, boa, aceitável, ruim ou péssima (CETESB, 2015; IGAM, 2023).

Os parâmetros monitorados devem estar relacionados com o tipo de uso e ocupação da bacia contribuinte a estação e com os objetivos da rede. Sendo assim, tanto a localização das estações quanto os parâmetros monitorados devem ser reavaliados periodicamente.

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

Figura 7 - Fórmula do IQA.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Fonte: Modificado de Cetesb (2015).

Onde:

IQA - Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i - qualidade do i -ésimo parâmetro;

w_i - peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado;

n - o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Utilizando os pesos pré-estabelecidos do CETESB e formulações para cada parâmetro, é aplicada uma equação específica a cada variável e, posteriormente, à formulação geral, obtendo-se o valor do Índice de Qualidade da Água (IQA). Esse resultado é interpretado conforme faixas de qualidade que classificam a água como excelente, boa, aceitável, ruim ou péssima, a depender da metodologia adotada. No Brasil, utiliza-se predominantemente os parâmetros definidos pela CETESB ou pelo modelo da NSF (IGAM-MG), como representado no quadro 04, variando conforme o estado ou a instituição responsável pelo monitoramento (IGAM, 2023).

Quadro 4 - Parâmetros de análise do IQA.

NSF (IGAM-MG)		CETESB	
Excelente	$90 < \text{IQA} \leq 100$	Ótima	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
Bom	$70 < \text{IQA} \leq 90$	Boa	$52 \leq \text{IQA} < 80$
Médio	$50 < \text{IQA} \leq 70$	Aceitável	$37 \leq \text{IQA} < 52$
Ruim	$25 < \text{IQA} \leq 50$	Ruim	$20 \leq \text{IQA} < 37$
Muito Ruim	$0 < \text{IQA} \leq 25$	Péssima	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Fonte: Modificado de CETESB (2015) e IGAM (2023).

Embora seja amplamente aplicado no Brasil, o IQA apresenta limitações em regiões como a Amazônia, onde ambientes aquáticos frequentemente registram valores de pH abaixo de 5,0, o que compromete a aplicabilidade da técnica (Lages et al., 2023), apresentando assim, um ponto negativo da aplicabilidade da técnica em território roraimense. Ainda assim, trata-se de um índice consolidado para o monitoramento sistemático, orientando a gestão da qualidade das águas em diferentes estados e bacias hidrográficas.

Além dos parâmetros clássicos, a avaliação qualitativa da água deve incluir a detecção de contaminantes emergentes, como agrotóxicos da classe dos carbamatos, frequentemente utilizados na agricultura. Estudos como os de De Araújo (2018) e Paiva (2001) destacam o impacto ambiental desses compostos, enquanto Fernandes

(2016) enfatiza a importância de monitorá-los em regiões de uso intensivo, como a Amazônia. Em Roraima, o monitoramento da qualidade da água é conduzido pela FEMARH, que utiliza sondas multiparamétrica EXO, da YSI – XYLEM e pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER, 2025), que mantém laboratório próprio de análises qualitativas, contribuindo para a gestão e conservação regional dos recursos hídricos.

Dessa forma, a integração de diferentes instrumentos legais, técnicos e institucionais é fundamental para garantir a potabilidade da água, proteger os ecossistemas aquáticos e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, especialmente diante de desafios contemporâneos como urbanização, poluição difusa e mudanças climáticas (BIRITI; BARBOSA, 2018; HIRATA et al., 2019).

2.2.2. Contaminação e vulnerabilidade hídrica

A preservação ambiental e a qualidade dos recursos naturais constituem preocupações globais (FUCCILLE; BRAGATTI; LEITE, 2017). O impacto ambiental, conforme a Resolução CONAMA nº 001, resulta de alterações geradas por atividades humanas. Nesse contexto, a contaminação, entendida como a presença de substâncias indesejadas em concentrações anômalas, pode evoluir para poluição quando tais substâncias provocam efeitos negativos diretos à saúde e ao equilíbrio dos ecossistemas (ACIESP, 1987; SCALIZE; BEZERRA, 2020). As fontes poluidoras são diversas e incluem esgoto doméstico, agroquímicos e práticas agrícolas inadequadas, lixões (SCALIZE; BEZERRA, 2020), resíduos industriais e hospitalares, comprometendo a qualidade da água superficial e subterrânea.

Foster et al. (2006) destacam que os componentes da carga contaminante no subsolo podem ser avaliados pela classe do contaminante, intensidade da contaminação, modo de disposição e duração da carga. Quando a carga poluidora supera a capacidade de autodepuração natural dos corpos hídricos, os ambientes aquáticos tornam-se degradados e impróprios, com riscos à saúde humana, perda de biodiversidade e prejuízos ambientais significativos (GUEDES, 2009; CALVELLI; NEHME; OCCHIUTTO, 2023).

As águas superficiais, em particular, apresentam elevada vulnerabilidade devido à sua exposição direta a fatores naturais e antrópicos. Aspectos como morfologia, declividade, tipo de solo, cobertura vegetal, regime hidrológico e

intensidade das atividades humanas (urbanização, agricultura, indústrias e lançamento de efluentes) determinam sua sensibilidade às alterações em qualidade e quantidade (OLLI; DARRACQ; DESTOUNI, 2009; SUTTON; FISHER, 2009; GIANUCA, 2024). A avaliação dessa vulnerabilidade requer o uso de ferramentas como modelos de transporte de poluentes, análises de uso e ocupação do solo, além de indicadores de qualidade da água que auxiliam no diagnóstico e gestão (BEZERRA, 2024; LARENTIS, 2004).

No caso das águas subterrâneas, a vulnerabilidade é definida como a propensão do aquífero à contaminação a partir da superfície, dependendo de fatores geológicos, hidrogeológicos e antrópicos, como tipo de aquífero, profundidade do nível freático e características das camadas de solo e rocha (CONICELLI, 2014; PINTO, 2016). Foster et al. (2006) e Braga (2008) ressaltam que aquíferos livres apresentam maior susceptibilidade, já que parâmetros como acessibilidade hidráulica, dispersão, retardação e degradação influenciam diretamente no grau de vulnerabilidade. Diferenças entre áreas de vegetação nativa e zonas antropizadas também condicionam níveis distintos de proteção natural (GUIGUER; KOHNKE, 2002; CECH, 2013).

A avaliação da vulnerabilidade hídrica, seja superficial ou subterrânea, exige a integração de dados hidrogeológicos e geotécnicos. A elaboração de mapas potenciométricos e de profundidade do nível da água (NE) é um exemplo dessa integração. Tais mapas resultam da combinação de informações de sondagens geotécnicas, como o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), regulamentado pela ABNT NBR 6484/2001, com medições do nível estático. O SPT registra o número de golpes necessários para a penetração do amostrador a cada 15 cm, fornecendo dados sobre a resistência e a capacidade de carga do solo (YAZIGI, 2021; FONSECA, 2024). Já o nível estático representa a profundidade do lençol freático em poços sem bombeamento, sendo parâmetro fundamental para caracterizar as condições hidrogeológicas locais (BAHIA, 2017).

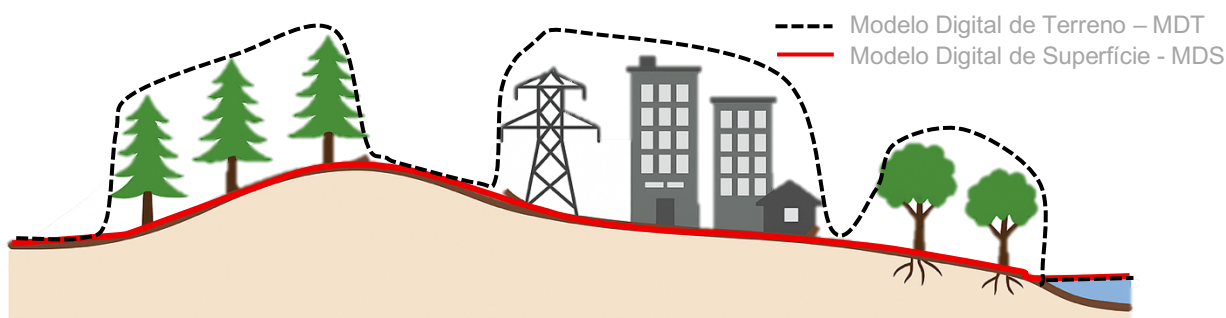
A utilização conjunta desses dados permite a construção de mapas que representam a variação espacial do nível da água subterrânea, os quais são essenciais para estudos de disponibilidade hídrica e para a gestão sustentável dos recursos, garantindo uma abordagem integrada entre águas superficiais e subterrâneas.

2.2.3. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é uma ferramenta fundamental para o estudo do meio físico, pois permite coletar informações da superfície terrestre sem contato direto, por meio de sensores instalados em satélites, aeronaves ou drones. Esses sensores detectam e registram a energia eletromagnética refletida, emitida ou retroespalhada pelos alvos (SLATER, 1980; FORMAGGIO, 2017; JENSEN; EPIPHANIO, 2009). Integrado ao geoprocessamento, via Sistemas de Informação Geográfica (SIG), viabiliza o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, gerando produtos cartográficos e análises espaciais aplicadas ao planejamento territorial e à gestão dos recursos hídricos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; OLIVEIRA, 2023).

Entre as principais aplicações destaca-se a **delimitação e caracterização de bacias hidrográficas**, cuja análise morfométrica e estrutural depende de **Modelos Digitais de Elevação (MDE)**, representações numéricas da altitude e da superfície do terreno (SOBRINHO et al., 2010; LOPES; RAMOS; LEAL, 2018; OLIVEIRA et al., 2010). Os MDE (fig. 08) subdividem-se em **Modelo Digital de Terreno (MDT)** — que representa o relevo do solo sem vegetação e edificações — e **Modelo Digital de Superfície (MDS)** — que inclui elementos naturais e antrópicos. A escolha do modelo depende do objetivo: análises hidrológicas e definição de divisores de drenagem usualmente demandam **MDT**, enquanto estudos de cobertura/uso da terra e dinâmica urbana se beneficiam de **MDS**.

Figura 8 - Representação de MDE.



Fonte: Baseado em GUTH et al, (2021).

Diversos MDEs estão disponíveis, variando em resolução, acurácia e método de aquisição. Entre os mais utilizados estão: o **SRTM** (*Shuttle Radar Topography Mission*), que fornece cobertura global com resolução de 30 m; o **ALOS Palsar** (*Advanced Land Observing Satellite Phase Array L-band Synthetic Aperture Radar*), com radar em Banda L e maior capacidade de penetração em áreas florestadas; o **COP-30** (*Copernicus GLO-30m*), derivado do *WorldDEM* e com ampla aplicação em modelagem topográfica; o **NASADEM** (NASA Digital Elevation Model), refinamento do SRTM com fusão de dados ópticos e radar; o **FABDEM** (*Forest and Buildings removed Copernicus DEM*), aprimora o DEM Copernicus GLO-30 ao remover distorções causadas por vegetação e edificações, aproximando-se de um modelo de terreno real (*bare-earth*); e o **ANADEM** (Modelo Digital de Terreno da ANA), desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ajustado à realidade hidrográfica brasileira (SOBRINHO et al., 2010; HAWKER et al., 2022). A seleção do produto é decisiva, pois resolução, tipo de modelo (MDS/MDT) e metodologia de processamento impactam diretamente a precisão altimétrica e planimétrica.

Para sintetizar essas diferenças e apoiar a seleção adequada em estudos ambientais e de recursos hídricos, a quadro 5 apresenta um panorama comparativo das principais características, propriedades técnicas e aplicações dos MDEs mais utilizados.

Quadro 5 - Panorama das características dos Modelos Digitais de Elevação.

Modelos Digitais de Elevação						
MDE	SRTM	ALOS Palsar	COP - 30	FABDEM	NASADEM	ANADEM
Propriedade	Resolução de 30 metros	Polarização HH, resolução espacial de 30 metros reamostrados para 12,5 metros	Resolução de 30 metros	Resolução de 30 metros	Resolução de 30 metros	Resolução de 30 metros
Caracterização	Representação da superfície da Terra com inclusão de elementos como vegetação e infraestrutura	imagens tridimensionais direcionadas aos mapeamentos de uso e cobertura das terras	Representa a superfície da Terra, incluindo edifícios, infraestrutura e vegetação	Remove distorções na altura de edifícios e árvores do MDE COP - 30	Modelo refinado do SRTM, com remoção de viés de vegetação	Com remoção de viés causado pela vegetação no modelo do MDE COP - 30
Método de Aquisição	Radar Banda C	Radar Banda L (PALSAR - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)	Reprocessamento do WorldDEM (Banda X) com dados ópticos	Correção sistemática do COP-30 utilizando inteligência artificial e dados de referência	Reprocessamento do SRTM com fusão de dados ópticos e radar	Baseado no COPDEM GLO-30, dados GEDI (LiDAR), Landsat-8, Sentinel-2, índices espectrais (EVI, MSAVI, NDMI) e algoritmo TreeBoost em Google Earth Engine
Acurácia Vertical	< 16 m (RMSE global)	~10 m (varia conforme densidade da vegetação e relevo)	7.98 m (RMSE)	4.96 m (RMSE)	6 m (média global RMSE)	validada com ICESat-2 e IBGE, valor típico citado: 7,59 m RMSE
Acurácia Horizontal	30 m	12,5 m	30 m	30 m	30 m	30 m
Data de registro	Registrada em 11 de fevereiro de 2000	Registrada em 21 de fevereiro de 2011	Publicada em 22 de abril de 2021	Publicada em 18 de janeiro de 2023	Ausente	Publicada em 27 de julho de 2018 (Publicada em 2022)
Período de aquisição	11 dias	2006–2011	2011-2015	2011–2015	2000 (dados originais do SRTM)	Dados contínuos ajustados a partir de 2000

Foco e Aplicações	Hidrologia, geomorfologia, planejamento territorial	Deteção de feições geomorfológicas e cobertura vegetal, estudos ambientais	Modelagem topográfica, estudos ambientais, uso e ocupação do solo	Modelagem hidrológica, delimitação de bacias hidrográficas, estudos de inundação	Estudos ambientais, geociências, clima e risco	Gestão de recursos hídricos, delimitação de bacias e sub-bacias, planejamento hídrico
Particularidades Técnicas	Inclui elevações de árvores e construções, podendo superestimar cotas em áreas urbanizadas ou florestadas	Sensível à rugosidade da superfície e interferência da vegetação, mas possui boa penetração em áreas densas	Derivado de imagens ópticas e radar, apresenta interferência significativa de elementos antrópicos e naturais	Remove sistematicamente distorções do MDE COP-30 associadas a construções e vegetação, aproximando-se de um modelo de terreno real (bare-earth)	Reduz viés da vegetação e melhora elevações globais	Integração de índices espectrais, aprendizado de máquina (TreeBoost), uso de GEDI/ICESat-2 para validação, maior acurácia em áreas tropicais densamente vegetadas como a Amazônia
Download	https://earthexplorer.usgs.gov/	https://search.asf.alaska.edu/#/	https://portal.open.topography.org/dataset/Metadata?otCollectionID=OT.032021.4326.1	https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn	pode ser encontrado via Earthdata/NASA	https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/93664c15-1ff8-4e87-bbed-2bb69d321309
Referência	Farr et al, 2007 NASA / JPL SRTM documentation	PALSAR, 2015 JAPAN (2015) ASF DAAC – Alaska Satellite Facility Rosenqvist et al. (2007) (base física do PALSAR)	Hawker et al, 2022 ESA Copernicus DEM documentation	Hawker et al, 2022	Crippen et al, 2016 NASA JPL documentation	ANA (2025) – Nota Técnica ANADEM GEDI Mission Documentation (NASA)

Fonte: A autora.

Além dos dados orbitais, drones consolidam-se como plataformas de sensoriamento remoto de alta precisão e baixo custo operacional, possibilitando mapeamentos detalhados em áreas de difícil acesso — como bacias amazônicas — com sensores ópticos, LiDAR e receptores GNSS (OLIVEIRA et al., 2020; VIANA et al., 2018; FORCE, 2023).

A consistência dos dados espaciais depende da base geodésica. Conceitos como elipsoide de referência, datum geodésico, superfície topográfica e geoidal influenciam diretamente coordenadas, altitudes e ortorretificação de imagens e MDE. No Brasil, o sistema oficial é o SIRGAS 2000 (elipsoide GRS80). Altitudes obtidas por GNSS (elipsoidais) devem ser convertidas para altitudes ortométricas (relacionadas ao geóide), adequadas a análises hidrológicas e topográficas; essa conversão utiliza a ondulação geoidal (**N**). O modelo hgeoHNOR2020 (IBGE) provê os parâmetros para padronização vertical no Sistema Geodésico Brasileiro, compatível com o Datum Vertical (REALT-2018).

o processamento, os dados passam por correções radiométricas e geométricas, incluindo ortorretificação e transformações de coordenadas, exigindo harmonização entre WGS84, UTM e SIRGAS2000, bem como conversão de modelos verticais (ex.: EGM96 → hgeoHNOR2020). Essa padronização assegura fidelidade cartográfica e confiabilidade das análises.

Nesse contexto, a caracterização planialtimétrica das bacias hidrográficas constitui etapa essencial para compreender como a variação do relevo influencia a dinâmica da drenagem, a suscetibilidade a inundações, os processos erosivos e a própria ocupação do solo. O sensoriamento remoto, articulado a Modelos Digitais de Elevação (MDEs), bases geodésicas consistentes e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), oferece um arcabouço indispensável para o estudo, a compreensão e a delimitação de bacias hidrográficas — especialmente na Amazônia, onde a complexidade ambiental e a pressão antrópica exigem soluções robustas para a gestão sustentável dos recursos hídricos e territoriais.

2.3. GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

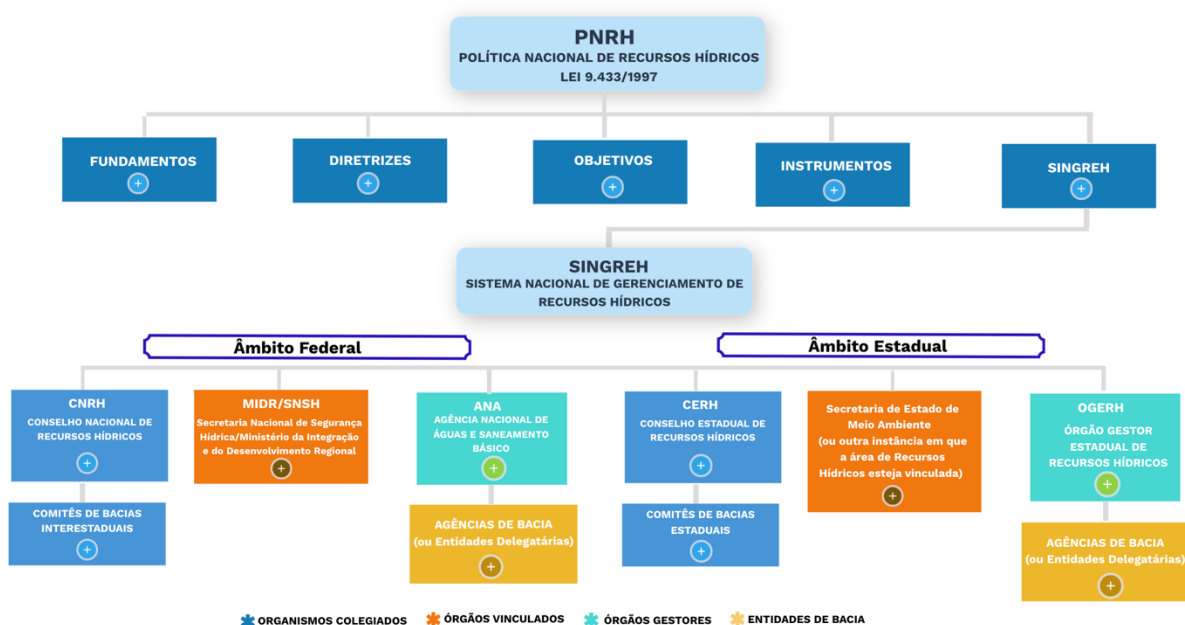
A Lei nº 9.433/1997, conhecida como a "Lei das Águas", estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), visando a gestão integrada e descentralizada dos recursos hídricos no Brasil. Posteriormente, a Lei nº 9.984/2000 atribuiu à Agência

Nacional de Águas (ANA) a responsabilidade pela implementação do SINGREH (fig. 09), fortalecendo a regulação e o planejamento estratégico da gestão hídrica no país.

O PNRH promove a gestão participativa das bacias hidrográficas, influenciando diretamente legislações estaduais e ampliando o envolvimento de diferentes setores na administração dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). No entanto, um dos principais desafios do Estado é estabelecer uma governança eficaz que viabilize investimentos contínuos na preservação dos recursos hídricos e na universalização do acesso à água. Para isso, é fundamental integrar a sociedade no processo de cogestão, garantindo maior transparência e eficiência na tomada de decisões (MORAIS; FADUL; CERQUEIRA, 2018).

Nesse contexto, baseado na Agência Nacional de Águas (2023) o SINGREH estrutura-se em diferentes níveis de articulação. No âmbito federal, conta com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, por meio da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), responsável por definir diretrizes e deliberar sobre questões estratégicas, e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que exerce papel central na regulação e fiscalização dos recursos de domínio da União.

Figura 9 - Arranjo institucional das Política Nacional de Recursos Hídricos.



Fonte: ANA (2023).

Nos estados, a gestão ocorre por meio dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), dos órgãos gestores estaduais e das secretarias de meio ambiente, que adequam a política nacional às realidades regionais e locais. Já no nível descentralizado e participativo, destacam-se os comitês de bacia hidrográfica, que podem ser interestaduais ou estaduais, responsáveis por articular poder público, usuários e sociedade civil. Para apoiar tecnicamente esses colegiados, existem as agências de bacia hidrográfica (ou entidades delegatárias), que funcionam como secretarias executivas, garantindo suporte técnico e administrativo.

Assim, a PNRH e o SINGREH formam um arranjo institucional que busca assegurar uma gestão descentralizada, participativa e integrada das águas, conciliando interesses e promovendo o uso múltiplo e sustentável desse recurso essencial à vida e ao desenvolvimento socioeconômico do país.

No nível das bacias, a Agência de Bacias Hidrográficas opera como entidade executiva, de caráter privado e sem fins lucrativos. Complementarmente, os órgãos estaduais e municipais contribuem com competências ligadas à gestão das águas. Essa estrutura reflete os princípios da descentralização, integração e participação social que regem a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Este modelo de governança busca garantir a descentralização e a participação social, envolvendo diferentes níveis de governo e a sociedade civil (ANA, 2023b). Sendo os instrumentos de gestão da ANA são (ANA, 2023): (1) cobrança pelo uso, (2) outorga dos direitos de uso, (3) plano de recursos hídricos da bacia, (4) classe de enquadramento do corpo d'água e (5) sistema de informações.

Para o Apoio à gestão, a ANA desenvolve ações para a implementação de (I) Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos prevista na Lei das Águas; (II) Agenda de Ações no Tema previsto no Programa Nacional de águas Subterrâneas (PNAS-PNRH); (III) Capacitação técnica e de conscientização em Recursos Hídricos para a sociedade brasileira e; (IV) Apoio a Comitê de Bacias Hidrográficas para fortalecer a implementação do PNRH (ANA, 2018).

2.3.1. Política Estadual de Recursos Hídricos em Roraima

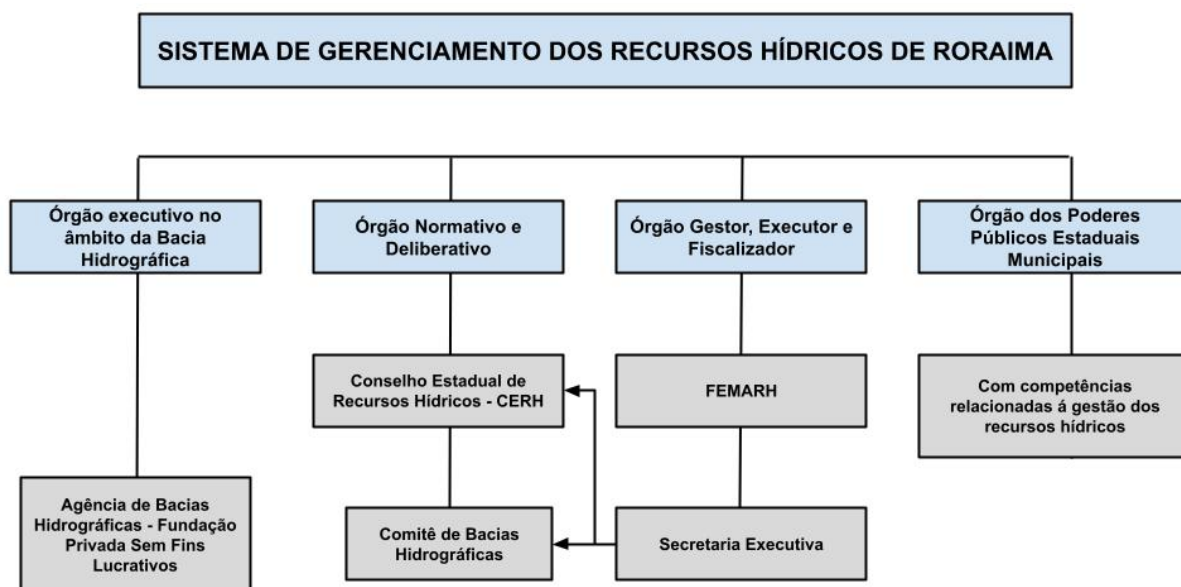
Na Região Norte, a gestão hídrica enfrenta complexidades devido à vasta extensão territorial, diversidade climática e particularidades locais (DIAS; SILVA; GHEYI, 2011), a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) em Roraima foi

instituída pela Lei nº 547, de 23 de junho de 2006, sendo último estado do norte a ser contemplado (Roraima em 2006; Acre em 2003; Amapá em 2002; Rondônia em 2002; Tocantins em 2002; Amazonas em 2001; Pará em 2001), criando o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH).

Os objetivos do SEGRH incluem assegurar a disponibilidade de água para as atuais e futuras gerações, promover o uso racional e integrado dos recursos hídricos e proteger as bacias hidrográficas contra ações prejudiciais. Baseado em ANA (2018) o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH) inclui o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Art. 41 da Lei nº 547, de 2006), o órgão gestor dos recursos hídricos, Comitês e Agências de Bacias, e órgãos públicos estaduais e municipais para com a gestão dos recursos hídricos (fig. 10).

Em Roraima, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) foi criado pela Lei nº 547/2006, com atribuição normativa e deliberativa, responsável por planejar, direcionar e acompanhar a gestão dos recursos hídricos no estado (fig. 10). Posteriormente, a Lei Estadual nº 815/2011 instituiu a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), órgão gestor das políticas ambientais e hídricas, com foco na conservação ambiental, no desenvolvimento sustentável e na promoção da qualidade de vida. No âmbito estadual, a FEMARH atua como órgão gestor, executor e fiscalizador, enquanto o CERH exerce sua função normativa e deliberativa, apoiado por sua Secretaria Executiva (ANA, 2018; DIAS, 2020).

Figura 10 - Organograma do Sistema de Gerenciamento dos recursos hídricos de Roraima.



Fonte: Modificado de ANA (2018).

Baseado em ANA (2018) e DIAS (2020) embora não existam comitês de bacias hidrográficas (CBHs) em Roraima, a estrutura legal evidencia a intenção de articular diferentes órgãos e instâncias, assegurando a participação social no processo de gestão hídrica e na prática é utilizado as Unidades de Gestão dos Recursos hídricos no estado de Roraima,

Para execução do PERH utiliza-se os **instrumentos** previstos de gestão de **RH em Roraima** são: (I) plano de recursos hídricos, (II) enquadramento dos corpos de água em classes, (III) outorga dos direitos de uso, (IV) cobrança pelo uso, (V) compensação aos municípios (vetado pela Lei 14.026/2020), (VI) sistema estadual de informações sobre recursos hídricos e (VII) capacitação e educação ambiental (ANA, 2018). Dessa forma, o PERH apresenta dois instrumentos adicionais em relação àqueles previstos no PNRH, com suas respectivas funcionalidades no quadro abaixo.

Quadro 6 - Instrumentos previstos de gestão de RH Nacional e em Roraima.

Instrumentos RH - ANA	Instrumentos RH – Roraima	Função
	Compensação Aos Municípios	Garante a transferência de recursos financeiros aos municípios impactados por empreendimentos que utilizam os recursos hídricos, promovendo justiça fiscal.
	Capacitação e Educação ambiental.	Promove a formação técnica, a conscientização pública e o engajamento social para a gestão participativa e sustentável da água.
Plano De Recursos Hídricos		Tem como objetivo realizar o macrozoneamento do estado, integrando-o ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e servindo de base para a definição de políticas públicas de gestão das águas
Classe De Enquadramento Do Corpo D'água		Define a qualidade da água desejada para os corpos hídricos, compatível com os usos preponderantes.
Outorga Dos Direitos De Uso dos Recursos Hídricos		Regula o acesso à água, controlando sua quantidade e qualidade, prevenindo conflitos e promovendo o uso racional e sustentável.
Cobrança Pelo Uso		Incentiva o uso eficiente da água e gera recursos financeiros para custear ações de gestão e proteção dos corpos hídricos.
Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos		Reúne, organiza e disponibiliza dados técnicos e gerenciais sobre os recursos hídricos para subsidiar o planejamento e a tomada de decisão

Fonte: Baseado em ANA (2023); ANA (2018) e DIAS (2020).

Em Roraima, os corpos hídricos seguem a Resolução CONAMA nº 357/2005 e, quando não enquadrados, adotam os padrões da Classe 2, conforme a Resolução CNRH nº 91/2008, aplicados para fins de outorga, cobrança e licenciamento.

A outorga de uso da água, prevista na Lei nº 547/2006 e regulamentada pelo Decreto nº 8.123-E/2007, autoriza captações e lançamentos de efluentes nas modalidades prévia, com vazão fixa e sazonal. Já a cobrança pelo uso, embora

prevista em lei, ainda não foi regulamentada no estado. Complementando a gestão, o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRH), regulamentado pelo Decreto nº 8.121-E/2007, organiza e disponibiliza dados para a sociedade (RORAIMA, 2006; RORAIMA, 2007).

O sistema de informações sobre recursos hídricos, regulamentado desde 2007 pelo Decreto nº 8.121-E, não foi efetivamente implementado, mas o Sistema de Informação Geográfica e Gestão Ambiental de Roraima (SIGGARR) e o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) oferecem uma base para aprimorar a gestão hídrica local. E embora o plano estadual de recursos hídricos, concluído em 2018, tenha sido um avanço para o macrozoneamento do estado, Roraima ainda carece de legislação específica sobre uso e ocupação do solo (DIAS, 2020).

2.4. SISTEMA FLUVIAL, SUBTERRÂNEO DE BOA VISTA E BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CARRAPATO

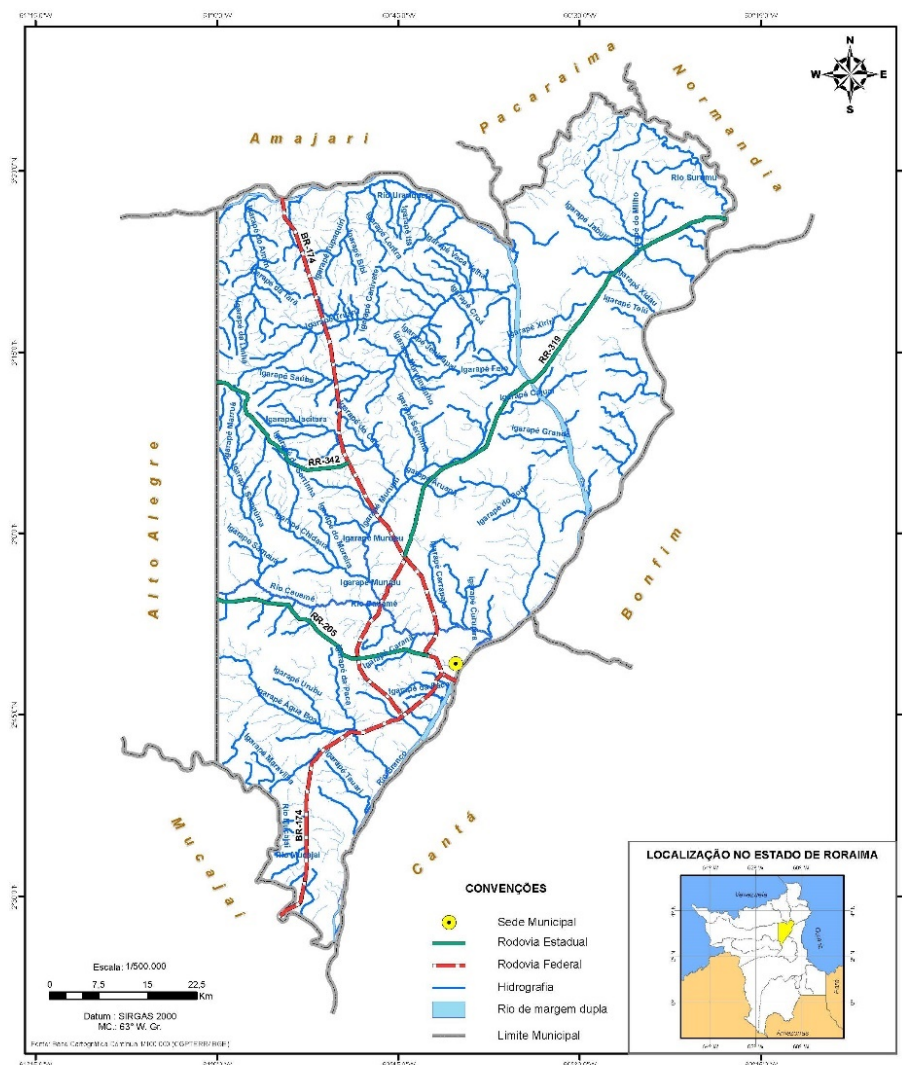
O sistema fluvial de Boa Vista, capital de Roraima, é dominado pelo rio Branco, que atravessa a cidade e desempenha um papel central na geografia, economia e ecologia da região (MORALES; FERKO, 2022). Esse rio se forma pela confluência dos rios Tacutu e Uraricoera (CARVALHO; MORAIS, 2014) e percorre aproximadamente 1.300 km, recebendo, à direita, os rios Cauamé, Mucajaí, Catrimani e Xereuini, e à esquerda, os rios Quitauau, Anauá e Baruana (NASCIMENTO; PACHECO, 2021), com drenagem vastas áreas de floresta tropical e savana (IBGE, 2022). O rio Branco segue seu curso até desaguar no rio Negro, na fronteira com o estado do Amazonas, a sul (SALGADO, 2021).

Entre os principais afluentes do rio Branco em Boa Vista, destaca-se o rio Cauamé, que recebe contribuições de igarapés como o Murupú, o Au-au e o Caranã (NASCIMENTO; PACHECO, 2021). Além desses, a cidade também é cortada por outros igarapés, como o Mirandinha e o Caxangá, fundamentais para a drenagem urbana e o abastecimento de água (SILVA, 2022).

No entanto, a preservação desses recursos hídricos enfrenta desafios crescentes devido ao avanço urbano, à expansão agrícola e às práticas inadequadas de manejo ambiental (TUCCI, 2008; LIMA, 2023). Para Guerra e Cunha (2015), Nobre (2022) e Félix (2021) problemas como assoreamento, poluição por resíduos e

ocupações irregulares nas margens afetam a qualidade e a funcionalidade dos rios e igarapés, cenário igualmente observado no igarapé do Carrapato.

Figura 11 - Mapa Hidrográfico de Boa Vista - Roraima.



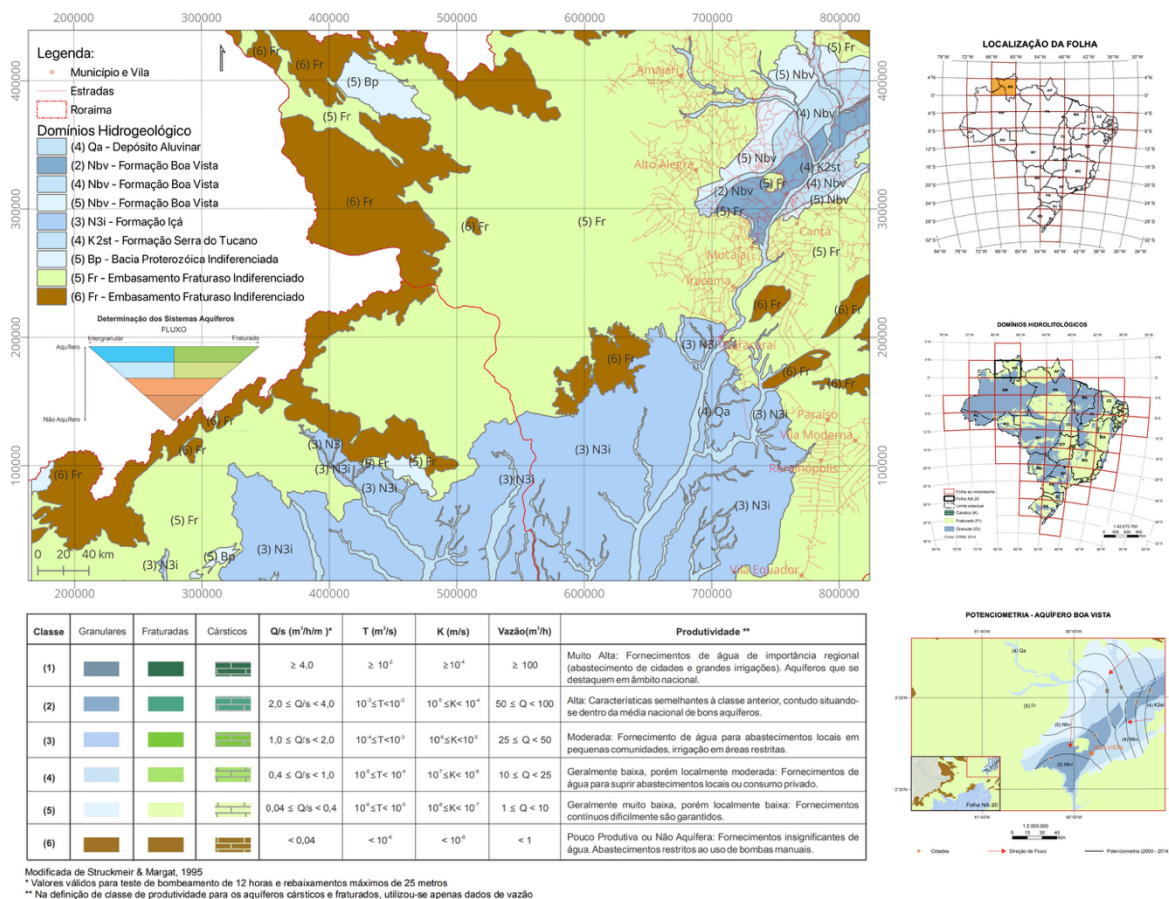
Fonte: Modificado de Governo do Estado de Roraima (2015).

O Sistema Aquífero Boa Vista (SABV), conforme o Serviço Geológico do Brasil (2002), é um aquífero misto, livre a semiconfinado, de tipo intergranular, ocupando 14.000 km². Ele é constituído pelas Formações Apoteri (Jurássico), Serra do Tucano (Cretáceo), Boa Vista (Terciário), Areias Brancas (Quaternário) e depósitos coluvionares e aluvionares (Quaternário).

Baseado em Vaz et al (2007), a Formação Apoteri é composta principalmente por basaltos, enquanto a Formação Tucano consiste em arenitos médios a grossos, com seixos que gradam para o topo em arenitos com estratificação cruzada e intercalações de siltitos. A Formação Boa Vista, que é o

principal reservatório, inclui sedimentos argilosos, siltosos e arenosos com espessura de 15 a 120 metros (Reis et al, 2003; Vaz et al, 2007), ocorrendo por quase toda a extensão do sistema.

Figura 12 - Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) em Roraima.



Fonte: Modificado de CPRM (2014).

Devido à sua continuidade lateral e vertical, este é o principal reservatório do SABV na região do município de Boa Vista. A Formação Areias Brancas possui sedimentos arenosos e cimento argiloso, com baixa reserva hídrica devido à sua distribuição esparsa (Wankler; Evangelista; Sander, 2012), caracterizando assim o Aquífero Poroso Boa Vista - ABV.

A partir de dados da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) do Serviço Geológico do Brasil (SGB), Evangelista e Wankler (2008) informam que o aquífero Boa Vista tem uma transmissividade entre 1,3 e 3 x 10⁻² m²/s e permeabilidade de 6,7 a 8 x 10⁻⁴ m/s, com uma espessura média de 40 metros na área urbana. A zona de recarga cobre toda a sua extensão livre, não impermeabilizada por infraestrutura urbana.

Segundo Santos (2020), o Aquífero Boa Vista, em Boa Vista-RR, é um recurso estratégico para o abastecimento de água, apresentando caráter poroso, contínuo e regional (EVANGELISTA; WANKLER, 2008; SANTOS, 2020; RODRIGUES, 2019), ainda que de espessura limitada, baseado em CPRM (2008) e Santos (2020) com diferentes pressões hidrostáticas acarretando diferentes direções de fluxo.

Santos (2020) destaca que sua produtividade varia de baixa a moderada conforme a profundidade e a relação com o embasamento cristalino, sendo as águas pouco mineralizadas, com condutividade elétrica média de 58,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH próximo de 6,0, o que aumenta a vulnerabilidade à contaminação microbiológica. CPRM (2008) já havia apontado essa susceptibilidade devido à pouca profundidade do aquífero, enquanto Evangelista e Wankler (2008) e Rodrigues (2019) reforçam sua relevância para o abastecimento urbano.

A bacia hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC), localizada em área rural e em parte da zona de expansão urbana de Boa Vista, possui papel estratégico no desenvolvimento regional, sobretudo pela sua acessibilidade e pela influência de investimentos voltados ao agronegócio, à energia e à infraestrutura (VIEIRA, 2022).

Apesar de sua importância, a região enfrenta diversos desafios relacionados ao uso intensivo dos recursos hídricos. Entre eles destacam-se as práticas agrícolas, a aquicultura, a pecuária e as obras hidráulicas (ROLIM, 2021), além dos impactos crescentes decorrentes da urbanização (FALCÃO; OLIVEIRA, 2021).

Baseado em Rodrigues et al (2019), a criação de zonas de vulnerabilidade do aquífero e áreas de captação pode ajudar a equilibrar os interesses conflitantes na Bacia do Igarapé do Carrapato. A vulnerabilidade hídrica na bacia varia de média a alta, com base nas propriedades físicas, impactos antrópicos e cobertura vegetal, sendo maior em Boa Vista, devido ao confinamento e à proximidade do lençol freático (GUIGUER; KOHNKE, 2002; CECH, 2013; RODRIGUES et al, 2019). A BHIC possui alta vulnerabilidade, associada à alta taxa de infiltração (SANCHES, 2017).

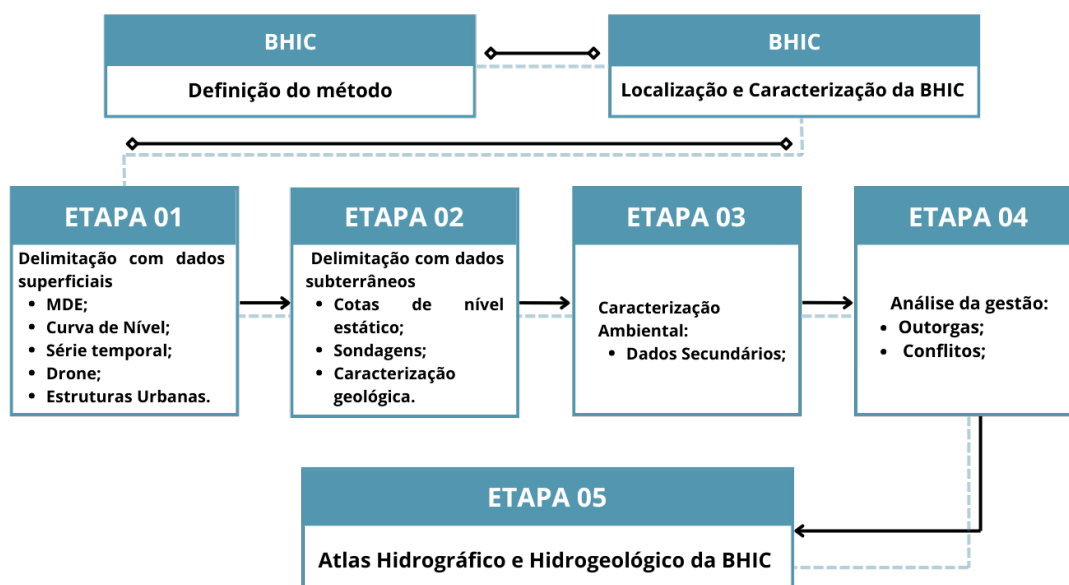
3. METODOLOGIA

O presente Projeto de Qualificação, previsto pela Resolução ProfÁgua nº 004/2017, resultará em uma dissertação no formato monografia conforme a Resolução nº 133/2025-CEPE da Universidade Federal de Roraima. Esta pesquisa aplicará a metodologia de **proposta de delimitação** a partir do mapeamento remoto em escala espacial 1:100.000 e temporal utilizando zona associativa (JOLY, 2005), na área de estudo situada no município de Boa Vista, Roraima, na Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) e ao mapeamento dos fluxos hídricos superficiais e subterrâneos, por meio de sensoriamento remoto, dados geoespaciais, informações planialtimétricas, levantamentos de campo e imagens de drones e satélites.

Serão testados diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDE) para avaliar sua eficiência na delimitação automática da bacia, cujos resultados subsidiarão a elaboração de um manual Hidrográfico atualizado. Concomitante, incorporados dados hidrogeológicos de bancos públicos (SIGAA, SIGGARR/FEMARH) e registros de sondagens, visando à produção de um manual Hidrogeológico. O processamento e cruzamento dessas informações possibilitarão o desenvolvimento de estratégias de gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos locais.

O desenvolvimento metodológico será estruturado em cinco módulos operacionais, abrangendo desde a delimitação topográfica até a análise da gestão hídrica e a elaboração do produto da pesquisa.

Figura 13 - Organograma metodológico para realização da pesquisa.



Fonte: A autora.

Baseado em Barbosa et al., (2021); Silva et al., (2019) e Santos et al., (2020) a escolha de uma abordagem multiescalar e multitemporal justifica-se pela dinâmica hidrogeomorfológica do **Lavrado de Roraima** — maior savana amazônica do país — , onde a combinação de **relevo plano, solos de baixa drenagem e elevação sazonal do lençol freático** favorece a formação de **áreas úmidas temporárias** durante a estação chuvosa. Esse comportamento altera a conectividade hídrica, desloca limites funcionais de sub-bacias e condiciona o escoamento superficial e subsuperficial, exigindo que a delimitação e o diagnóstico da BHIC considerem **MDEs e camadas sazonais de água** derivadas de sensoriamento remoto. Assim, a metodologia proposta responde diretamente a essa realidade hidrológica variável, reforçando a necessidade de integrar dados topográficos, espectrais e de campo ao longo do ciclo hidrológico.

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

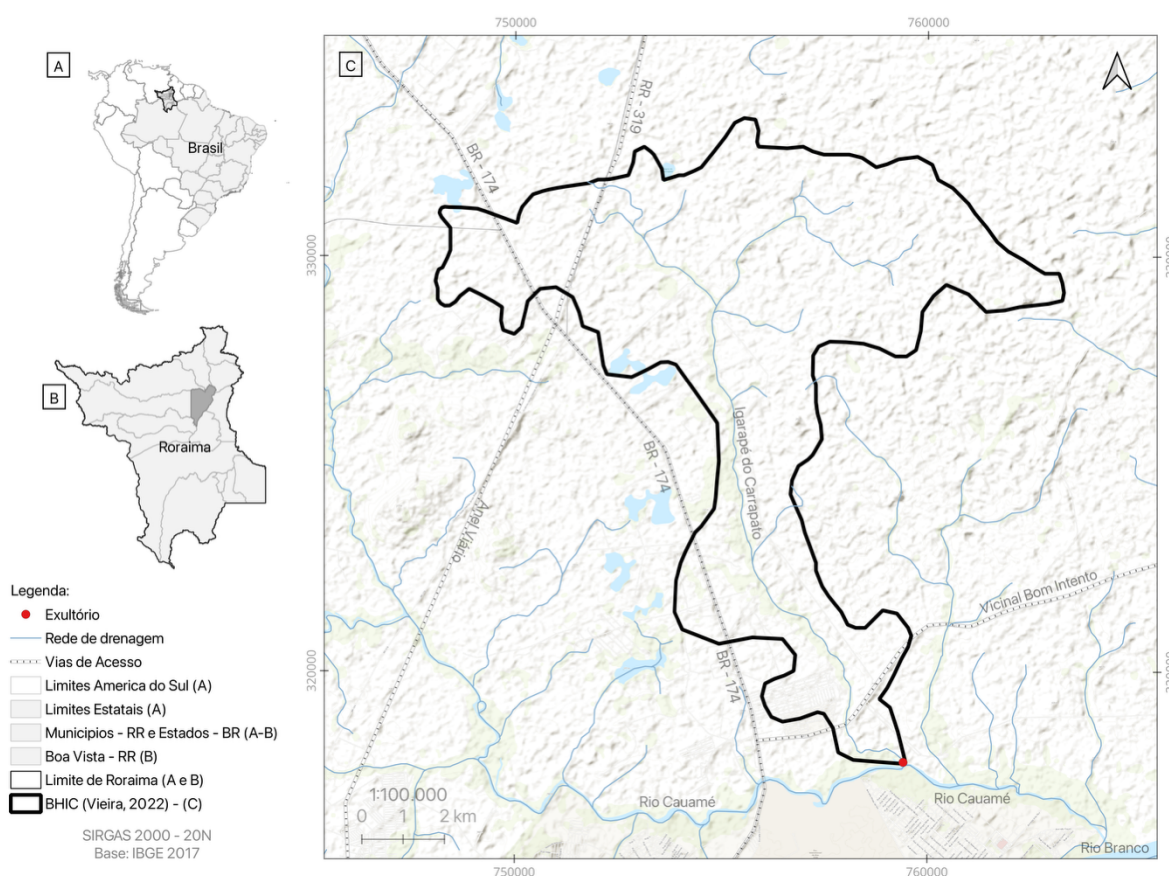
A Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) situa-se na zona norte do município de Boa Vista (RR), entre as latitudes 2°52'23" – 3°01'58" N e longitudes 60°38'32" – 60°45'43" W, sendo tributária da margem esquerda do rio Cauamé (PESSÔA; SANDER, 2021). O acesso principal é pela BR-174, a cerca de 17 km do centro urbano, e a bacia abrange localidades rurais (Carrapato, Monte Cristo, Santa Fé e parte do Bom Intento) e trechos urbanizados (bairros Pedra Pintada e Said Salomão).

A BHIC integra hierarquicamente a Bacia do Rio Cauamé e, por sua vez, a Bacia do Rio Branco, apresentando área de drenagem aproximada de 95 km², com forte concentração de sistemas lacustres no setor norte, que correspondem a cerca de 54% da extensão inundável (PESSÔA; SANDER, 2021). A rede hidrográfica é pouco ramificada, de padrão alongado e dendrítico (SANDER et al., 2007)., e incorpora sistemas lacustres em áreas abertas e sistemas lacustres interconectados por igarapés, que favorecem a circulação e a renovação das águas, além de zonas de influência de buritizais, importantes para a manutenção da umidade e da conectividade ecológica (CARVALHO; CARVALHO, 2012a; 2015).

A Geomorfologicamente, a bacia está inserida na Unidade Depressão Boa Vista, caracterizada por relevo predominantemente plano e altitudes entre 90 e 120 m (DINIZ et al., 2014; FARIA et al., 2017). Segundo Reis Neto (2007) estudos regionais

indicam que essa unidade possui como substrato rochoso o Grupo Cauarane, cujas exposições mais contínuas se encontram no interflúvio entre as bacias dos rios Cauamé e Uraricoera e em morros isolados, como as serras Murupu, Taiano e Tabão, constituídas por granitóides, quartzitos e paragneisses. O preenchimento da Depressão Boa Vista ocorre pela Formação Boa Vista e ocorrências pontuais da Formação Apoteri, cujos poros saturados desenvolve-se o Aquífero Boa Vista (CPRM, 2014). Sobre este embasamento desenvolvem-se Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, solos de baixa drenagem vertical que, associados ao baixo gradiente topográfico, favorecem a saturação superficial em períodos de precipitação intensa (BARBOSA; XAUD; COSTA E SOUZA, 2004).

Figura 14 - Localização do Igarapé Carrapato: (a) Estado de Roraima no contexto nacional; (b) Município de Boa Vista em destaque no Estado de Roraima; (c) Delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato no município de Boa Vista.



Fonte: A autora.

A cobertura vegetal corresponde ao Lavrado, configurado como Savana Parque com florestas de galeria e veredas de buritis (*Mauritia flexuosa*) ao longo dos cursos d'água (BARBOSA, 2025; IBGE, 2022; IBGE, 2012; CARVALHO; CARVALHO,

2012a; 2015). O estrato arbóreo inclui espécies como *Curatella americana* (caimbé), *Himatanthus articulatus* (Vahl) Woodson (sucuba), *Byrsonima crassiflora* L. Kunth. (murici), *Antonia ovata* Pohl (timbó), *Roupala montana* Aubl. (cajueiro da serra), *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (pimenta de macaco) e *Bowdichia virgilioides* Kunth. (sucupira). Nas florestas de galeria as principais espécies são *Ocotea bracteosa* Mez. (louro), *Licania discolor* Pilg. (oiticica) e *Tabebuia uleana* (Kranz.) Gentry (ipê). O estrato herbáceo, por sua vez, é composto predominantemente por espécies da família Poaceae e Cyperaceae (BARBOSA et al, 2007).

O clima regional é tropical chuvoso (BARBOSA, 2025), com estação úmida entre abril e agosto e estação seca entre setembro e março (BARNI et al., 2022). Séries históricas plicadas a Boa Vista apontam precipitação média anual próxima de 1.612 ± 400 mm, com cerca de 50% do total concentrado entre maio e julho, e temperatura média anual em torno de 25 °C (BARBOSA et al., 1997; BARBOSA et al., 2007). Essa forte sazonalidade pluviométrica condiciona alternância entre períodos inundados e secos na paisagem, influenciando a dinâmica das áreas úmidas (BARBOSA, 2025; BARBOSA et al., 2024).

A combinação de relevo de baixo gradiente, solos de baixa permeabilidade e elevação sazonal do lençol freático favorece a formação de áreas úmidas temporárias e lagos sazonais no Lavrado (BARBOSA, 2025; BARBOSA et al., 2024), cujas extensões variam marcadamente entre cheia e seca (BARBOSA et al., 2021; SILVA et al., 2019). Estudos indicam que, na cheia, a área lacustre regional pode superar 800 km² e reduzir-se para cerca de 129 km² na estiagem, refletindo dinâmica espacial e temporal intensa (SANTOS et al., 2020).

A morfologia dos lagos do Lavrado é, em geral, circular a semicircular, associada a processos agradacionais e à variação altitudinal local; sua classificação em nascente, isolados ou conectados decorre da relação com cursos d'água perenes (BARBOSA et al., 2021; BARBOSA, 2025). Em muitos setores, lagos próximos compartilham o mesmo aquífero raso e, na estação chuvosa, interligam-se e passam a drenar em conjunto para um mesmo igarapé/vereda, compartilhando a função de nascente de um mesmo sistema de drenagem — evidência de lagos (e, por vezes, nascentes) compartilhados (MENESES; COSTA; COSTA, 2007).

Essa dinâmica lacustre altera funcionalmente a delimitação de bacias durante a cheia, ampliando a conectividade entre sub-bacias e criando zonas de transbordamento (BARBOSA, 2025), delimitações precisas exigem integração de

Modelos Digitais de Elevação (MDE) com camadas sazonais de cobertura hídrica derivadas de sensoriamento remoto (INPE, 2023; ANA, 2024). A caracterização da BHIC deve, portanto, incorporar análises multitemporais e multiescalares que considerem variações sazonais da água superficial para representar adequadamente divisores de água e fluxos preferenciais.

Do ponto de vista antrópico, a bacia abriga usos domésticos, comerciais e agrícolas, com aptidão para culturas anuais e permanentes, o que impõe pressões sobre recarga, qualidade da água e integridade das áreas alagáveis (PESSÔA et al., 2023). A proximidade de áreas urbanas e a expansão territorial elevam o risco de alteração da conectividade hídrica e demandam monitoramento contínuo, integração de dados hidrogeológicos e aplicação de métricas de conectividade para subsidiar ações de conservação, planejamento territorial e gestão sustentável dos recursos hídricos (INPE, 2023; ANA, 2024).

3.2. DELIMITAÇÃO DA BHIC

A delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) foi realizada por meio de uma abordagem integrada que combina técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento, análise planialtimétrica, interpolação espacial e à análise de imagens óticas provenientes de drones e satélites. O objetivo central é representar com precisão os limites topográficos e funcionais da bacia, considerando tanto os divisores superficiais quanto a dinâmica hidrogeológica subterrânea, em consonância com as dinâmicas sazonais características do Lavrado de Roraima.

A primeira etapa consistiu na definição do ponto de exutório da bacia, na coordenada 2°52'22.85"N - 60°39'59.11"O, localizado na margem esquerda do Rio Cauamé, conforme evidências de campo e imagens de alta resolução, a delimitação inicial foi referenciada a partir da proposta de Vieira (2022).

Para a delimitação automática, foram utilizados seis Modelos Digitais de Elevação (MDE): *Shuttle Radar Topography Mission* (**SRTM**); *Advanced Land Observing Satellite Phase Array L-band Synthetic Aperture Radar* (**ALOS Palsar**); Copernicus GLO-30m (**COP-30**); NASA Digital Elevation Model (**NASADEM**); *Forest And Buildings removed Copernicus DEM* (**FABDEM**); e Modelo Digital de Terreno da ANA (**ANADEM**) demonstrado no quadro 7.

Quadro 7 - Panorama das características dos Modelos Digitais de Elevação.

Modelos Digitais de Elevação						
MDE	SRTM	ALOS Palsar	COP - 30	FABDEM	NASADEM	ANADEM
Período de aquisição	11 dias	2006–2011	2011–2015	2011–2015	2000 (dados originais do SRTM)	Dados contínuos ajustados a partir de 2000
Download	https://earthexplorer.usgs.gov/	https://search.asf.alaska.edu/#/	https://portal.pentopography.org/dataset/Metadata?otCollectionID=OT.032021.4326.1	https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn	Earthdata/NASA	https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/93664c15-1ff8-4e87-bbed-2bb69d321309

Fonte: A autora.

Os dados foram processados no software QGIS 3.34.4, com aplicação das ferramentas *r.fill.dir* para correção imperfeições ajustando a direção do fluxo ao preencher depressões espúrias, em seguida utiliza a ferramenta *r.watershed* com o valor de 150 definido como limiar de detecção para cálculo de direção e acumulação de fluxo (propriedades hidrológicas e morfométricas das bacias), e após com a ferramenta *r.water.outlet* a delimitação da área de drenagem com base no exutório pré-definido. Em seguida os dados *raster* foram convertidos em vetores (polígonos), por meio da ferramenta *r.to.vect*, gerando os polígonos de delimitação da bacia e por meio da ferramenta *calculadora de atributos* analisou quantitativamente a delimitação final assim como as conformidades e não conformidades ao decorrer dos limites automáticos.

Para o refinamento da linha de bacia da BHIC, foram utilizados pontos de controle altimétrico obtidos junto ao Banco Geodésico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e ao Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF/INCRA). Utilizando pontos distribuídos em dois buffers concêntricos de 1 km (utilizando ao total 1095 pontos) e 5 km (utilizando ao total 2.836 pontos) ao redor da delimitação preliminar da bacia, com o objetivo de amostrar tanto o interior quanto as bordas da área de estudo, reduzindo vieses locais e ampliando a representatividade altimétrica.

A extração das altitudes dos modelos foi realizada por meio da ferramenta *OpenTopography DEM Downloader*, aplicada diretamente aos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) utilizados na etapa anterior de delimitação automática. Os dados foram padronizados para o referencial horizontal SIRGAS2000/UTM, garantindo compatibilidade espacial entre os pontos de controle e os modelos de terreno.

Como os vértices do SIGEF apresentam altitudes elipsoidais obtidas por GNSS (h), foi necessário convertê-las para altitudes ortométricas (H), compatíveis com o Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB (Conversão de Altitudes e Padronização Geodésica). Essa conversão foi realizada com base no modelo geoidal *hgeoHNOR2020* é resultado do reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais (REALT-2018), conferindo maior consistência às altitudes referidas às Redes de Referência de Nível (RRNN), conforme a equação:

$$H = h - N$$

Onde:

- H = altitude ortométrica (em metros);
- h = altitude elipsoidal GNSS (em metros);
- N = undulação geoidal (em metros), fornecida pelo *hgeoHNOR2020* para a coordenada do ponto.

Com os pontos convertidos para H , foi possível comparar diretamente os valores de cota extraídos dos MDEs com as altitudes reais dos pontos de controle. Para cada ponto i , calculou-se o erro altimétrico individual (Δ_i) entre a cota do modelo e a altitude de referência:

$$\Delta_i = \text{cota}_{MDe} - H_i$$

Onde:

- Δ_i = Erro altimétrico individual no ponto i
- cota_{MDe} = Valor de elevação extraído do MDE na coordenada do ponto i .
- H_i = altitude ortométrica no ponto i (em metros);

Em seguida, cada erro foi elevado ao quadrado para eliminar os sinais negativos e destacar discrepâncias mais acentuadas:

$$\Delta_i^2 = (\text{cota}_{MDe} - H_i)^2$$

Onde:

- Δ_i^2 = erro quadrático individual.
- cota_{MDe} = Valor de elevação extraído do MDE na coordenada do ponto i .
- H_i = altitude ortométrica no ponto i (em metros);

Esses valores foram organizados em planilha no Microsoft Excel (quadro 8), onde se aplicou a fórmula do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* – RMSE) para cada modelo:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}$$

Onde:

- n = número total de pontos de controle;
- Δ_i^2 = erro quadrático individual.

A análise permitiu identificar o(s) MDE(s) com menor RMSE, ou seja, aqueles que apresentaram maior precisão altimétrica em relação aos pontos de controle reais.

Quadro 8 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo do processamento do RMSE com o buffer de 5km.

Ponto	Coordenada	Altitude	MDE (FABDEM)	Δ_i	Δ_i^2	RMSE
1		80,84	79,74	1,10	1,21	17,63
...	...	...	...	...	...	
2.836	-60,63593; 2,85222	62,43	64,3	-1,87	3,50	

Fonte: A autora.

O modelo com melhor desempenho foi adotado como base para o refinamento da linha de bacia, especialmente nos trechos onde os erros indicaram maior incerteza altimétrica.

Em seguida, com o objetivo de verificar a influência da rodovia BR-174 como possível limite topográfico da bacia, foram utilizadas imagens aéreas de alta resolução capturadas em maio de 2025 com o drone *DJI Mini4 Pro*. As imagens foram fornecidas por Bruna Mendel Naissinger e processadas no *software OpenDroneMap*, resultando em ortomosaicos georreferenciados. A análise foi conduzida exclusivamente por meio dos ortomosaicos, sem realização de atividade de campo. Os dados foram utilizados para verificar a continuidade dos corpos hídricos e avaliar a coerência da delimitação automática da bacia nos trechos adjacentes à BR-174, considerando a possibilidade da infraestrutura viária atuar como divisor físico de escoamento superficial, indicando a partir da análise áreas com similares características.

Além da análise pontual realizada com os ortomosaicos, foram indicados pontos ao longo da bacia que apresentam estruturas com potencial influência na

delimitação da bacia como bueiros, pontes e interferências viárias. Esses pontos foram georreferenciados com base em informações complementares e utilizados como referência para identificar possíveis interferências na delimitação automática, especialmente em áreas onde a infraestrutura pode alterar o padrão natural de escoamento superficial.

Essas feições foram mapeadas e caracterizadas com atributos mínimos (tipo, coordenadas, largura, presença presumida de galerias ou bueiros), sendo utilizadas como apoio à análise qualitativa. Embora não se tenha realizado modelagem direta dessas interferências, sua presença foi considerada na interpretação dos limites e na avaliação da conectividade hídrica, com uma etiqueta de “potencial influência na delimitação” sem inferir impacto hidrológico quantitativo

Após, foi realizada uma análise da série histórica de imagens de satélite entre os anos de 2010 e 2024, abrangendo os períodos de cheia e seca, oriundas no *Google Earth*, com exceção do período chuvoso de 2021, 2023 e 2024 são oriundas do Sentinel – 2 e do período chuvoso de 2010 a 2011 utilizou-se *Landsat 4/5 TM C2 L2*, e do período chuvoso de 2012 a 2014 que utilizou-se imagens do *Landsat Collection 2 Level-2*, representando a sazonalidade do Lavrado. A delimitação sazonal foi ajustada com base em evidências de conectividade temporária entre lagos e canais. A comparação entre os limites foi realizada por métricas de similaridade e discordância, como área, perímetro e diferenças locais nos divisores, baseado nas conformidades e não conformidades da delimitação da bacia. O objetivo desta etapa é compreender as dinâmicas evolutivas da bacia e identificar alterações que possam impactar seu comportamento hidrológico para a delimitação.

Quadro 9 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo das imagens utilizadas na serie histórica.

Ano	Data de Chuvosa	Data de Seca	Ano	Data de Chuvosa	Data de Seca
2010	16/06/2010	12/2010	2018	08/2018	03/2019
2011	16/04/2011	12/2011	2019	04/2019	01/2020
2012	29/06/2012	01/2013	2020	07/2020	09/2020
2013	02/07/2013	12/2013	2021	20/04/2021	03/2022
2014	22/08/2014	10/2014	2022	06/2022	12/2022
2015	04/2015	02/2016	2023	23/08/2023	10/2023
2016	07/2016	03/2017	2024	09/04/2024	01/2025
2017	05/2017	12/2017			

Fonte: A autora.

Em seguida foi realizada a delimitação hidrogeológica subterrânea da BHIC, com foco na análise dos fluxos de águas subterrâneas e sua interação com os

recursos hídricos superficiais. Foram utilizados dados secundários de nível estático (NE), obtidos do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), e Sistema de Informações geográficas e gestão ambiental de Roraima (SIGGARR) da Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), além de informações provenientes de sondagens SPT executadas pela empresa R.E. CASTRO AVILA e o igarapé do carrapato utilizando o seu local como ponto de controle.

A profundidade real do nível da água nos poços foi calculada pela fórmula:

$$P.R = P.A - A.B.P$$

Onde:

- $P.R$ = profundidade real do poço
- $P.A$ = profundidade aparente
- $A.B.P$ = altura da boca do poço

A cota do nível estático foi obtida por:

$$C.N.E = C.T - P.R$$

Onde:

- $C.N.E$ = cota do nível estático
- $C.T$ = cota do terreno
- $P.R$ = profundidade real

Na ausência de dados precisos da boca do poço, foi adotado o valor padrão de 50 centímetros. A partir desses dados, foram geradas duas camadas raster: uma representando as cotas topográficas e outra referente às profundidades dos níveis estáticos, esses valores foram organizados em planilha no Microsoft Excel (quadro 10).

Quadro 10 - Planilha do Microsoft Excel com o demonstrativo organizacional para o processamento da análise hídrica.

Cotas de nível hídrico no período seco e chuvoso – SIGAAS e SIGGARR				
Ponto	Coordenada	Prof. Ap. (m)	Prof. Real (m)	CNE (m)
01	2,966166666700000 60,692222222200002	82,3799	0	82,3799
Sondagens SPT				
Ponto	Coordenada	C.T. (m)	Pr. (m)	CNE (m)
01	327454,788; 754826,451	73,369	1	72,369

...	...	...	...	...
25	327482,93; 748870,28	76,947	3,26	73, 687
Igarapé do Carrapato				
Ponto	Coordenada	C.T. (m)	Pr. (m)	CNE (m)
01	60.72746769,2.97280374	82,462	0	82,462

Fonte: A autora.

Para a interpolação espacial dos dados, foram aplicadas as técnicas de *Krigagem* e Interpolação por Inverso do Peso da Distância (IDW – *Inverse Distance Weighting*), gerando superfícies contínuas que expressam a distribuição espacial da cota do nível estático, a partir da profundidade real do poço gerou-se o mapa de profundidade das cotas de nível estático (NE), e utilizando os dados de cota do nível estático gerou-se o mapa potênciométrico.

Essa análise permitiu inferir zonas de recarga e descarga do Aquífero Boa Vista, além de caracterizar os fluxos subterrâneos e sua influência sobre os recursos hídricos superficiais da bacia. As superfícies interpoladas da cota do NE foram sobrepostas às delimitações sazonais da bacia, permitindo avaliar possíveis inversões de gradiente entre estações e zonas de vulnerabilidade hídrica.

Essa abordagem metodológica, ao integrar dados altimétricos, espectrais, hidrogeológicos e estruturais, oferece uma base robusta para o diagnóstico ambiental da BHIC e para a formulação de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos em regiões de elevada complexidade ambiental. Por fim, será realizado o cálculo da área da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC) por meio da ferramenta *Calculadora de Atributos* do software QGIS, permitindo uma análise quantitativa precisa da delimitação final.

3.3. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BHIC

A caracterização ambiental da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC), delimitada com base em critérios fisiográficos e hidrológicos por meio de análise de modelos digitais de elevação (MDE) e rede de drenagem extraída via SIG (QGIS), será conduzida a partir de revisão sistemática de literatura técnica, relatórios ambientais e dados secundários obtidos junto a instituições oficiais como IBGE, ANA, INPE e MapBiomas.

A avaliação abrangerá (i) o uso, ocupação do solo e tipo de cobertura vegetal, (ii) o estado de conservação da cobertura vegetal, e a (iii) distribuição espacial dos corpos hídricos.

A análise o uso, ocupação do solo e tipo de cobertura vegetal será realizada com base em imagens do sensor *Landsat 8 OLI*, com resolução espacial de 30 metros, processadas no ambiente SIG por meio do *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* no *software QGIS*. A classificação temática será conduzida utilizando técnicas de classificação supervisionada, com coleta de amostras de treinamento por interpretação visual e cruzamento com os dados do projeto MapBiomias, visando maior precisão na identificação das classes de uso.

Para auxiliar na discriminação das classes, serão extraídos os índices multiespectrais NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo), calculados a partir das bandas espectrais do Landsat 8, conforme as fórmulas abaixo:

As fórmulas utilizadas são:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

e

$$SAVI = (NIR - RED) / (NIR + RED + L) * (1 + L)$$

Onde:

- NIR= Banda do infravermelho próximo (Banda 5)
- RED= Banda do vermelho (Banda 4)
- L= Fator de correção do solo (usado 0,5)

Para análise das classes de uso previstas utilizou-se os dados do MapBiomias. Essa análise tem como objetivo identificar os remanescentes vegetais mais preservados, os mais vulneráveis e aqueles sob maior pressão antrópica. Para isso, serão utilizadas imagens dos sensores Landsat 8 OLI, já processadas e classificadas, integradas em ambiente SIG (QGIS).

A avaliação será feita por meio do cruzamento espacial entre os polígonos de vegetação nativa e diferentes fontes de dados ambientais. Serão consideradas séries históricas de desmatamento obtidas dos programas PRODES e DETER, desenvolvidos pelo INPE, que indicam áreas com perda de cobertura vegetal ao longo dos anos. Também serão analisados os registros de queimadas fornecidos pelo

BDQueimadas/INPE de 2016, 2018, 2020, 2022 e 2024, que apontam focos de calor e incêndios florestais em diferentes períodos.

A análise da distribuição dos corpos hídricos será realizada com base em imagens do sensor Landsat 8 OLI, processadas em ambiente SIG (QGIS). Para identificar áreas com presença de água, serão aplicados os índices espectrais NDWI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e MNDWI (Índice de Diferença Normalizada Modificado para Água), que realçam a resposta espectral da água em relação ao solo e à vegetação.

As fórmulas utilizadas são:

As fórmulas utilizadas são:

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

e

$$MNDWI = (GREEN - SWIR) / (GREEN + SWIR)$$

Onde:

- *GREEN* = Banda do verde (Banda 3)
- *NIR* = Banda do infravermelho próximo (Banda 5)
- *SWIR* = Banda do infravermelho de ondas curtas (Banda 6)

Essas etapas permitirão identificar, com maior precisão, as áreas de maior vulnerabilidade ambiental e a relação entre os corpos hídricos, a vegetação e as áreas impactadas por atividades antrópicas. Dessa forma, será possível subsidiar o planejamento e a adoção de medidas voltadas à conservação e ao uso sustentável dos recursos naturais da área de estudo.

3.4. ANÁLISE DA GESTÃO HÍDRICA E DO USO DOS RECURSOS

Esta etapa de estudo foi dedicada à análise da gestão dos recursos hídricos na BHIC, com enfoque na avaliação integrada dos usos múltiplos das águas superficiais e subterrâneas, assim como na efetividade das políticas públicas voltadas à governança da água na região.

A investigação incluirá o levantamento e análise das outorgas de direito de uso da água emitidas pelos órgãos competentes, a identificação de conflitos

potenciais entre usuários (agrícolas, urbanos, industriais, entre outros), e o mapeamento de lacunas que comprometam a efetividade da gestão hídrica.

Essa análise possibilitará o diagnóstico dos principais entraves à sustentabilidade hídrica da bacia, subsidiando a formulação de diretrizes técnicas e estratégicas voltadas ao aprimoramento da gestão integrada dos recursos hídricos, em conformidade com os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos e da gestão participativa e descentralizada.

3.5. ELABORAÇÃO DE PRODUTO

O produto técnico da pesquisa elaborado é o manual Hidrográfico e Hidrogeológico da BHIC, composto por mapas temáticos acompanhados de análises técnicas descritivas que sintetizam os resultados das etapas da proposta de delimitação, caracterização ambiental, análise hidrogeológica e avaliação da gestão hídrica. O manual será desenvolvido permitindo acesso remoto em formato digital interativo e em PDF para consulta offline.

Esse material constituirá um instrumento de apoio à tomada de decisão para gestores públicos, pesquisadores e demais atores envolvidos na governança dos recursos hídricos, oferecendo uma representação espacial e analítica da bacia hidrográfica, suas dinâmicas físicas, ecológicas e socioeconômicas. Além disso, apresentará a proposta consolidada de delimitação da BHIC, fundamentada nos critérios técnico-científicos adotados ao longo da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção apresenta os principais resultados obtidos a partir das etapas de delimitação, caracterização e análise da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC), com foco na integração dos aspectos físicos, ambientais, hidrogeológicos e de gestão dos recursos hídricos.

Inicialmente, será abordada a delimitação da bacia utilizando diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDE) de superfície, destacando as variações identificadas entre as metodologias e produtos aplicados (Seção 4.1). Em seguida, será apresentada a delimitação hidrogeológica da BHIC com base em dados de subsuperfície (Seção 4.2), permitindo uma visão integrada entre os fluxos hídricos superficiais e subterrâneos.

Posteriormente, será realizada a caracterização ambiental da bacia (Seção 4.3), contemplando aspectos físicos, ecológicos, uso do solo e elementos que influenciam na dinâmica hídrica local. Por fim, será discutida a análise da gestão hídrica e do uso dos recursos na BHIC (Seção 4.4), considerando as práticas atuais, conflitos de uso e desafios para a sustentabilidade da bacia.

Essa abordagem integrada visa fornecer uma compreensão ampla da dinâmica da BHIC, subsidiando o planejamento e a gestão eficiente dos seus recursos hídricos, com base em dados atualizados e multiescalares.

4.1. DELIMITAÇÃO DA BHIC

A identificação da foz do Igarapé do Carrapato constitui o ponto de partida essencial para a delimitação hidrográfica da bacia em estudo. A imagem abaixo (fig. 15) apresenta uma vista aérea da foz, na coordenada 2°52'22.85"N - 60°39'59.11"O, localizada no município de Boa Vista – RR, evidenciando o encontro do Igarapé Carrapato com o corpo hídrico principal da região, o Rio Cauamé. Este ponto foi utilizado como referência para a definição do exutório da bacia, etapa fundamental para a aplicação de técnicas de geoprocessamento voltadas à delimitação automática da área de drenagem.

A partir dessa localização, foi possível empregar Modelos Digitais de Elevação (MDE) e algoritmos hidrológicos em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), com o objetivo de mapear os limites superficiais da Bacia Hidrográfica

do Igarapé do Carrapato (BHIC). A escolha da foz como ponto exutório garante maior coerência hidrológica na análise e subsidia as etapas posteriores de caracterização hidrogeológica e gestão dos recursos hídricos.

Figura 15 - Vista aérea indicando com pin vermelho a foz do Igarapé do Carrapato, localizada no município de Boa Vista-RR. Essa imagem foi utilizada como referência inicial para a delimitação hidrográfica da bacia, evidenciando a confluência com o corpo hídrico principal.



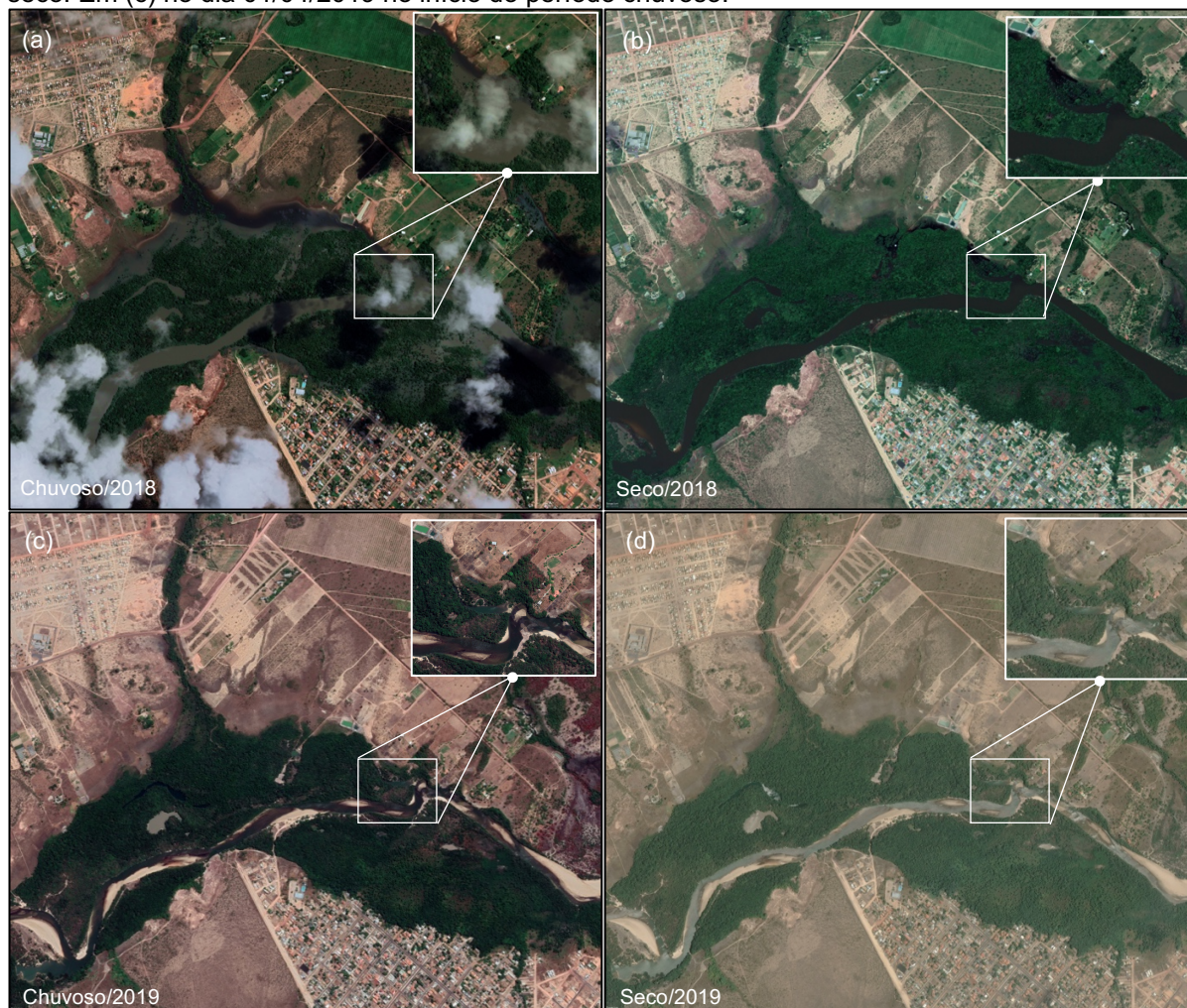
Fonte: Bruna, 2024.

As imagens da foz do Igarapé do Carrapato (17/09/2018, 13/07/2018, 03/03/2019 e 01/04/2019) evidenciam a forte sazonalidade hídrica típica do clima tropical chuvoso da região, marcado por estação chuvosa de abril a agosto e seca de setembro a março.

Nos meses correspondentes ao período chuvoso (julho e abril), observa-se maior expansão da lâmina d'água, alagamento de áreas marginais e vegetação mais densa e verde, em contraste com o período seco (setembro e março), no qual ocorre retração do curso d'água, exposição de margens e bancos de areia, além de redução da conectividade com áreas alagadas laterais.

A comparação temporal permite identificar não apenas as variações sazonais do regime hidrológico, mas também indícios de processos de assoreamento e instabilidade das margens, que condicionam a dinâmica fluvial e a evolução da foz, logo em período de chuva (abril–agosto) ocorre várzea alagada, água expandida, vegetação densa; e no período de seca (set–mar): leito estreito, margens expostas, bancos de areia e redução da conectividade.

Figura 16 - Vista de imagem de satélite da foz do Igarapé do Carrapato, localizada no município de Boa Vista-RR. Em (a) no dia 13/07/2018 meio do período chuvoso e (b) em 17/09/2018 no início do período seco. Em (c) no dia 01/04/2019 no início do período chuvoso.

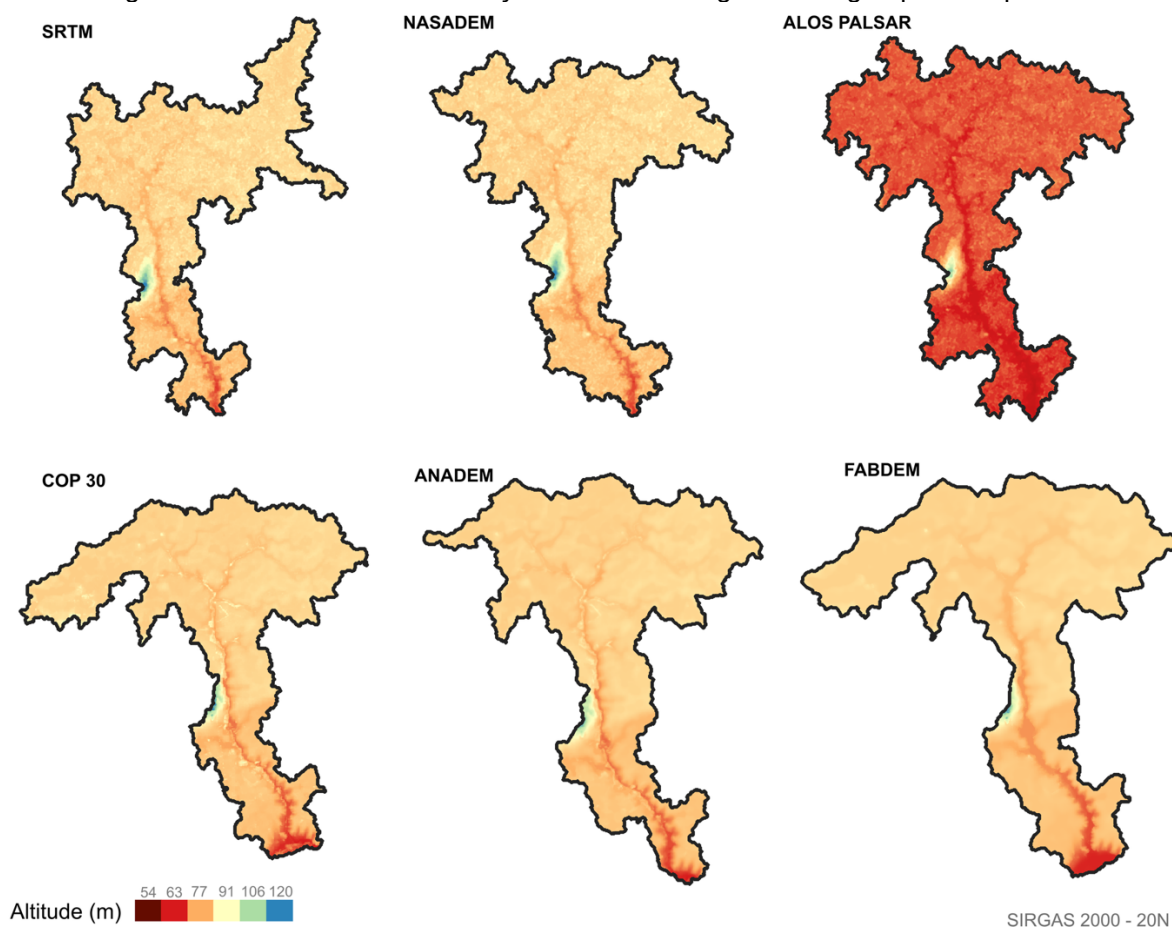


Fonte: (a,b) Maxar Technologies, 2018; (c) Maxar Technologies, 2019 e (d) CNES/Airbus, 2019.

A delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC) foi realizada utilizando seis modelos digitais de elevação amplamente aplicados em estudos hidrológicos: SRTM, NASADEM, ALOS PALSAR, COP 30, ANADEM e FABDEM. Os resultados obtidos foram confrontados com o produto de referência elaborado por Vieira, A.D.S. (2022), permitindo uma avaliação crítica da acurácia e aplicabilidade dos modelos testados. Embora o trabalho não explicita os parâmetros utilizados para a delimitação da bacia nem o Modelo Digital de Elevação (MDE) adotado, sua escolha como base comparativa se justifica por representar uma das últimas aplicações de extração automática de bacias na área de estudo.

A Figura 17 demonstra os contornos gerados neste trabalho com *Minimum size for each basin (number of cells)* de 150 dos MDEs. Com a variação geométrica conforme o modelo de referência.

Figura 17 - Contornos de delimitação da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato.

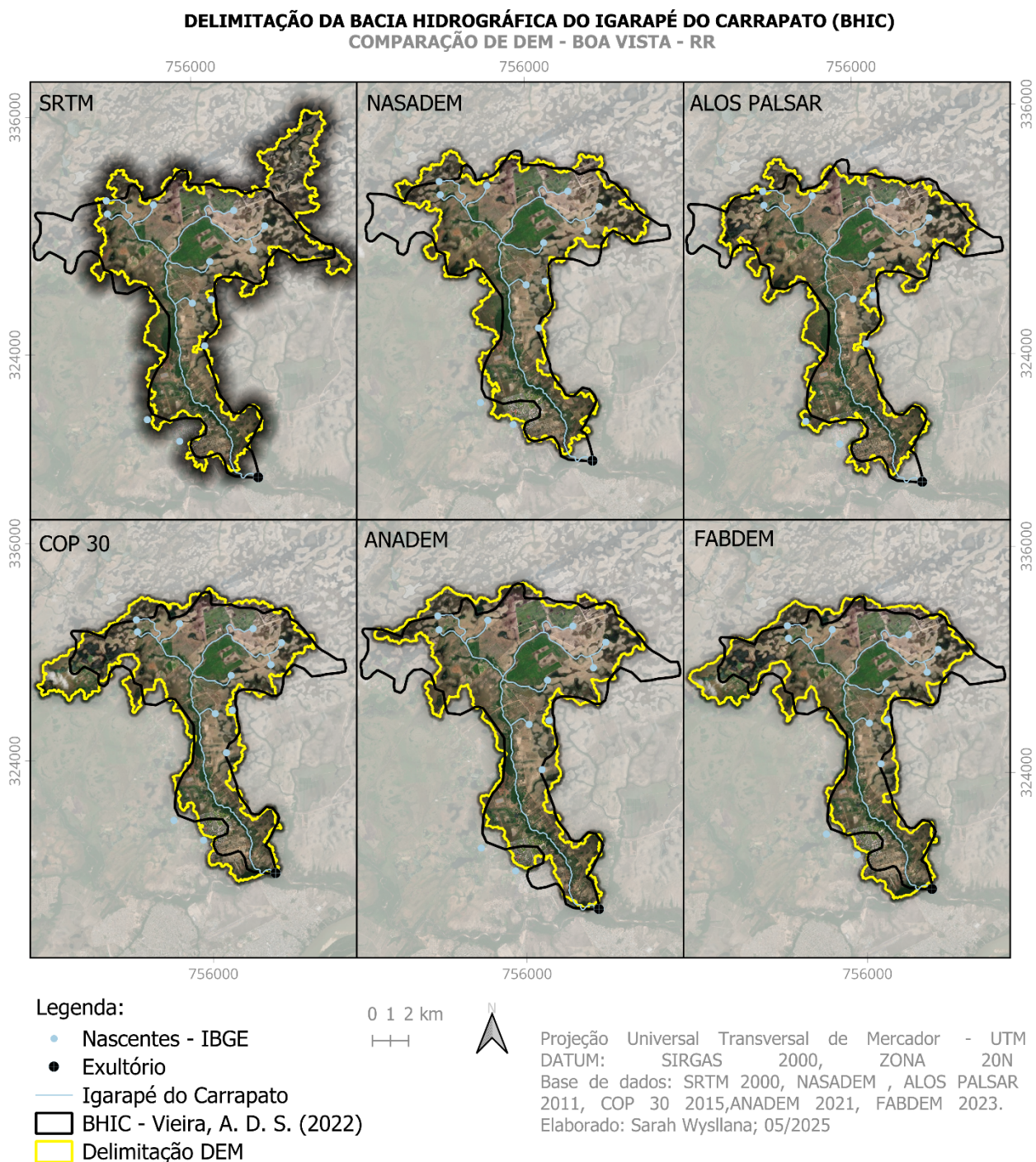


Fonte: A autora.

A aplicação de diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDEs) na delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC) evidenciou variações significativas tanto na área de contribuição quanto na definição dos limites topográficos, diretamente relacionadas às especificações técnicas de cada modelo, como resolução espacial, tipo de representação (MDS ou MDT), presença de correções hidrológicas e capacidade de representar feições sutis do relevo.

A figura 18 apresenta a sobreposição dos contornos gerados neste trabalho, indicados pela linha amarela em relação ao produto de Vieira (2022), representado pelas linhas pretas, evidenciando as convergências e discrepâncias entre os limites obtidos.

Figura 18 - Etapas de delimitação preliminar da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato.



Fonte: A autora.

O quadro 11 apresenta a comparação entre as áreas delimitadas da Bacia Hidrográfica de Interesse Comum (BHIC) a partir de diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDEs), incluindo o produto referencial de Vieira (2022). Essa comparação permite avaliar a variação espacial resultante da escolha do MDE, destacando as diferenças na extensão da bacia conforme a fonte altimétrica utilizada.

Quadro 11 - Comparação da delimitação de DEM.

ÁREA DA BHIC POR DEM (em Km ²)						
Vieira (2022)	SRTM	NASADEM	ALOS PALSAR	COP 30	ANADEM	FABDEM
98,00	83,61	75,57	75,87	87,37	72,24	86,84

Fonte: A autora.

O quadro 11 sintetiza essas diferenças, destacando o COP 30 como o modelo que resultou na maior área de contribuição (87,37 km²), seguido pelo FABDEM (86,84 km²) e pelo SRTM (83,61 km²). Ambos, FABDEM e COP 30, apresentaram traçados compatíveis com as feições naturais observadas, aproximando-se mais da dimensão de delimitação de referência. Em contrapartida, o ANADEM apresentou a menor área (72,24 km²), sugerindo possível subestimação das regiões periféricas da bacia, especialmente nas porções norte e nordeste.

Modelos como SRTM, NASADEM, ALOS PALSAR e ANADEM apresentaram limitações mais expressivas em áreas de relevo suave e transições urbanas, o que reforça que a fidelidade hidrológica não está necessariamente vinculada à extensão da área delimitada, mas sim à capacidade do modelo de representar com precisão os elementos que condicionam o escoamento superficial.

O SRTM, com resolução espacial de 30 metros, apresentou inconsistências na definição dos divisores de água, especialmente em áreas planas e urbanizadas. A ausência de correções hidrológicas e a generalização topográfica resultaram em erros sistemáticos, como a inclusão de áreas sem contribuição real ao escoamento. Observou-se uma tendência à suavização dos limites topográficos, o que comprometeu a precisão da drenagem mapeada, sobretudo nas regiões de cabeceira e margens. Apesar dessas limitações, sua ampla disponibilidade e facilidade de uso ainda o tornam uma base viável para análises preliminares.

O NASADEM, sucessor do SRTM, apresentou avanços na representação do relevo, sobretudo na região central da bacia, com desempenho intermediário e delimitações mais estáveis. Com área de 75,57 km², mostrou limitações em zonas de baixa declividade, onde o detalhamento altimétrico é essencial para a definição precisa dos divisores de água. As diferenças observadas podem estar associadas à forma como o modelo interpreta zonas de transição entre drenagens rasas e superfícies planas.

O ALOS PALSAR, com área de 75,87 km², apresentou desempenho inferior na delimitação hidrológica, com deslocamento do exutório e fechamento da bacia. A

menor aderência às feições naturais (centro – oeste da bacia), especialmente nas transições entre áreas vegetadas e antropizadas, comprometeu sua precisão. A diferença de área em relação ao SRTM (8,04 km²) indica que a maior resolução (12,5 m) não resultou, neste caso, em maior fidelidade hidrológica. O deslocamento do exutório para um ponto acima do identificado como referência representa uma falha crítica para análises de escoamento superficial.

O COP 30 apresentou excelente desempenho, com a maior área delimitada e boa precisão na definição da drenagem e do exutório, especialmente na região sul da bacia. Apesar de ser um MDS, manteve consistência na representação hidrológica, com pequenas distorções apenas em áreas com lagos ou topografia suave, sendo altamente recomendável para estudos hidrológicos em bacias de pequeno e médio porte.

O ANADEM apresentou tendência à subestimação dos limites da bacia, com área de 72,24 km², especialmente nas porções norte e nordeste. Essa limitação pode estar relacionada à resolução ou imperfeições na representação do terreno, o que pode induzir erros de fluxo e gerar contornos incompatíveis com a realidade física observada. Embora útil como base exploratória, seu uso requer cautela em áreas de baixa declividade.

O FABDEM, sendo o MDT derivado do MDS do COP 30, apresentou os melhores resultados gerais. Com área de 86,84 km², destacou-se pela capacidade de remover interferências de vegetação e estruturas artificiais, oferecendo uma representação mais fiel do terreno real. Nas regiões de nascente (norte – centro da bacia) e planícies alagáveis — onde o relevo pouco acentuado exige maior detalhamento — FABDEM e COP 30 mostraram melhor desempenho na identificação de divisores de água sutis e conexões hidrológicas entre corpos d'água e canais naturais. A diferença de área entre ambos (0,53 km²) indica similaridade na extensão delimitada, com vantagem do FABDEM quanto à qualidade da representação hidrológica. Esta diferença reduzida indica que ambos são similares entre si quanto à extensão delimitada, mas não necessariamente quanto à qualidade comparativa da representação hidrológica.

As principais inconsistências na delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC) foram observadas nas regiões de nascente e planícies alagáveis, onde o relevo pouco acentuado dificulta a definição precisa dos divisores de água. Nessas áreas, a qualidade altimétrica do modelo é determinante para garantir

coerência hidrológica, sendo necessário maior refinamento na representação do terreno. Além disso, foi identificado um desafio adicional relacionado à sobreposição parcial das nascentes com áreas de contribuição de bacias vizinhas — fenômeno conhecido como nascentes compartilhadas — que pode favorecer a contaminação cruzada entre sistemas hídricos, comprometendo a qualidade da água (FALCÃO; OLIVEIRA, 2021; FARIA et al., 2017).

Diante desse contexto, a adoção de múltiplos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e a análise comparativa entre os produtos tornam-se estratégias fundamentais para aumentar a confiabilidade dos limites propostos. A fidelidade hidrológica não está necessariamente vinculada à extensão da área delimitada, mas sim à capacidade do modelo de representar com precisão as feições que condicionam o escoamento superficial. As comparações realizadas neste estudo contribuem diretamente para o aprimoramento da delimitação da BHIC, oferecendo subsídios técnicos relevantes para o planejamento territorial e a gestão sustentável dos recursos hídricos. A fim de melhor dimensionar esse risco, uma melhor delimitação da bacia deve ser feita, daí a importância das comparações aqui feitas.

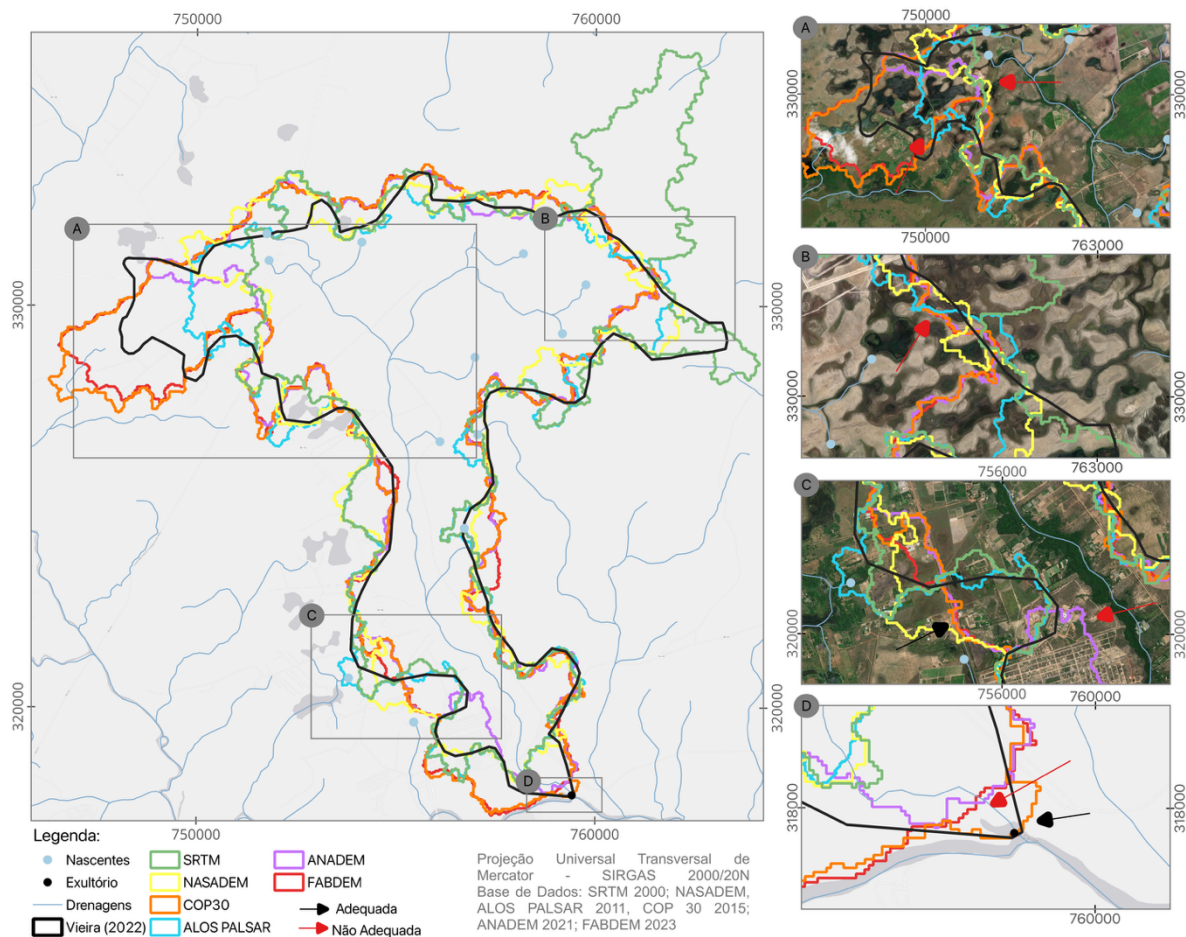
A figura 19 apresenta o detalhamento comparativo das delimitações da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC) a partir da soma das sobreposições dos diferentes produtos aqui gerados, sobrepostos ao produto de Vieira (2022), representada pela linha preta. A análise visual foi organizada em quatro recortes ampliados, com destaque para áreas críticas onde os contornos gerados apresentaram divergências significativas.

As setas vermelhas indicam regiões onde as delimitações automáticas foram classificadas como não adequadas, ao extrapolar os divisores naturais da bacia, frequentemente cruzando áreas de drenagem ativa ou vegetação ripária, o que compromete a coerência hidrológica dos modelos. Esses erros são particularmente visíveis nas delimitações geradas a partir dos modelos ALOS PALSAR, ANADEM, NASADEM e, em menor grau, SRTM, que em diversas porções avançaram além dos limites reconhecidos da bacia, ou subestimaram áreas de contribuição ao permanecerem aquém dos divisores topográficos reais.

Em contraponto, as setas verdes sinalizam trechos em que as delimitações apresentaram boa aderência à hidrografia real, com destaque para os modelos FABDEM e COP 30, que respeitaram os contornos naturais da bacia ao longo das regiões de nascente e drenagem principal. Essas delimitações foram mais eficazes

em captar os fluxos convergentes e os limites físicos observados em imagens de alta resolução.

Figura 19 - Detalhamento da conformidade da delimitação da BHIC.



Fonte: A autora.

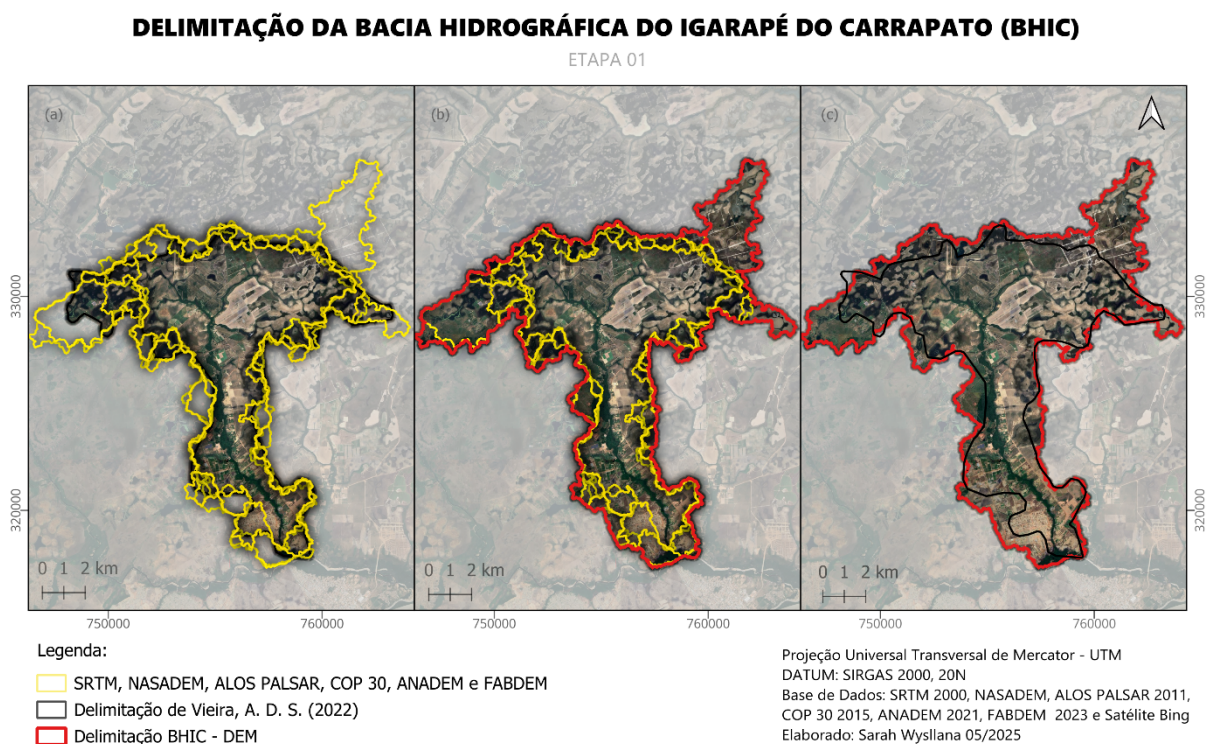
Destaca-se também a foz da bacia, visível no canto inferior direito da composição, onde o modelo COP 30 apresentou uma delimitação compatível com o exutório real, reforçando sua consistência técnica. Já modelos como ANADEM e ALOS PALSAR, nessa mesma área, mostraram deslocamentos laterais ou descontinuidades na drenagem, indicando limitações na modelagem hidrológica do terreno.

Em seguida, a figura 20 apresenta a comparação espacial entre as delimitações geradas individualmente a partir de cada Modelo Digital de Elevação (em amarelo), a delimitação de referência estabelecida por Vieira (2022) (linha preta) e o produto de delimitação unificada (em vermelho), obtido a partir da sobreposição e integração dos produtos por meio de ferramentas de geoprocessamento no QGIS.

A imagem está dividida em três painéis que ilustram a progressão da análise:

- (a) Conjunto das delimitações brutas obtidas com os seis MDEs, demonstrando a variação espacial entre os modelos e as zonas de maior divergência, especialmente nas extremidades norte, oeste e sul da bacia.
- (b) Produto intermediário onde as delimitações dos MDEs são comparadas diretamente com o limite de referência (Vieira, 2022), evidenciando áreas de superposição e zonas críticas com afastamento significativo.
- (c) Delimitação final gerada pela fusão de geometrias e ajustamento das áreas de maior concordância entre os modelos, priorizando os traçados hidrologicamente coerentes com o terreno e as imagens de alta resolução.

Figura 20 - Delimitação inicial da Bacia do Igarapé do Carrapato da Etapa 01: (a) Demonstrativo dos DEM's gerados; (b) Comparativo dos DEMs gerados e produto inicial da mesclagem dos DEM's; (c) Comparativo da fusão dos DEMs preliminar e o a delimitação realizada por Vieira (2022).



Fonte: A autora.

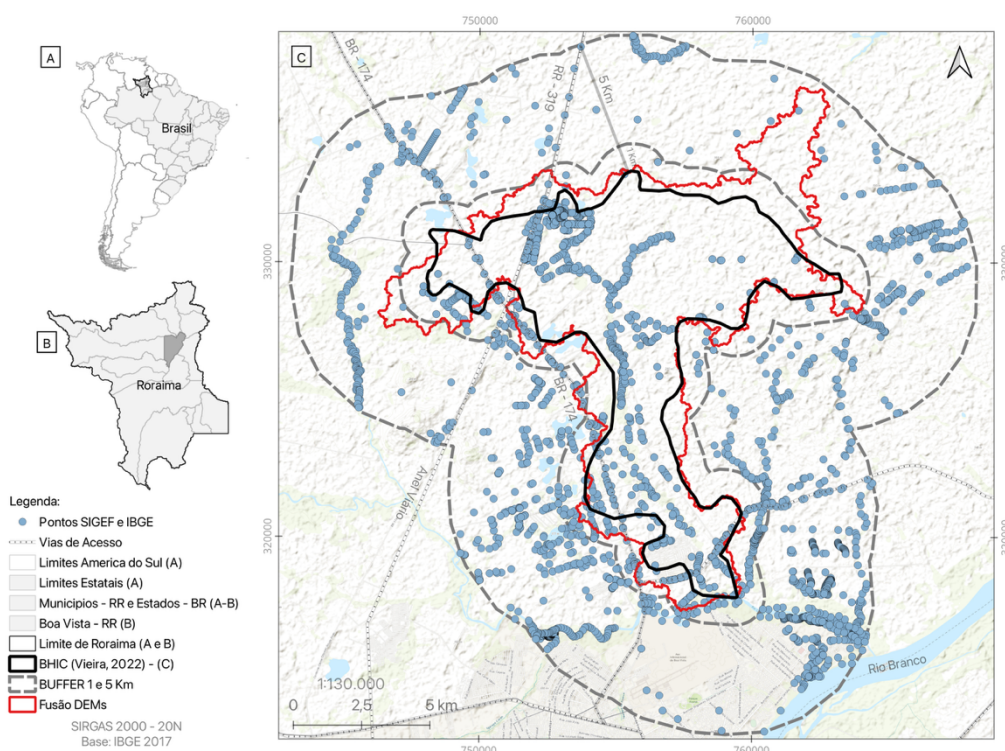
Essa abordagem de síntese permitiu o desenvolvimento o produto da fusão dos MDEs mais robusto, caracterizando parte da análise qualitativa, para refinamentos posteriores, capaz de integrar as virtudes dos diferentes modelos e mitigar suas limitações individuais. A ferramenta de fusão de geometrias (Merge Vector Layers) no QGIS foi aplicada com base em critérios técnicos. O contorno final (vermelho)

resultante apresenta maior compatibilidade com a topografia real totalizando uma área de 112,555 km².

Esse processo reforça a importância da análise integrada e crítica no uso de produtos derivados de sensoriamento remoto, e demonstra como ferramentas de SIG podem ser aplicadas para gerar produtos confiáveis mesmo a partir de fontes com variações entre si. Esta possibilidade, no entanto, não dispensa a supervisão e a conferência humana, para julgar a adequabilidade dos modelos resultantes e efetuar correções e ajustes sempre que necessário.

Para avaliar a coerência altimétrica das delimitações geradas pelos diferentes MDEs, foi realizada uma análise quantitativa georreferenciada com pontos de controle provenientes do Banco de Dados Geodésico do IBGE e do SIGEF/INCRA. Esses pontos foram distribuídos em dois buffers concêntricos (1 km e 5 km) ao redor da delimitação de referência proposta por Vieira (2022), conforme ilustrado na figura 21. As altitudes dos pontos SIGEF foram convertidas para o referencial ortométrico hgeoHNOR2020, assegurando compatibilidade e consistência na comparação entre os modelos.

Figura 21 - Mapa indicando o recorte dos buffers utilizado para área de referência para análise quantitativa da delimitação de bacia usando DEM.

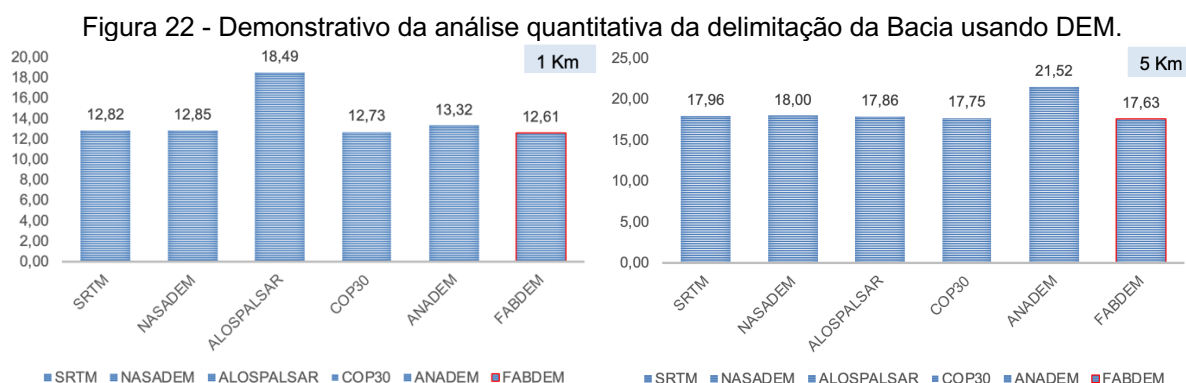


Fonte: A autora.

Os valores obtidos correspondem às RMSE – Erro médio quadrático das delimitações nos dois buffers analisados. A figura 22 a seguir resume os resultados:

A análise mostra que os modelos COP 30, FABDEM, SRTM e NASADEM apresentaram valores de altitude média bastante próximos entre si, refletindo boa aderência ao comportamento altimétrico real da região, especialmente no buffer de 1 km, que representa a faixa de influência direta da delimitação da bacia.

O ALOS PALSAR apresentou valores altimétricos elevados na faixa de 1 km (18,49 m), sugerindo superestimação causada pela presença de vegetação densa que interfere na leitura da superfície do terreno. Esse resultado evidencia as limitações do modelo para aplicações hidrológicas em áreas de relevo sutil, como na BHIC. Já o ANADEM apresentou aumento no buffer de 5 km, possivelmente relacionado a inconsistências locais em zonas de transição topográfica ou interpolação em áreas adjacentes.



Fonte: A autora.

E o FABDEM destacado em vermelho apresentou os menores valores de RMSE em ambos os buffers significa que, entre os modelos testados, ele foi o que mais se aproximou da realidade do terreno tanto em áreas próximas quanto em zonas mais amplas ao redor dos pontos analisados.

Posteriormente, para iniciar o processo de refino da delimitação da BHIC, incorporando dados de altimetria obtidos a partir de um ortomosaico gerado com imagens de drone. O objetivo desta etapa foi verificar a inclusão ou exclusão de uma área contígua à BR-174, situada ao sul da bacia, que originalmente não havia sido considerada dentro do limite hidrográfico nos produtos anteriores. Tal verificação funciona como um estudo de caso para embasar discussões acerca dos demais limites da bacia.

No painel (a), observa-se a comparação geral entre os modelos de MDE (vermelho) e a delimitação de referência (linha preta), sobrepondo-se ao limite do setor sobrevoado pelo drone (polígono cinza). Já no painel (b), é possível visualizar com maior detalhe o traçado da zona urbana, reforçando a coerência do fluxo hídrico em direção à bacia, enquanto o painel (c) apresenta a altimetria da área de sobrevo, evidenciando o gradiente de escoamento superficial.

A validação altimétrica realizada evidenciou que o setor localizado ao sul da BR-174, anteriormente excluído da delimitação original, apresenta escoamento superficial convergente com a bacia do Igarapé do Carrapato. Com base nesse resultado, a área foi incorporada à delimitação refinada da bacia, indica como polígono (D) e a partir dessa etapa a área da BHIC passou a ser de 112,858 km².

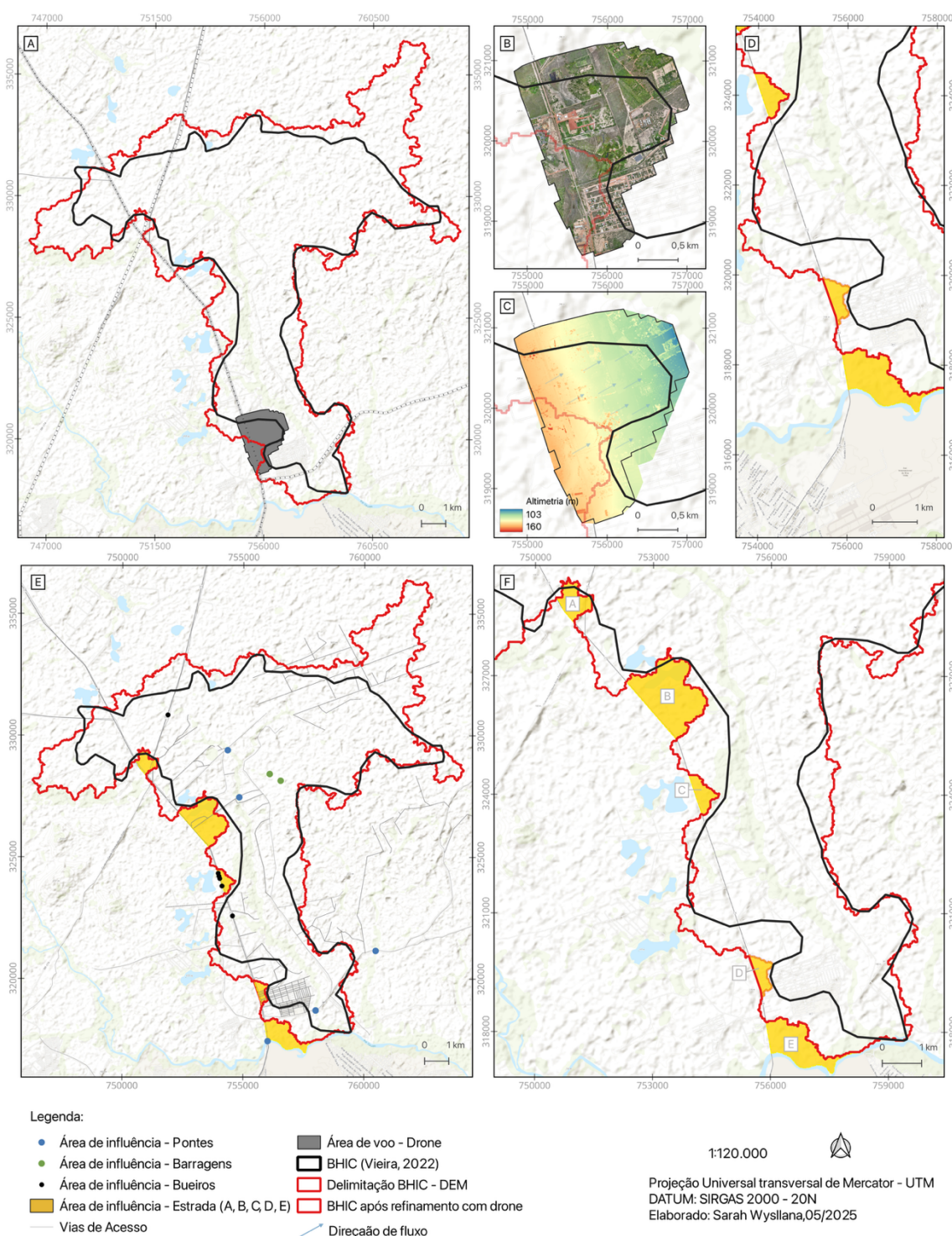
A inclusão foi viabilizada por meio da utilização de dados de alta resolução espacial obtidos por veículos aéreos não tripulados (VANTs), especialmente ortomosaicos e modelos digitais de elevação (MDE), que permitiram identificar com precisão a dinâmica de escoamento superficial. Esse procedimento corrigiu a omissão de uma área hidrologicamente ativa, contribuindo para o aprimoramento da delimitação da bacia.

Adicionalmente, observou-se que estruturas como bueiros, pontes, barreiras e segmentos viários presentes na área delimitada e em seu entorno imediato exercem influência direta na conectividade hídrica superficial, descritos como pontos de influência. Tais elementos funcionam como facilitadores do fluxo, permitindo a continuidade do escoamento entre setores separados fisicamente pela rodovia. Essa configuração pode justificar a ineficácia da BR-174 como divisor superficial em determinados trechos.

As demais áreas destacadas em amarelo na representação cartográfica não foram incluídas na delimitação atual devido à ausência de levantamento aerofotogramétrico específico. No entanto, apresentam características morfológicas compatíveis com o padrão de drenagem da bacia e podem ser consideradas como zonas de contribuição. A confirmação da inclusão dessas áreas dependerá da realização de estudos altimétricos complementares que validem sua conectividade hidrográfica com o sistema do Igarapé do Carrapato

Figura 23 - Delimitação inicial da Bacia do Igarapé do Carrapato, apresentando em (a) Demonstrativo da área de interesse de sobrevo do drone; (b) Ortomosaico realizado por drone em composição RGB; (c) a altimetria detalhada obtida a partir Ortomosaico - dsm com indicação da direção de fluxo; (d) a

área de refino da delimitação da bacia com base em dados de alta resolução espacial; (e) os pontos de influência na delimitação superficial, como estradas, bueiros, pontes e barragens; e (f) os polígonos de áreas de influência associadas à infraestrutura viária.



Fonte: A autora.

As figuras 24 apresentam elementos estruturais que exercem influência direta sobre o comportamento hidrológico da bacia do Igarapé do Carrapato, especialmente em trechos onde a infraestrutura interfere na dinâmica do escoamento superficial. Os

painéis ilustram diferentes pontos de interesse, como o estado das vias de acesso (a), a presença de barragens (b), e a localização de estruturas hidráulicas como bueiros (c, d) e pontes (e, f).

Esses componentes, distribuídos ao longo da área de estudo, contribuem para a conectividade entre setores da bacia e devem ser considerados na análise da continuidade do fluxo, sobretudo em regiões com interferência antrópica significativa. A identificação e caracterização desses pontos são fundamentais para compreender os condicionantes físicos que afetam a delimitação superficial e para orientar futuras ações de monitoramento e manejo da drenagem.

Figura 24 - Pontos de influência na delimitação superficial da bacia, apresentando em (a) o estado das principais vias de acesso; (b) a barragem identificada por linha fina em branco na Fazenda Esperança I; (c) a localização aérea do bueiro representado na imagem (d); (d) o tipo de bueiro que permite a comunicação do fluxo superficial entre setores; (e) a visualização aérea da ponte localizada na BHIC; e (f) a ponte localizada na BHIC, evidenciando sua função na conectividade hídrica da área.

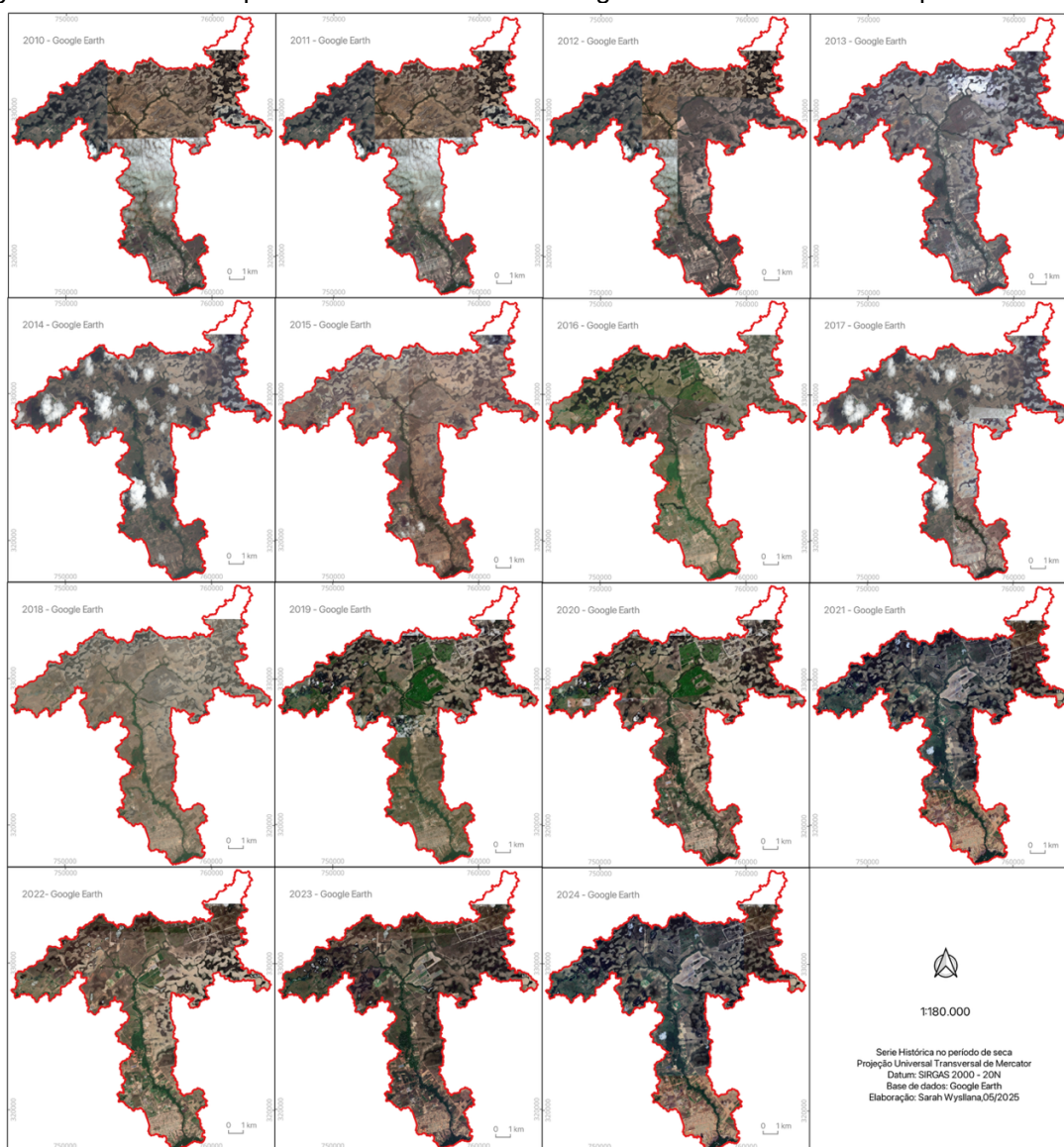


Fonte: A autora.

A etapa de refino da delimitação da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHC) consistiu em uma análise temporal detalhada, com o objetivo de validar e consolidar seus limites a partir da observação do comportamento sazonal do escoamento superficial. Para isso, foi elaborada uma série histórica de imagens orbitais entre 2010 e 2024, abrangendo tanto o período seco quanto o chuvoso, permitindo uma compreensão multitemporal da dinâmica hídrica da bacia.

A figura 25 apresenta a sequência temporal da BHC, destacando a coerência espacial do traçado delimitado ao longo dos anos. A análise visual evidenciou variações significativas entre as estações, relacionadas diretamente à sazonalidade e aos eventos climáticos extremos que marcaram a região no período.

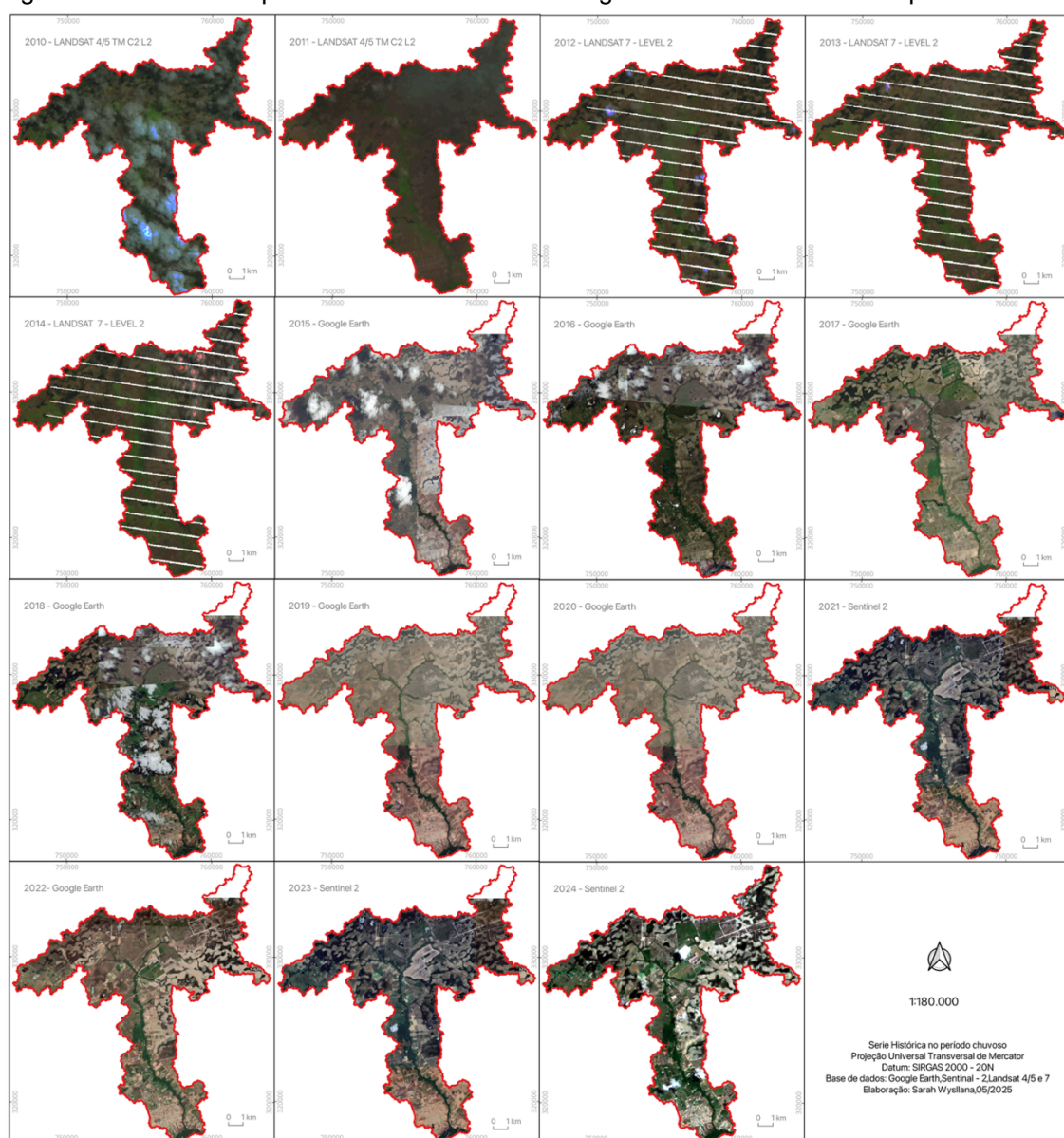
Figura 25 - Análise temporal da série histórica de imagens entre 2010 e 2024 no período de seca.



Fonte: A autora.

Nos períodos de seca (como em 2016 e 2023), observou-se uma acentuada redução da conectividade hídrica, acompanhada de menor visibilidade dos cursos d'água secundários. Esse comportamento decorre do rebaixamento do nível de base e da interrupção de drenagens intermitentes, fenômeno típico das áreas de lavrado roraimense durante eventos de estiagem prolongada. Por outro lado, nos períodos chuvosos (2021 e 2024), verificou-se um aumento expressivo da malha hídrica, com destaque para o restabelecimento do fluxo contínuo em áreas antes desconectadas — o que reforça a coerência e a precisão da delimitação hidrográfica proposta.

Figura 26 - Análise temporal da série histórica de imagens entre 2010 e 2024 no período de chuva.



Fonte: A autora.

A influência de fenômenos climáticos globais foi igualmente evidente: os anos sob influência de La Niña (2010–2011 e 2020–2021) apresentaram níveis elevados de precipitação e expansão da rede de drenagem, enquanto os períodos de El Niño (2015–2016 e 2023–2024), conforme apontado pela Agência FAPESP (2023), estiveram associados a secas severas e à retração significativa dos cursos d'água da Amazônia setentrional.

A análise também permitiu reconhecer padrões morfológicos lacustres típicos do lavrado (fig. 27), com a presença de lagos isolados de formas elipsoidais, geminadas e goticulares, bem como veredas de buritizais, que atuam como corredores ecológicos e canais naturais de escoamento superficial. Esses elementos funcionam como conectores hidrológicos sazonais, favorecendo o intercâmbio entre compartimentos da paisagem e indicando áreas críticas para a conservação da dinâmica hídrica local.

Figura 27 - Sistema lacustre representando formas e padrões típicos do lavrado, predominantes durante o período chuvoso. Na estação seca, observa-se a presença de lagos isolados com morfologias elipsoidais, geminadas, circulares ou resultantes da aglutinação de pequenas bacias. Os lagos de formato gótico estão indicados pelas setas pretas, enquanto as setas brancas destacam as veredas de buritizal, que funcionam como corredores ecológicos e canais naturais de escoamento superficial, favorecendo a conectividade hídrica entre os compartimentos da paisagem.



Fonte: Modificado do Google Earth.

A integração da série histórica ao processo de refino consolidou a estabilidade do traçado principal da bacia, mesmo frente a eventos hidrológicos extremos — como a cheia de 2011 e 2018, e a seca severa de 2024 (fig. 28). Essa consistência espacial demonstra que a delimitação obtida reflete não apenas a morfologia topográfica, mas também o comportamento hidrológico real da bacia ao longo de diferentes regimes climáticos.

Figura 28 - Eventos hidrológicos extremos em Boa Vista, Roraima: (A) Enchente do rio Branco em 2011, com o nível do rio atingindo 10,02 metros acima do normal, deixando comunidades isoladas (Foto: Divulgação/Governo de Roraima); (B) Alagamento no bairro Pedra Pintada, em Boa Vista, durante o período chuvoso de 2018 (Foto: Alan Chaves/G1 RR); (C) Seca severa em 2024 atinge o rio Branco, principal curso d'água de Roraima, levando o município de Boa Vista a decretar estado de emergência.



Fonte: Divulgação/Governo de Roraima, 2011; Alan Chaves/G1 RR, 2018; Ronny Alcantara/Rede Amazônica, 2024.

Além disso, a comparação entre os produtos derivados de diferentes bases (Google Earth, Landsat e Sentinel) possibilitou identificar áreas de drenagem intermitente e conectividade oculta durante a estação seca, sobretudo em regiões limítrofes e nascentes. Tais resultados conferem maior robustez à delimitação final, sobretudo em setores sob influência antrópica, como trechos adjacentes à BR-174.

Por fim, o uso de imagens multitemporais e multissensores demonstrou-se uma abordagem eficaz e replicável para a delimitação de microbacias na Amazônia, especialmente em ambientes onde a sazonalidade é fator determinante da dinâmica hídrica. Na figura 29 representado em forma de quadro a sintetiza os resultados quantitativos das etapas de processamento, destacando a evolução da área delimitada até alcançar a configuração consolidada de 109,372 km² para a BHIC, em consonância com a análise visual e os marcos hidrológicos observados.

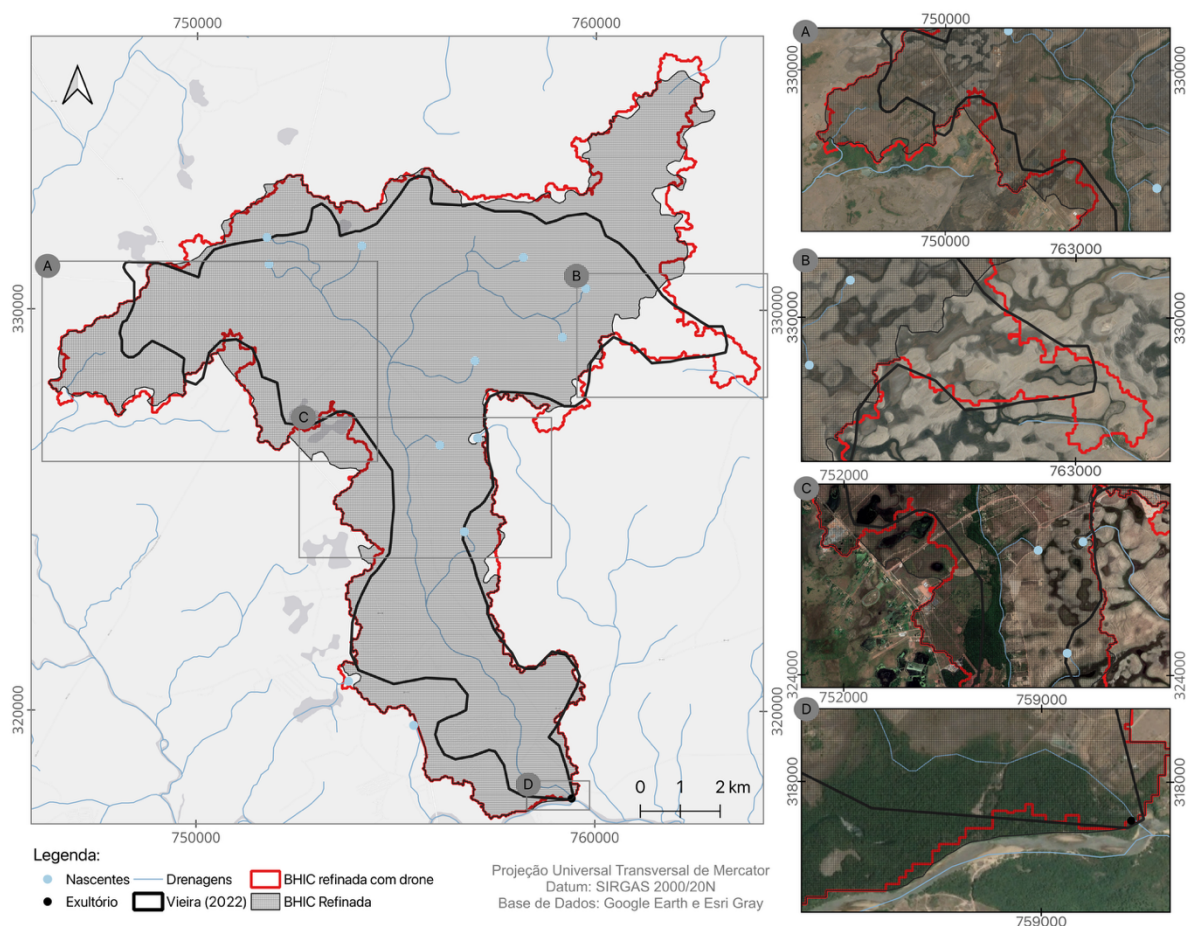
Figura 29 - Análise quantitativa dos Processamentos com base nas etapas.

ANÁLISE DOS PROCESSAMENTOS			
VIEIRA 2022	BHIC DEM	BHIC REFINO DRONE	BHIC REFINO SERIE HISTÓRICA
80,282 Km ²	112,555 Km ²	112,858 Km ²	109,372 Km ²

Fonte: A autora.

Segue a representação do comparativo entre os limites, em preto o limite de referência Vieira (2022), em vermelho a delimitação com o refino da fusão de DEM e imageamento de drone, e o polígono cinza tracejado o produto do refino a partir da serie histórica.

Figura 30 - Produto Final da delimitação da BHIC detalhado.

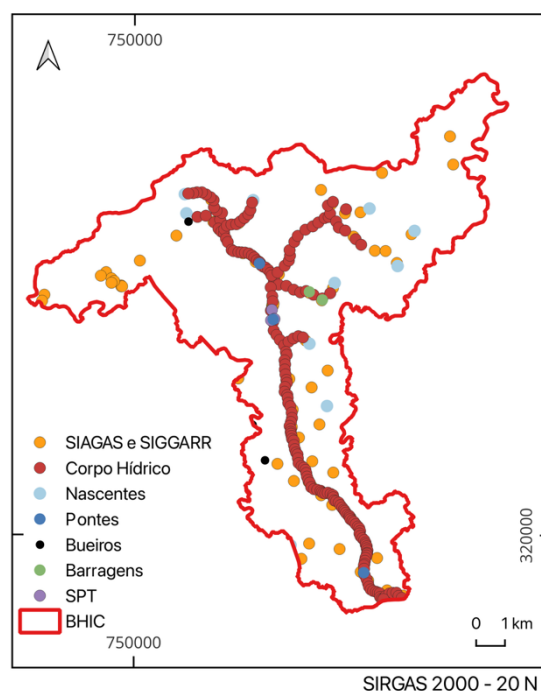


Fonte: A autora.

A figura 31 a seguir apresenta o mapa de localização dos pontos utilizados na análise hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC), etapa essencial para compreender o comportamento do fluxo subterrâneo e subsidiar o modelo hidrogeológico da região. Nessa fase, foram integrados informações provenientes de bases institucionais, permitindo o delineamento dos domínios aquíferos e a interpretação da conectividade entre os sistemas de recarga e drenagem.

Os pontos de sondagem SPT, representados em roxo, pontos vermelhos distribuídos ao longo do leito principal do igarapé como pontos de referencia e fornecem informações estratigráficas e mecânicas do solo, possibilitando estimar a profundidade do lençol freático e a condutividade relativa das camadas. Já os dados de nível estático (NE), obtidos junto ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM) e SIGGARR e representados em laranja, correspondem a poços cadastrados com medições do nível de água subterrânea, assim como pontos de barragens em verde, bueiros em preto, nascentes em azul e pontes em azul escuro. Esses registros foram fundamentais para a construção do modelo piezométrico e para a definição das direções predominantes do fluxo subterrâneo na bacia.

Figura 31 - Mapa de Localização dos Pontos utilizado para a análise hídrica.



Fonte: A autora.

A concentração desses elementos ao longo do curso principal permitiu uma interpretação detalhada do comportamento hidrogeológico linear da bacia, identificando zonas potenciais de recarga, áreas de fluxo lateral e domínios de descarga. Essa distribuição favoreceu a delimitação de setores com diferentes características hidroestratigráficas, com destaque para as regiões de transição entre

domínios granulares e fraturados, conforme evidenciado na etapa anterior de caracterização fisiográfica.

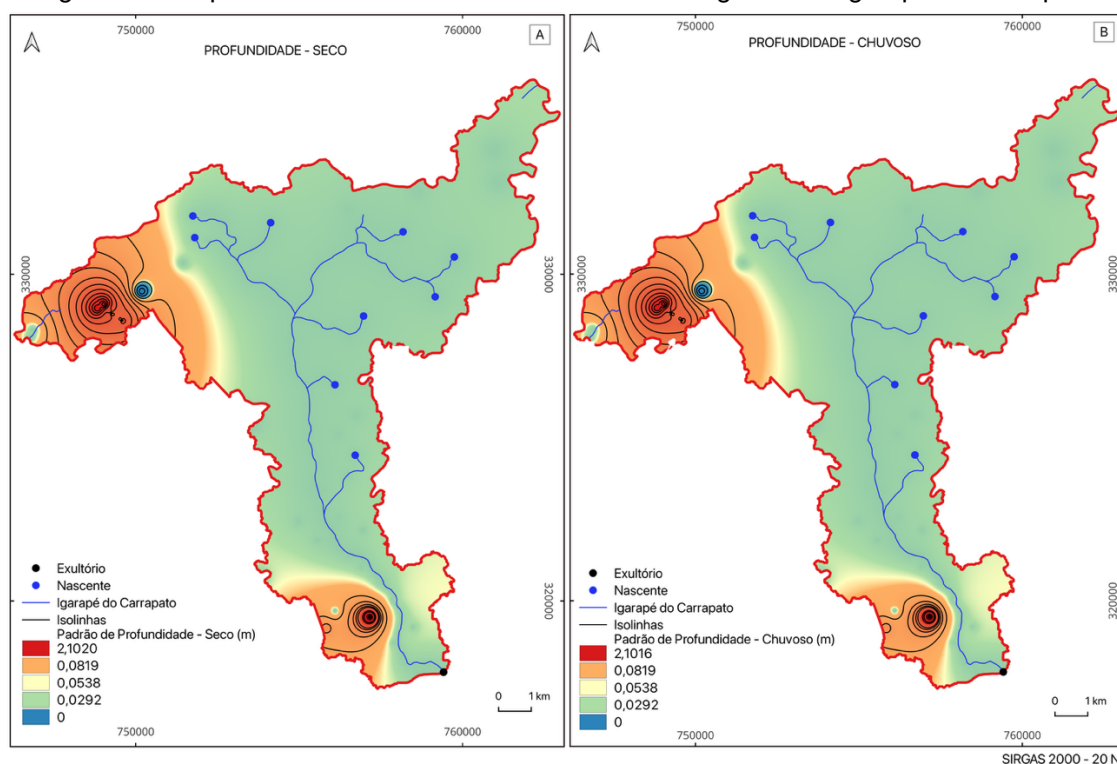
A figura 32 apresenta o Mapa de Profundidade do Nível Estático da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC), gerado a partir da interpolação dos dados métricos de profundidade coletados do banco do SIAGAS e pontos de campo. O mapa expressa a variação da profundidade do nível freático (Pr) em metros, considerando os poços analisados dentro dos limites da bacia.

O modelo interpolado apresenta uma variação de profundidade que vai de aproximadamente 0 m (NE ao rés do chão) até +2,10 m (nível freático mais profundo), indicando uma alta vulnerabilidade generalizada do aquífero nessa bacia.

As regiões aos central, sudestes, centro-oeste e noroeste da bacia, próximas à zona urbana, concentram os menores valores de profundidade (áreas em azul a verde claro), indicando nível freático raso, o que pode ser associado a maior recarga direta superficial e possível surgência freática.

Já a região oeste (cores laranja e vermelha) indica profundidades superiores a 2 metros, sugerindo zonas de maior espessura de solo insaturado acima do nível da água e provável maior espessura de zona não saturada, com menor influência direta do escoamento superficial.

Figura 32 - Mapa de Profundidade Hídrica da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato.

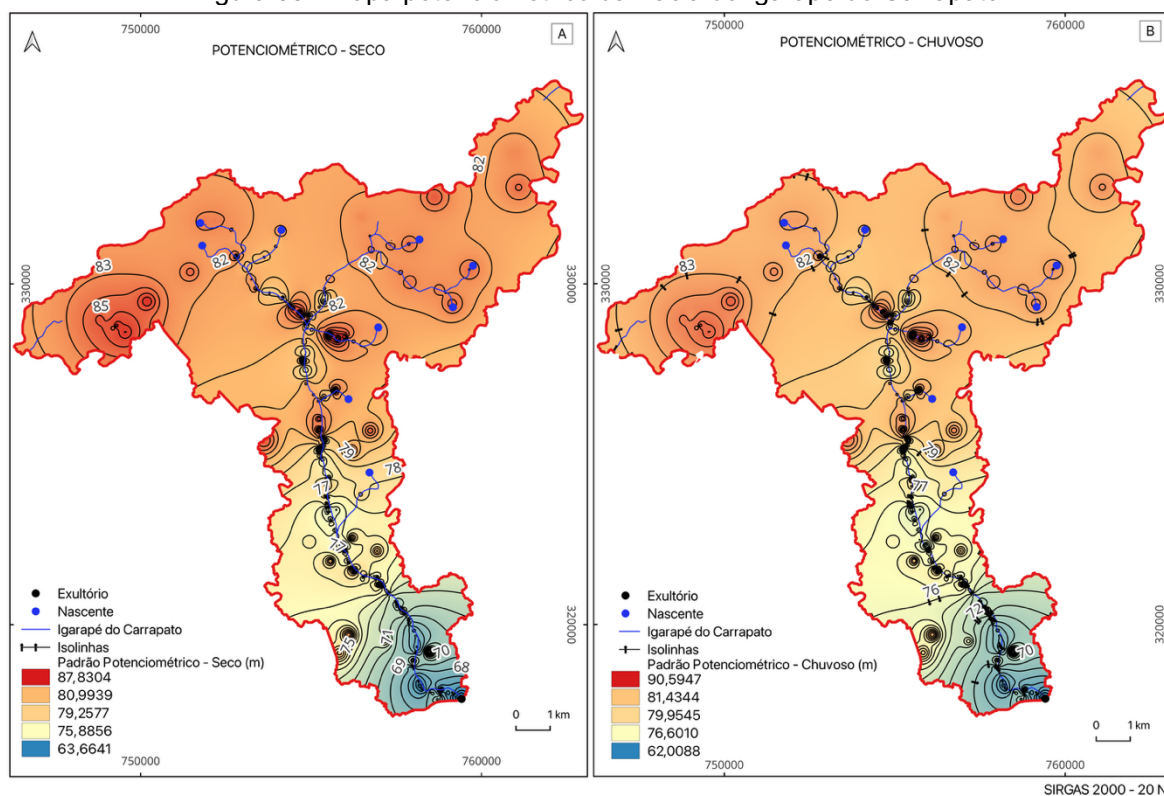


Fonte: A autora.

As isolinhas evidenciam o comportamento do gradiente hidráulico e a tendência geral de fluxo subterrâneo, que, conforme esperado, segue predominantemente convergindo ao centro da bacia, em consonância com a declividade natural da área. Porém devido a ausência de pontos na margem esquerda o mesmo não foi identificado, concomitante a ausência de variação de profundidade em função da sazonalidade.

A figura 33 apresenta o mapa potenciométrico da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC), exibe a variação altimétrica da superfície piezométrica (em metros), representando o comportamento do aquífero em função do gradiente hidráulico.

Figura 33 - Mapa potenciométrico da Bacia do Igarapé do Carrapato.



Fonte: A autora.

Os valores de cota potenciométrica variam entre 63,66 a 87,83 metros no período seco e 62,00 a 90,50 metros no período chuvoso. O fluxo geral ocorre do norte para o sul, acompanhando o gradiente topográfico e o curso do Igarapé do Carrapato, o que demonstra consistência entre os sistemas superficial e subterrâneo.

As maiores cotas piezométricas concentram-se no setor norte-central da bacia, confirmando a existência de zonas de recarga hídrica natural. As menores cotas

ocorrem ao sul, próximas à área urbana e ao exultório, caracterizando regiões de descarga potencial e/ou maior exploração hídrica.

O padrão de distribuição das cotas piezométricas confirma a presença de um aquífero homogêneo, estruturado em um único material ou variação não significativa para o sistema, com boa conexão entre os compartimentos hidrogeológicos mapeados. A densidade de isolinhas em certos setores indica áreas de maior gradiente hidráulico, que podem refletir transições litológicas, e/ou o próprio sistema de livre para confinante ou o inverso, aumento da condutividade hidráulica ou maior mobilidade do fluxo subterrâneo.

Apesar dos resultados promissores, a densidade atual de pontos amostrais ainda é limitada em algumas áreas, especialmente nas porções leste da bacia. Portanto, faz-se necessária a realização de um estudo mais detalhado, com a expansão da malha de poços monitorados ou furos de sondagem e novas campanhas de medição em campo, a fim de refinar os contornos da superfície potenciométrica e aumentar a confiabilidade do modelo.

O mapa potenciométrico possibilita orientar a implantação racional de poços tubulares, identificar zonas de recarga prioritária e apoiar a gestão integrada da água subterrânea e superficial na BHIC.

Sua integração com os mapas de profundidade e as informações litológicas sedimentar reforça a necessidade de um monitoramento contínuo da bacia, especialmente frente ao crescimento urbano e à pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos.

Assim, o modelo atual representa um avanço na compreensão do comportamento hidrogeológico da BHIC, mas também indica a importância de novos dados de campo para aprimorar os instrumentos de planejamento hídrico e ambiental da região.

4.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BHIC

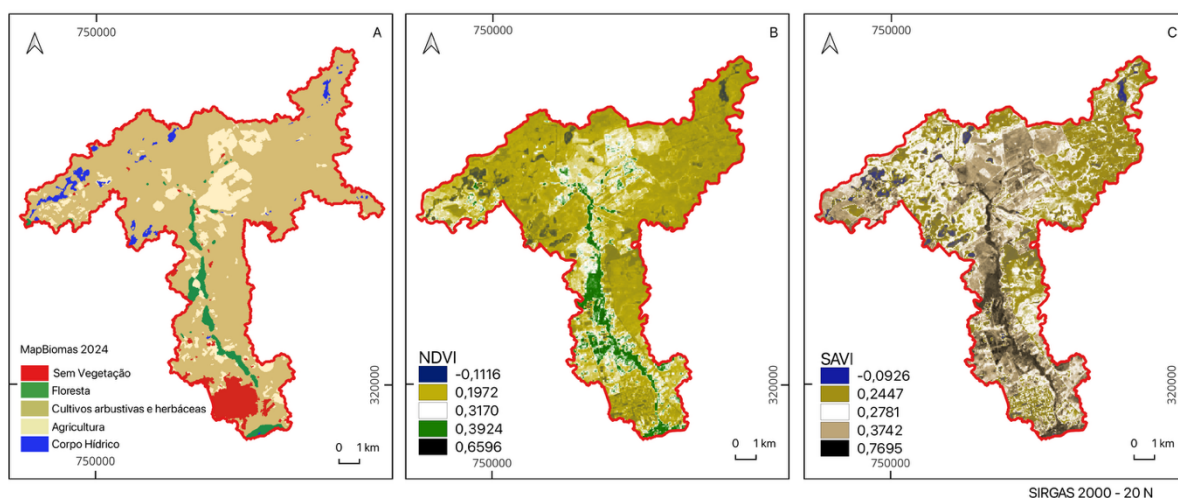
A caracterização ambiental da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC) foi realizada com base na integração de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento, aplicando os índices espectrais NDVI, SAVI, NDWI e MNDWI, além da análise temática de uso e ocupação do solo e registros de queimadas. As análises foram desenvolvidas em ambiente SIG (QGIS), utilizando imagens Landsat

8 OLI de 2024 e dados complementares provenientes do MapBiomas, INPE (DETER e BDQueimadas) e SIGGARR.

A figura 34A apresenta o mapeamento de uso e ocupação do solo da BHIC com base nos dados do MapBiomas 2024. Observa-se o predomínio de áreas classificadas como agricultura, que abrangem a maior parte da superfície da bacia, seguidas por formações de cultivos arbustivos e herbáceos, indicando uma matriz antrópica fortemente voltada à produção agropecuária, porém conforme etapas anteriores de análise essa área em sua maioria tratasse de solo exposto e vegetação nativa rasteira.

As formações florestais remanescentes concentram-se principalmente ao longo das margens do Igarapé Carrapato e em pequenas manchas dispersas nas porções norte e central da bacia, configurando importantes corredores ecológicos. As áreas sem vegetação ocorrem em trechos de área urbana, sobretudo na região sul, onde também se registram solos expostos e processos erosivos.

Figura 34 - Caracterização do uso e ocupação do solo. (a) Uso e ocupação do solo com base no MapBiomas de 2024; (b) Mapa do índice NDVI na BHIC; (c) Mapa do índice SAVI na BHIC.



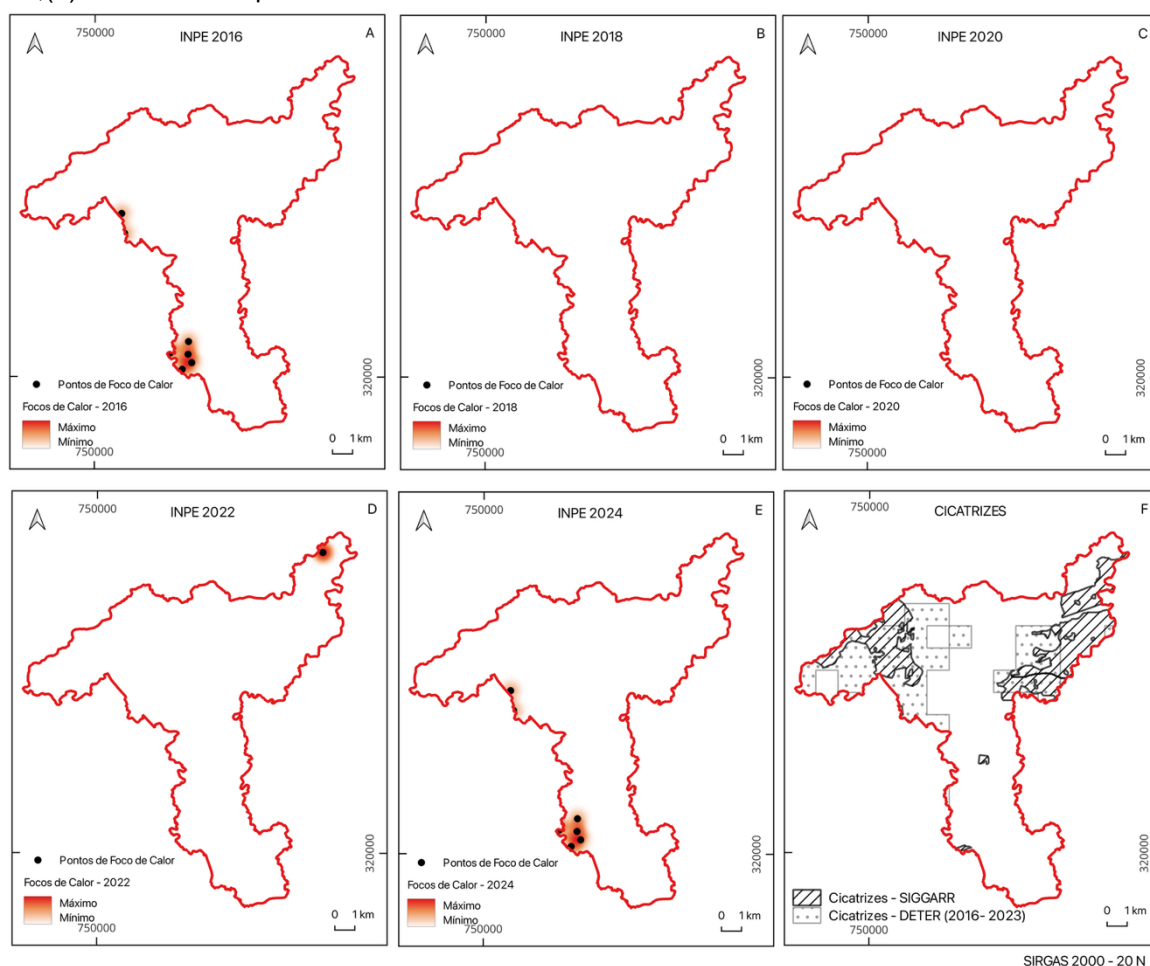
Fonte: A autora.

A análise integrada do NDVI (fig. 34B) e do SAVI (fig. 34C) corrobora a dominância de cobertura vegetal secundária e áreas agrícolas, apresentando valores moderados a baixos de vigor vegetativo. As maiores respostas dos índices estão associadas às áreas de floresta de galeria e vegetação ciliar, enquanto os menores valores se concentram em zonas agrícolas, superfícies sem vegetação e área urbana, indicando estresse vegetativo e influência antrópica intensa.

A figura 35 sintetiza a situação de conservação da vegetação da BHIC, considerando a sobreposição dos registros de focos de calor de 2024 (INPE) ao sul da bacia e das cicatrizes de queimadas (2016–2023) mapeadas pelos programas DETER e SIGGARR.

Os resultados evidenciam a recorrência de eventos de queimada principalmente nas porções norte e centro da bacia, coincidindo com áreas de uso agrícola e pastagens, e não está diretamente associados focos de calor de 2024. Essa sobreposição temporal indica um padrão de degradação cíclica, que compromete a regeneração natural e a estabilidade ecológica da vegetação.

Figura 35 - Caracterização da conservação vegetal. (a) Foco de calor aplicado no ano de 2024 na BHIC; (b) Cicatrizes de queimadas na BHIC baseado nos dados de deter 2016-2023 e SIGGARR.



Fonte: A autora.

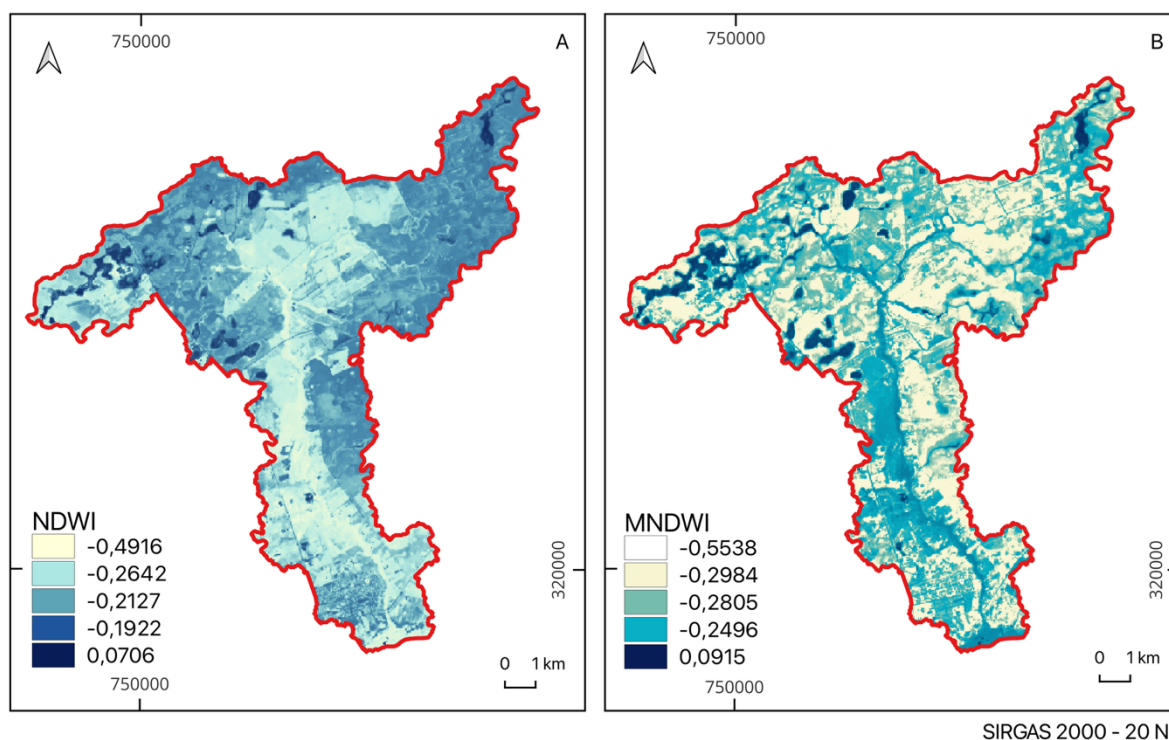
As cicatrizes identificadas sugerem que parte das áreas agrícolas e urbanizadas atuais resultou de avanço sobre vegetação nativa, sobretudo nas zonas de contato com as florestas de galeria. Tal contexto reforça a necessidade de manejo

e monitoramento ambiental contínuo, principalmente nas áreas de transição savana-floresta, mais vulneráveis à fragmentação e ao fogo.

A ocorrência de seis focos de calor em 2024, um foco de calor em 2022, cinco focos em 2016, e nenhum dentro das mediações da bacia em 2020 e 2018, porém com ocorrências nos arredores, embora ainda presente, indica um melhor controle das queimadas em relação aos anos anteriores, resultando em cicatrizes conforme o banco de dados do DETER entre 2016 a 2023 em 32,333 km² de cicatrizes enquanto a banco de dados do SIGGARR indica a presença 20,602 km² de cicatrizes, correspondendo a 29,56% e 18,84% da área total da bacia com cicatrizes respectivamente, porem não indica que tais sejam significativa na vegetação nem em impactos expressivos sobre o equilíbrio hidrológico da bacia.

A figura 36 apresenta os resultados obtidos a partir dos índices NDWI e MNDWI, utilizados para realçar áreas com presença de água superficial. Ambos os índices revelam a ocorrência pontual e sazonal de corpos hídricos, concentrados nas regiões de menor altitude e ao longo da calha principal do Igarapé Carrapato.

Figura 36 - Caracterização da distribuição hídrica. (a) Mapa do índice NDWI na BHIC; (b) Mapa do índice MNDWI na BHIC.



Fonte: A autora.

Os valores positivos de NDWI e MNDWI indicam maior teor de umidade e presença de superfícies aquáticas, enquanto os valores negativos estão associados

a solos secos e vegetação densa. De modo geral, a bacia apresenta padrão de drenagem intermitente, característico das savanas amazônicas, com formação de pequenos lagos e áreas alagáveis.

A análise espacial dos índices permite observar variações na disponibilidade hídrica superficial em diferentes tipos de uso e cobertura do solo, sugerindo uma possível relação entre a presença de vegetação e os padrões de umidade identificados nas imagens.

4.3. ANÁLISE DA GESTÃO HÍDRICA DA BHIC

A análise dos dados obtidos por meio do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos (SIGGAR) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) permitiu caracterizar a distribuição e o tipo de uso das outorgas de direito de uso da água na Bacia Hidrográfica do Igarapé C.

De acordo com o SIGGAR, foram identificadas 249 outorgas de captação subterrânea, das quais 156 possuem o nome da localização no sistema, o que dificulta a avaliação espacial precisa da exploração dos aquíferos. As demais 93 outorgas subterrâneas apresentam coordenadas conhecidas e se concentram principalmente em áreas rurais, voltadas a atividades agrícolas e pecuárias.

Em relação às outorgas de água superficial, o sistema registra 39 unidades, todas com localização identificada e distribuídas ao longo dos principais cursos d'água da bacia. Esses pontos estão majoritariamente associados a usos agropecuários e de pequeno abastecimento.

No banco de dados do SIAGAS, foram localizados 64 pontos de outorga subterrânea relevantes para a BHIC, abrangendo tanto áreas internas quanto margens proximais da bacia. A análise do tipo de uso indica predominância de finalidades como aquicultura, produção de grãos, fruticultura, criação de animais, olericultura, cultivo de gramas e policulturas, além de abastecimento público em menor escala.

Esses resultados evidenciam a multiplicidade de usos dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais na região, reforçando a importância do aprimoramento do cadastro e georreferenciamento das outorgas. Tal medida é essencial para subsidiar o monitoramento, prevenir conflitos pelo uso da água e fortalecer a gestão integrada dos recursos hídricos em consonância com os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A cidade de Boa Vista apresenta histórico recorrente de inundações associadas à influência do Rio Branco e à expansão urbana sobre áreas de várzea. Eventos expressivos, como o de 2011, quando o rio atingiu cerca de 10,28 m acima do nível normal, e o de março de 2025, com 196 mm de chuva em menos de 12 horas, evidenciam a vulnerabilidade da capital frente a eventos extremos de precipitação.

Os impactos incluem alagamentos em bairros periféricos, deslocamento de famílias e prejuízos à infraestrutura urbana, intensificados pela impermeabilização do solo e pela insuficiência do sistema de drenagem.

Essas ocorrências reforçam a necessidade de planejamento integrado e medidas de controle de inundações, envolvendo tanto ações estruturais (como canalizações, diques e reservatórios) quanto não estruturais (como zoneamento urbano, sistemas de alerta e educação ambiental). A adoção combinada dessas estratégias é essencial para reduzir a vulnerabilidade hidroambiental e promover uma gestão hídrica mais resiliente diante das mudanças climáticas.

A gestão hídrica na Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato reflete os desafios observados em grande parte do estado de Roraima, onde a integração entre os instrumentos de gestão — outorga, enquadramento dos corpos hídricos, planos de bacia e monitoramento — ainda se encontra em processo de consolidação. A existência de cadastros incompletos e ausência de georreferenciamento em parte das outorgas, observada nas bases do SIGGAR e do SIAGAS, evidencia fragilidades no controle espacial do uso da água, dificultando o acompanhamento das captações e a avaliação da sustentabilidade dos aquíferos locais.

Além disso, a ausência de um plano de bacia específico e a limitação de dados hidrológicos e hidrogeológicos sistematizados comprometem o planejamento de longo prazo, especialmente diante do crescimento urbano acelerado e do aumento da demanda hídrica para usos agrícolas e domésticos.

Nesse cenário, este estudo contribui ao fornecer subsídios técnicos e espaciais para o fortalecimento da gestão hídrica, ao integrar informações de outorgas, dados de poços e eventos de inundação sob uma abordagem geoespacial. A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e de técnicas de interpolação de dados hidrogeológicos permitiu identificar áreas críticas quanto à disponibilidade e vulnerabilidade dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos.

As principais contribuições potenciais incluem apoiar o georreferenciamento e atualização das outorgas de uso da água, subsidiar o planejamento urbano e o

zoneamento ambiental com base em critérios hidrogeomorfológicos, identificar áreas de risco a inundações e pressão sobre os aquíferos, auxiliando em ações preventivas, fornecer base técnica para futuras políticas públicas voltadas à gestão integrada dos recursos hídricos e ao enfrentamento de eventos extremos.

Dessa forma, a integração entre dados de superfície, subsuperfície e dinâmica hidroambiental representa um avanço metodológico e um instrumento estratégico de apoio à tomada de decisão, favorecendo uma gestão hídrica mais eficiente, participativa e resiliente no contexto amazônico.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a escolha do Modelo Digital de Elevação (MDE) exerce influência determinante sobre a precisão das análises hidrológicas e geomorfológicas. Modelos com maior resolução espacial e correção hidrológica, como o FABDEM e o COP 30, apresentaram resultados mais condizentes com as feições reais do relevo, ainda que não representassem a maior área delimitada da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato (BHIC). Por outro lado, os modelos SRTM e ALOS PALSAR apresentaram maior generalização topográfica e ausência de correções hidrológicas, o que ocasionou a inclusão indevida de áreas sem contribuição efetiva à drenagem. Os modelos NASADEM e ANADEM, embora menos precisos, mostraram-se adequados como ferramentas complementares, desde que validados com dados de campo e corrigidos a partir de imagens ópticas de alta resolução.

A abordagem metodológica escalonada, fundamentada na integração de diferentes MDEs, ortomosaicos de drone, validação altimétrica e interpretação multitemporal, resultou em uma delimitação técnica robusta e replicável da bacia, cuja área final foi estimada em 109,372 km². Esse valor representa um avanço significativo em relação a estudos anteriores e reflete o aprimoramento contínuo do processo de delimitação hidrográfica. A incorporação da área D, anteriormente não reconhecida como integrante da BHIC, foi confirmada por meio da integração de dados altimétricos, hidrológicos e de alta resolução, além da análise de séries históricas, consolidando a coerência da metodologia aplicada.

A caracterização fisiográfica da BHIC indicou um ambiente de elevada vulnerabilidade hidrológica, marcado pela predominância de latossolos amarelos, planícies suavemente onduladas e presença de vegetação de savana com florestas de galeria. Essas condições naturais favorecem a ocorrência de zonas úmidas e áreas alagadiças sazonais, nas quais os processos de recarga e extravasamento são fortemente influenciados pelo relevo e pelo uso do solo.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, os mapas de profundidade e potencial hidráulico elaborados neste estudo evidenciam um fluxo subterrâneo coerente com o escoamento superficial (norte-sul), delimitando áreas prioritárias de recarga e descarga. Entretanto, a densidade reduzida de pontos monitorados ainda limita o detalhamento da modelagem piezométrica, demonstrando a necessidade de

ampliação da rede de observação para aprimorar o entendimento do comportamento hídrico subterrâneo da bacia.

A caracterização ambiental da BHIC, fundamentada na integração de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento, possibilitou compreender de forma abrangente a dinâmica hídrica e ambiental local. A aplicação dos índices espectrais NDVI, SAVI, NDWI e MNDWI, associada à análise de uso e ocupação do solo e ao histórico de focos de calor e queimadas, evidenciou uma paisagem marcada pela predominância de áreas agrícolas e solos expostos, enquanto os remanescentes florestais se restringem às margens do igarapé e às zonas de transição savana-floresta. Tais áreas desempenham papel essencial na manutenção da umidade, estabilidade ecológica e recarga hídrica da bacia.

Os resultados dos índices de vegetação e umidade indicaram baixo vigor vegetativo em áreas antropizadas e umidade sazonal concentrada nas regiões de menor altitude e ao longo da calha principal — características típicas das savanas amazônicas. A sobreposição entre cicatrizes de queimadas e áreas agrícolas revelou a existência de processos de degradação recorrentes, que comprometem a regeneração natural e aumentam a vulnerabilidade da bacia frente a eventos extremos, como estiagens e inundações.

No campo da gestão hídrica, a análise dos bancos de dados SIGGAR e SIAGAS revelou fragilidades no controle e no monitoramento das outorgas de uso da água, especialmente devido à ausência de georreferenciamento em parcela expressiva dos registros. Essa limitação reflete uma realidade observada em grande parte do estado de Roraima, onde a integração entre os instrumentos de gestão — como outorga, enquadramento, planos de bacia e monitoramento — ainda se encontra em fase de consolidação institucional.

Apesar dessas restrições, o presente estudo oferece subsídios técnicos e espaciais relevantes para o fortalecimento da gestão integrada dos recursos hídricos da BHIC. A utilização de diferentes MDEs, associada a técnicas de interpolação hidrogeológica e análise multiespectral, permitiu identificar áreas críticas de recarga, vulnerabilidade e risco de inundação, constituindo uma base técnica sólida para o planejamento territorial e o uso sustentável da água.

Durante os períodos de seca (2016 e 2023), observou-se uma acentuada redução da conectividade hídrica, acompanhada da diminuição da visibilidade dos cursos d'água secundários, fenômeno associado ao rebaixamento do nível de base e

à interrupção de drenagens intermitentes — comportamento típico das áreas de lavrado roraimense em eventos de estiagem prolongada. Em contrapartida, nos períodos chuvosos (2021 e 2024), verificou-se um aumento expressivo da malha hídrica, com o restabelecimento do fluxo contínuo em áreas anteriormente desconectadas, reforçando a coerência e a precisão da delimitação hidrográfica proposta.

O Mapa de Profundidade do Nível Estático (fig. 32), gerado a partir da interpolação dos dados do SIAGAS e de medições de campo, revelou uma variação entre 0 m e +2,10 m, indicando alta vulnerabilidade do aquífero local. As regiões centrais e sudeste apresentaram níveis freáticos rasos, associados a maior recarga direta e possível surgência freática, enquanto a porção oeste exibiu níveis mais profundos, sugerindo maior espessura de zona não saturada e menor influência do escoamento superficial.

As cotas potenciométricas variaram entre 63,66 e 87,83 m no período seco e 62,00 e 90,50 m no período chuvoso, com fluxo predominante de norte para sul, em consonância com o gradiente topográfico e o curso principal do igarapé. As zonas de recarga hídrica concentram-se no setor norte, enquanto as de descarga ocorrem ao sul, próximas à área urbana e ao exutório, configurando regiões de maior exploração hídrica. O padrão espacial das cotas piezométricas indica um aquífero homogêneo, com boa conectividade entre os compartimentos hidrogeológicos e variações locais de condutividade hidráulica possivelmente associadas à litologia.

A análise dos índices de vegetação NDVI e SAVI reforçou o predomínio de cobertura vegetal secundária e áreas agrícolas, com valores moderados a baixos de vigor vegetativo. As maiores respostas ocorreram nas faixas de floresta de galeria e vegetação ciliar, enquanto os menores valores concentraram-se nas zonas agrícolas e urbanas, evidenciando estresse vegetativo e forte pressão antrópica.

O mapeamento de uso e ocupação do solo, elaborado a partir dos dados do MapBiomas (2024), confirmou o predomínio de áreas agrícolas e cultivos arbustivos e herbáceos, compondo uma matriz antrópica voltada à agropecuária. Contudo, análises complementares demonstraram que boa parte dessas áreas corresponde a solos expostos e vegetação nativa rasteira. As formações florestais remanescentes concentram-se ao longo das margens do igarapé e em pequenas manchas dispersas, constituindo corredores ecológicos relevantes. As áreas sem vegetação localizam-se

predominantemente na região sul, associadas à expansão urbana e à ocorrência de processos erosivos.

No período entre 2016 e 2024, foram registrados seis focos de calor em 2024, um em 2022 e cinco em 2016, não havendo registros diretos na bacia em 2018 e 2020, embora com ocorrências no entorno, totalizando doze focos. Essa redução demonstra avanços no controle das queimadas. As cicatrizes mapeadas entre 2016 e 2023 totalizaram 32,333 km² (DETER) e 20,602 km² (SIGGAR), correspondendo a 29,56% e 18,84% da área total da bacia, respectivamente. Embora expressivas, essas cicatrizes não indicam impactos significativos sobre o equilíbrio hidrológico ou sobre a regeneração da vegetação.

No que se refere às outorgas de uso da água, o SIGGAR identificou 249 captações subterrâneas, das quais apenas 156 possuem localização nominal e 93 apresentam coordenadas geográficas conhecidas, concentrando-se majoritariamente em áreas rurais voltadas à produção agrícola e pecuária. As 39 outorgas de captação superficial registradas encontram-se distribuídas ao longo dos principais cursos d'água, associadas a usos agropecuários e de pequeno abastecimento. O banco de dados SIAGAS registrou 64 poços relevantes para a BHIC, empregados em atividades de aquicultura, produção de grãos, fruticultura, criação de animais, olericultura, cultivo de gramas e abastecimento público.

Esses resultados demonstram a multiplicidade de usos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e evidenciam a necessidade de aprimorar o monitoramento, o georreferenciamento e a integração dos sistemas de informação voltados à gestão dos recursos hídricos regionais.

Em síntese, a integração entre dados de superfície, subsuperfície e dinâmicas hidroambientais consolidou um avanço metodológico e estratégico, configurando-se como uma ferramenta eficaz de apoio

REFERÊNCIAS

ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (ACIESP). **Glossário de ecologia**. v. 2. São Paulo, 1987.

ACRE. **Lei nº 1.500, de 15 de julho de 2003**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Acre. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br>. Acesso em: 29 jan. 2024.

AGÊNCIA FAPESP. El Niño, mudanças climáticas e desmatamento: cientistas explicam o que pode estar por trás da seca da Amazônia. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/el-nino-mudancas-climaticas-e-desmatamento-cientistas-explicam-o-que-pode-estar-por-tras-da-seca-da-amazonia/50082>. Acesso em: 16 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Base de dados hidrográficos do Brasil**. Brasília, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Base de dados hidrográficos do Brasil. Brasília: ANA, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Documento técnico**. Brasília: ANA, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Indicadores de qualidade: Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Brasília: ANA. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portalnqa/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 26 jan. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Nota Técnica nº 3/2025/CCOGI/SHE-SEI: ANADEM – Modelo Digital de Terreno da ANA**. Brasília: ANA, 2025. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em: 17 set. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Brasília: SAG, 2011. 64 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **O Progestão em Roraima: síntese do primeiro ciclo do programa (2014–2018)**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://progestao.ana.gov.br/mapa/rr/progestao-1/progestao_rr_2015.pdf. Acesso em: 28 jan. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Sistemas aquíferos**. Brasília: ANA, 2013.

ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. **Stream ecology: structure and function of running waters**. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2007.

AMAPÁ. Governo do Estado do Amapá. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA). Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/AP). Disponível em: <https://sema.portal.ap.gov.br/conteudo/legislacao/resolucoes>. Acesso em: 5 jan. 2024.

AMAZONAS. **Lei nº 2.712, de 28 de dezembro de 2001**. Disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: https://sapl.al.am.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2001/7167/7167_texto_integral.pdf. Acesso em: 29 jan. 2024.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46–58, jun. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Estudos hidrogeológicos**. 2023. Disponível em: <https://www.abas.org/publicacoes/estudos-hidrogeologicos/>. Acesso em: 30 jan. 2024.

ATMAN, D. et al. (ed.). **As águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2022. 220 p. (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos, v. 5). ISBN 978-65-88101-26-1 (Digital). ISBN 978-65-88101-29-2 (Impresso).

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BAHIA, V. E. **Avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico na área do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará**. 2017. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade da Bahia, Pará, 2017.

BARBOSA, R. I. (org.). **Lavrado de Roraima: caracterização, biodiversidade, populações humanas e conservação na maior savana do Norte da Amazônia brasileira**. Manaus: Editora INPA, 2025. 150 p. DOI: 10.61818/56330693. ISBN 978-65-5633-069-3.

BARBOSA, R. I. et al. Áreas úmidas das savanas de Roraima. In: JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. (org.). **Inventário das áreas úmidas brasileiras: distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento**. Cuiabá: Carlini & Caniato Editorial, 2024. ISBN 978-85-8009-353-7.

BARBOSA, R. I. et al. The “Lavrados” of Roraima: biodiversity and conservation of Brazil’s Amazonian savannas. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 1, n. 1, p. 29–41, 2007.

BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (org.). **Homem, ambiente e ecologia em Roraima**. Manaus: INPA, 1997. 775 p.

BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J.; CASTRO, A. A. J. F.; CAMPOS, C.; SOUSA, H. A. **Lavrado de Roraima: aspectos ecológicos e dinâmicos da paisagem**. Boa Vista: UFRR, 2021.

BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; COSTA E SOUZA, J. M. (ed.). **Savanas de Roraima: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris**. Boa Vista: FEMACT-RR, 2004. 202 p.

BARNI, P. E. et al. Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 420–436, 2022.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARRETO, D. N. Desenvolvimento e aplicação de sensores ópticos miniaturizados para análise de gases e voláteis em amostras ambientais, alimentícias e biológicas. 2024. 151 f. **Tese (Doutorado em Química)** – Instituto de Química, **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2024. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.642>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BECEGATO, V. A.; FERREIRA, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, p. 371–405, 2005.

BEZERRA, J. S. **Avaliação da qualidade da água no açude Quixeramobim, semi-árido cearense, utilizando sensoriamento remoto**. 2024.

BIRITI, C. O.; BARBOSA, H. A. **Um século de secas: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro?** [S.l.]: Chiado Books, [s.d.].

BORDALO, A. O. et al. **Ecosistemas aquáticos: tópicos especiais**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

BORTOLOZO, J. L. **Inversão conjunta 1D e 2D de dados de eletrorresistividade e TDEM aplicados em estudos de hidrogeologia na bacia do Paraná**. 2016. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BRAGA, A. C. D. O. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 1, p. 1–8, 2008.

BRAGA, A. C. O. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática**. 2006. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6484: solo – sondagens de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece critérios e diretrizes para a Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58–63. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 91, de 2 de dezembro de 2008**. Regulamenta aspectos específicos de qualidade ambiental relacionados ao enquadramento dos corpos de água. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 dez. 2008. Seção 1.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 410, de 4 de maio de 2009**. Define critérios técnicos complementares para o lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 6 maio 2009. Seção 1.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 maio 2011.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Define os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 maio 2021. Seção 1, p. 110.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Curitiba: CPRM, 2008. p. 77–91.

CALVELLI, J. V. B.; NEHME, T. M.; OCCHIUTTO, A. A. **Contaminantes emergentes: uma visão ecotoxicológica sobre o impacto dos fármacos no meio ambiente e na saúde pública**. [S.l.]: Atena Editora, 2023.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 3–11.

CAMPOS, Alexandra. **A água, gênero e desenvolvimento**. In: *7º Congresso Ibérico de Estudos Africanos*, 2010, Lisboa. *Anais...* Lisboa: [s.n.], 2011. Disponível em: <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/2202>. Acesso em: 22 jul. 2019.

CANATA, R. et al. Integração dos métodos geofísicos de eletrorresistividade, polarização induzida e eletromagnético em aterro sanitário de Guaratuba-PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 74, n. 1, 2018.

CARVALHO, E. B. F. Bioestimulador como estratégia para redução da concentração de amônia em viveiros escavados. 2025. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)** – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2025. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/52180d90-4b90-46e9-b40c-f16d651aca29>. Acesso em: 29 dez. 2025.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil: suggestions for future studies. **Quaternary Science Journal**, v. 61, p. 146–155, 2012.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Paisagens e ecossistemas. In: SILVEIRA, E. D.; SERGUEI, A. F. C. (org.). **Socioambientalismo de fronteiras: relações homem-ambiente na Amazônia**. Curitiba: Juruá, 2015. p. 43–68.

CARVALHO, T.; MORAIS, R. Aspectos hidrogeomorfológicos do sistema fluvial do baixo rio Uraricoera e alto rio Branco como subsídio à gestão de terras. **Geografia – Artigos Científicos**, Belo Horizonte, v. 10, n. 2, p. 118–135, 2014.

CATLING, D. C. Oxigenação da atmosfera da Terra. In: **Enciclopédia de Astrobiologia**. Berlim; Heidelberg: Springer, 2023. p. 2219–2229.

CECH, T. V. **Recursos hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão**. Tradução de E. F. Paim; L. C. Q. Faria; R. A. Carlos. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CERQUEIRA, M. et al. Qualidade da água e seu impacto na qualidade microbiológica do leite. In: MESQUITA, A. J.; COELHO, K. O. **Perspectivas e avanços na qualidade do leite no Brasil**. Goiânia: Talento, 2006. p. 273–290.

COLLARES, E. G. Avaliação de alterações em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari-SP. 2000. 211 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336 p. (Coleção ABRH; 12).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 2 fev. 2024.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DE RORAIMA (CAER). **Saneamento**. Disponível em: <https://www.caer.com.br/saneamento/>. Acesso em: 28 jan. 2025.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DE RORAIMA (CAER). **Saneamento**. Disponível em: <https://www.caer.com.br/saneamento/>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CONICELLI, B. P. **Gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SP)**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CORREIA, N. F. et al. Obtenção de MDE corrigido para delimitação de bacia hidrográfica com auxílio de geotecnologias livres. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, p. 217–225, 2017.

COSTA, Nayara Kelly Alves. Monitoramento físico-químico e microbiológico da água da lagoa do Paó: a microfiltração como proposta de melhoria da potabilidade. **2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)** – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/34776>. Acesso em: 29 dez. 2025.

CRIPPEN, R. et al. NASADEM global elevation model: methods and progress. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 41, p. 125–128, 2016.

DA SILVA, F. L. et al. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626–1653, 2021.

DA SILVA, M. J. E.; DA SILVA, F. G. P. Importância dos rios em cidades amazônicas: um estudo de caso em Boa Vista–Roraima, Brasil. **Acta Geográfica**, v. 16, n. 41, 2022.

DE ARAÚJO, Anderson Silva. Comparação entre os padrões de potabilidade nacional e internacionais quanto à presença de agrotóxicos. 2018. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2016.

DIAS, I. G. S. **Política de Recursos Hídricos de Roraima: implementação e transparência de informações**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Águas) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2020.

DIAS, N. S.; SILVA, M.; GHEYI, H. R. (org.). **Recursos hídricos: usos e manejos**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

DINIZ, J. A. O. et al. **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: nota técnica**. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/15556/1/rel_mapa_hidrogeo_brasil.pdf. Acesso em: 2 fev. 2024.

DORNELAS, A. B. Efeito diurético da *Hibiscus sabdariffa* L. sobre o volume urinário e o perfil eletrolítico de sódio, potássio e cloro: uma revisão de literatura. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

EVANGELISTA, R. A. O.; WANKLER, F. L. O problema da escassez de informações para a gestão das águas subterrâneas no extremo norte do Brasil: o caso do Sistema Aquífero Boa Vista. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 15., 2008, Natal. *Resumos expandidos*. Natal, 2008.

FALCÃO, M. T.; OLIVEIRA, S. K. S. D. Impactos na paisagem da microbacia do Igarapé Carrapato decorrentes da ocupação, zona rural de Boa Vista – Roraima. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 14, n. 1, p. 38–45, 2021.

FARR, T. G. et al. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, 2007.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008.

FÉLIX, M.B. Efeito do uso do solo na qualidade de águas superficiais em áreas de influência urbana na cidade de Boa Vista – RR. 2021. Tese (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2021.

FERNANDES, U. Monumentos: a simbologia no olhar sobre a natureza monumental de Copacabana. In: **Velhos saberes, novas abordagens: a Geografia à luz da contemporaneidade**. 2016. p. 75.

FILHO, J. M. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coords.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; LABHID; UFPE, 1997. v. 2, p. 13–33.

FONSECA, J. F. G.; AZEVEDO, G. F. Uso de ensaios tipo SPT para a análise de capacidade de carga de fundações em termos determinísticos e probabilísticos. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 10, n. 1, p. 17712, 2024.

FORCE. **Drones na agricultura: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor**. Porto Alegre: Floresta & Agricultura, 2016. Disponível em: <https://www.pixforce.com.br/post/drones-na-agricultura-tudo-sobre-a-tecnologia-que-esta-mudando-o-setor>. Acesso em: 1 ago. 2023.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington, DC: Banco Mundial, 2006.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, A. C. F.; BARBOSA, J. B. T. R.; RIBEIRO, J. M. R. Entendendo a dureza e a qualidade da água por meio da aprendizagem baseada em problemas. 2017. **Material didático**. Brasília, DF: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), 2017.

FUCCILLE, L. A.; BRAGATTI, M. C.; LEITE, M. L. T. A. Geopolítica dos recursos naturais na América do Sul: um panorama dos recursos hídricos sob a ótica da segurança internacional. **Mural Internacional**, v. 8, n. 1, p. 59–75, 2017.

FURTADO, Z. N.; OLIVEIRA, J. N.; DE LOLLO, J. A. Investigação confirmatória de contaminação do subsolo por hidrocarbonetos em um posto de combustível em Araçatuba–SP. **Águas Subterrâneas**, 2006.

G1 RORAIMA. Boa Vista decreta estado de emergência devido à forte seca e estiagem em 2024. Boa Vista, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2024/03/19/boa-vista-decreta-estado-de-emergencia-devido-a-forte-seca-e-estiagem-em-2024.ghtml>. Acesso em: 16 out. 2025.

G1 RORAIMA. Chuva alaga ruas e casas no Pedra Pintada, em Boa Vista: “um verdadeiro rio”, diz moradora. Boa Vista, 12 abr. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/chuva-alaga-ruas-e-casas-no-pedra-pintada-em-boa-vista-um-verdadeiro-rio-diz-moradora.ghtml>. Acesso em: 16 out. 2025.

G1. Roraima registra piores enchentes dos últimos 35 anos. São Paulo, 6 jun. 2011. Disponível em: <https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/06/roraima-registra-piores-enchentes-dos-ultimos-35-anos.html>. Acesso em: 16 out. 2025.

GABRIEL, F; COSTA, R; NAVONI, J. Açúcar ou adoçante: uma história sobre os contaminantes emergentes. 2023. **Material didático**. Natal, RN: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2023.

GALDEANO, L. R. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação de plumas de contaminação em aterros sanitários**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

GASTMANS, D.; DE LIMA, C. (ed.). **As águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2022. 220 p. (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos, v. 5). ISBN 978-65-88101-26-1 (digital). ISBN 978-65-88101-29-2 (impresso).

GIANUCA, K. S. Modelagem espacial para a avaliação de serviços ecossistêmicos hidrológicos (SEH) em bacias hidrográficas: estudo de caso da Bacia da Lagoa Mirim–RS, Brasil. 2024. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

GODOY, M. B. **Reservatório de uso industrial e seus impactos: estudo de caso**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GONZÁLEZ, F. H. D. Bioquímica clínica. In: **Patologia clínica veterinária: texto introdutório**. 2008. p. 140.

GOVERNO DO ESTADO DE RORAIMA. **Mapa hidrográfico do município de Boa Vista, em Roraima**. Elaborado em 2015. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento (SEPLAN); Centro de Geotecnologia, Cartografia e Planejamento Territorial (CGPTERR). Disponível em: <https://seplan.rr.gov.br/mapoteca/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 768 p.

GRYCZAK, M. **Estudo do uso de polietileno de baixa densidade reciclado na mitigação dos impactos ambientais gerados pela drenagem ácida provenientes da mineração de carvão do Sul de Santa Catarina**. 2020.

GUEDES, H. A. S. **Modelagem da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do rio Pomba**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M. W. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 12., 2002, Santa Catarina. *Anais...* Santa Catarina, 2002. p. 113.

GUTH, P. L. et al. Digital elevation models: terminology and definitions. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3581, 2021.

GUZZO, Fernando Rodrigues. Barragem de amortecimento para conter as inundações na cidade de João Neiva/ES. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Nova Venécia, Nova Venécia, 2021.

HAWKER, L. et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022.

HEATH, R. C. **Basic ground-water hydrology**. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 1983. (USGS Water-Supply Paper).

HIRATA, R. et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2019.

HISCOCK, K. M.; BENISE, V. F. **Hydrogeology: principles and practice**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **BDIA: Banco de Dados e Informações Ambientais**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 2 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 1). ISBN 978-85-240-4272-0.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa>. Acesso em: 2 fev. 2024.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Monitoramento da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais: resumo executivo anual – 2023. Belo Horizonte: IGAM, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Dados de queimadas e desmatamento na região Norte: BDQueimadas, PRODES, DETER**. São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://www.inpe.br>. Acesso em: 3 out. 2025.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico, 2008. 104 p.

JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo: desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 209–226, 2021.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). ALOS PALSAR radiometric terrain corrected products. Tóquio: JAXA, 2015.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Sensoriamento remoto do ambiente. In: **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. p. 1–34.

JOLY, F. **A cartografia**. São Paulo: Papirus, 2005.

JÚNIOR, A. P. M.; DE PAULA BARROS, L. F. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

LAGES, A. D. S. et al. Índice de Qualidade de Água (IQA) para ambientes amazônicos usando estatística multivariada. **Peer Review**, v. 5, n. 11, p. 306–323, 2023.

LARENTIS, Dante Gama. Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas–RS. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEIRA, M. H. et al. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **Pubvet**, v. 11, n. 1, p. 11–17, 2017.

LEMO, Ewerton Muller Almeida. Expansão urbana no rio Cuiá em João Pessoa: contextualização do cenário atual e propostas para intervenções no trecho limítrofe dos bairros Valentina e Mangabeira. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2022.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LIMA, A. V. **Avaliação da área de preservação permanente da calha do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu, Manaus, AM**. 2023. 48 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA) – Universidade do Estado do Amazonas, Escola Normal Superior, Manaus, 2023.

LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ; USP, 1976.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 33–43.

LOPES, I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco por meio de dados SRTM em softwares livres. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, p. 31–40, 2018.

LORD, Selborne. A ética do uso da água doce: um levantamento. Paris: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), 2001.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. F. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MALUNGO, Ramiro Paxe. Indicadores ambientais em áreas impactadas pela mineração de carvão: avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea na bacia hidrográfica do rio Urussanga, Santa Catarina, Brasil. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2023.

MANZIONE, R. L. Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações sob uma visão Multidisciplinar; Jundiaí, Paco Editorial, 2015.

MANZIONE, Rodrigo Lilla. Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. 388 p. ISBN 978-85-8148-786-1.

MARTINS, C. R. et al. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, v. 5, p. 28–41, 2003.

MARTY, B. Atmosfera da Terra: origem e evolução. In: **Enciclopédia de Astrobiologia**. Berlim; Heidelberg: Springer, 2023. p. 859–863.

MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. D. O.; GUIMARÃES, R. M. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena, Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 695–708, mar. 2016.

MEDEIROS, W. V. S. **Proposta de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos para uma estação de tratamento de água**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

MELCHOR, M. E.; GATTO, C. **Gestão de recursos hídricos: teoria e prática**. São Paulo: Editora Hídros, 2021.

MELO, C. B.; SOUZA, J. R. **Águas subterrâneas e sustentabilidade: desafios e soluções**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista – Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 478–489, 2007.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista – Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 478–489, set. 2007. Disponível em: <https://www.sbgeo.org.br>. Acesso em: 4 out. 2025.

MESTRINHO, S. S. P. Qualidade e classificação das águas subterrâneas. In: GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 496.

MONERÓ, T. O.; DOS SANTOS, C. E. M. Aspectos toxicológicos da exposição ao hidróxido de amônio. **RevInter – Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 62–84, fev. 2014.

MONITORAMENTO, H. Gastech. **E-commerce**. Disponível em: <http://www.hidrosuprimentos.com.br/gastech.php>. Acesso em: 2 fev. 2024.

MORAES, V. A. M. Água alcalina: questão fundamental. **Revista Brasileira de Práticas Integrativas e Complementares em Saúde**, v. 3, n. 3, p. 21–46, 2014.

MORAIS, J. L. M.; FADUL, É.; CERQUEIRA, L. S. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do Nordeste do Brasil. **REAd – Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)**, v. 24, p. 238–264, 2018.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: água potável e saneamento**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 1 jul. 2024.

NASCIMENTO, F. L.; PACHECO, A. E. S. D. Descrição dos perfis de solos em dois municípios do Estado de Roraima, Brasil. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, v. 3, n. 1, p. 45–56, 2021.

NASCIMENTO, Rogéria Mendes do. Impactos dos agrotóxicos na contaminação ambiental da produção de hortaliças no Baixo Rio Natuba, Pernambuco. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

NOBRE, Leuda Martins et al. Degradação ambiental em área de preservação permanente do Igarapé Carrapato, em Boa Vista, Roraima: reflexos decorrentes dos usos múltiplos da água. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

O'NEILL, H. St. C.; HERBERT, P. Collisional erosion and the non-chondritic composition of the terrestrial planets. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 366, p. 4205–4238, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0111>.

ODUM, Eugene Pleasants. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p. ISBN 8520102492.

OLIVEIRA, A. J. et al. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140–64149, 2020.

OLIVEIRA, C. P. M. **Plataforma de análise e simulação hidrológica – PLASH**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, G. A. **Formação do técnico em geoprocessamento: uma proposta de análise de dados geoespaciais para tomadas de decisões em planejamento urbano**. 2023.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas por meio de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 819–825, 2010.

OLLI, G.; DARRACQ, A.; DESTOUNI, G. Field study of phosphorous transport and retention in drainage reaches. **Journal of Hydrology**, v. 365, n. 1, p. 46–55, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.039>.

PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de (org.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), 2001. 628 p. ISBN 978-97-8858-868-2.

PALSAR. **Radiometric terrain corrected (RTC) low resolution**. Material © JAXA/METI, 2007. Acesso por meio de <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em: jan. 2020.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). **Portal institucional**. 2019. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2019; 6 jan. 2024.

PEREIRA, G. A.; OLIVEIRA, G. H.; PINTO, A. L. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia–MS. **Revista Geomae**, v. 1, n. 1, p. 69–82, 2010.

PESLIER, A. H. et al. Water in the Earth's interior: distribution and origin. *Space Science Reviews*, v. 212, p. 743–810, 2017. DOI: 10.1007/s11214-017-0387-z.

PESSOA, V. N. et al. Análise espacial dos impactos ambientais da cobertura da terra da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato, município de Boa Vista–Roraima. **Acta Geográfica**, v. 17, n. 45, p. 1–15, 2023.

PESSÔA, V. N.; SANDER, C. Os múltiplos usos das águas nas propriedades que possuem outorga na bacia hidrográfica do igarapé Carrapato no município de Boa Vista–Roraima. In: **ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE (ENANPEGE)**, 14., 2021, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/77965>. Acesso em: 29 jan. 2025.

PINTO, Ana. Metodologias de avaliação da vulnerabilidade à poluição e definição de perímetros de proteção dos recursos hídricos subterrâneos em Viqueque, Timor-Leste. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 2016.

QUEIROZ, Daniel Augusto Andrade de. Análise físico-química da água das residências no município de Ereré–CE. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 1–37.

REBOUÇAS, A. C.; FEITOSA, F. A. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. Influência do lançamento de esgotos na qualidade das águas do aquífero aluvial do rio Sucuru, no município de Sumé–PB. In: GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

REIS NETO, R. A. **Geomorfologia e neotectônica da bacia do rio Cauamé**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.

RODRIGUES, A. S.; SANDER, C.; WANKLER, F. L. Vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Boa Vista (ABV) na área urbana de Boa Vista, Roraima. In: TEIXEIRA, S.; LISBOA, C. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG – Núcleo Norte, 2019. v. 11, p. 37–50.

ROLIM, A. C. M. R. **Proposta de criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Carrapato, Boa Vista–RR**. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Águas) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2021.

RONDÔNIA. **Lei nº 255, de 25 de janeiro de 2002**. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia. Disponível em: https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/50682/Lei_2725_13_06_2001.html. Acesso em: 29 jan. 2024.

RORAIMA. **Decreto nº 8.121-E, de 12 de julho de 2007**. Regulamenta o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, ano XVI, n. 617, p. 1–3, 2007.

RORAIMA. **Decreto nº 8.122-E, de 12 de julho de 2007**. Cria o Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Boa Vista, 2007.

RORAIMA. **Decreto nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007**. Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Roraima. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, ano XVI, n. 617, p. 4–9, 2007.

RORAIMA. **Lei Estadual nº 815, de 7 de julho de 2011**. Dispõe sobre a transformação da FEMACT/RR e do IDEFER. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, 7 jul. 2011.

RORAIMA. **Lei nº 547, de 23 de junho de 2006**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, ano XVI, n. 362, p. 1–8, 2006.

SALGADO, A. A. R. et al. Rearranjos de drenagem na porção setentrional da Bacia Amazônica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 3, 2021.

SANCHES, A. D. R. **Avaliação da infiltração de água em três classes de solos na savana de Roraima**. 2017. Monografia – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias-primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 35–49, 2016.

SANTOS, A. R.; BARBOSA, R. I.; SOUSA, H. A. Análise das métricas dos sistemas lacustres temporários no Lavrado. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 455–472, 2020. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br>. Acesso em: 3 out. 2025.

SANTOS, Alejandro. Sódio, potássio, cloro e bicarbonato da dieta: efeitos na pressão arterial e doença cardiovascular. *Revista Factores de Risco*, n. 14, p. 44–49, ago. 2009.

SANTOS, P. A. D. S. et al. **Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica do aquífero Boa Vista na bacia do rio Cauamé–RR**. 2020.

SANTOS, Pedro Antônio Doria Santiago dos et al. Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica do aquífero Boa Vista na bacia do rio Cauamé–RR. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2020.

SCALIZE, P. S.; BEZERRA, N. R. **Curso de especialização de saneamento e saúde ambiental: saneamento básico rural**. 1. ed. Goiânia: CEGRAF/UFG, 2020.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geodiversidade do Estado de Roraima**. HOLANDA, J. L. R. et al. (org.). Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16775>. Acesso em: 2 fev. 2024.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil**. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. CD-ROM.

SHORTTLE, O. et al. Impact sculpting of the early Martian atmosphere. **Science Advances**, v. 10, n. 37, p. eadm9921, 2024.

SILVA, E. R. A. et al. (ed.). Agenda 2030: ODS – metas nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2018.

SILVA, G. G. **O fósforo nas estações de tratamento de efluentes de Florianópolis: situação atual e perspectivas futuras**. 2023. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SILVA, J. F. D. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 263–280, 2019.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, R. I.; SOUSA, H. A. Diferenças ecológicas entre ambientes alagados e secos no Lavrado. **O Eco**, 2019. Disponível em: <https://oeco.org.br>. Acesso em: 3 out. 2025.

SILVA, Josemar Moreira da et al. Caracterização de áreas de restrição de uso na bacia hidrográfica do igarapé Carrapato, município de Boa Vista–Roraima. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

SILVA, K. T. R. **Área de antigo lixão sob a perspectiva da geofísica ambiental: porção urbana do município de Boa Vista–RR (zona oeste)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2023.

SIMPLÍCIO, N. C. S. **Ecotoxicidade de fertilizantes: análise comparativa entre produtos à base de nitrogênio, fósforo e potássio e seus ingredientes ativos isoladamente**. 2015. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH). **Atlas de recursos hídricos**. 2013. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/4-I-TEXT0.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SLATER, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1980. 575 p.

SOBRINHO, T. A. et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 46–57, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>.

SOLDERA, B. C. **Monitoramento dos níveis freáticos do aquífero Bauru (Formação Adamantina) no município de Assis–SP**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2011.

SUTTON, A. J.; FISHER, T. R. Historical changes in water quality at German Branch in Choptank River Basin. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 199, n. 4, p. 353–369, 2009.

TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

THOMÉ, L. M. A. **Considerações sobre a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Boa Vista na porção central do Polo III do Projeto de Assentamento Nova Amazônia, Boa Vista–RR**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2023.

TOCANTINS. **Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/499515/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

TOLEDO, J. C. N.; TOLEDO, M. A. N. (ed.). **Manual do usuário: eletro-resistivímetro X5**. Versão 5.9. Alvinópolis, MG: Auto Energia, Departamento de Geofísica, 2022.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhaes, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

VASCONCELOS, M. B. Poço para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e propostas de nomenclatura. **Águas Subterrâneas**, 2014.

VIANA, L. A. et al. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 3, p. 286–298, 2018.

VIEIRA, Arycélia da Silva et al. Análise do uso e ocupação do solo e dos parâmetros físico-químicos da água na bacia hidrográfica do igarapé Carrapato, município de Boa Vista–Roraima. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

VILLARDI, B.; GIORDANO, G.; BARBOSA, O. Turbidez em organismos aquáticos: revisão bibliográfica e suas implicações legais. **Revista do CEFET/RJ**, n. 28, p. 83–92, jul./dez. 2016.

WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C. Sistema aquífero Boa Vista: estado da arte do conhecimento e perspectivas. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 6, n. 12, p. 21–39, 2012.

WARD, R. C.; ROBINSON, M. **Principles of hydrology**. 4th ed. London; Burr Ridge, IL: McGraw-Hill, 2000. xiv, 450 p.

WOESSNER, W. W. **Groundwater–surface water exchange**. Ontario: The Groundwater Project, 2020. 136 p.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. São Paulo: Blucher, 2021.

APÊNDICE

LEI/NORMA/RESOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
Decreto Federal nº 24.643, de 1934	Dispõe sobre águas subterrâneas em seu Título IV, artigos 96 a 101.
Lei nº 6.938/1981	Institui a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Constituição Federal de 1988	A Constituição Federal acaba com o domínio privado da água, determina a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece que os recursos hídricos subterrâneos são de domínio dos Estados.
Lei nº 9.433, de 1997	instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Também, destaca a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, onde uma de suas atribuições é propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos a obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos.
Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998	Trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, regulamentada pelo Decreto n. 3.179, de 21 de setembro de 1999.
Lei nº 9.605, de 1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências para Leis dos Crimes Ambientais.
Lei nº 9.795, de 1999	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
Lei nº 9.984, de 2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas.
RESOLUÇÃO Nº 9, de 2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas – CTAS
RESOLUÇÃO Nº 10, de 2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Gestão de Recursos Hídricos Transfronteiriços – CTGRH
RESOLUÇÃO Nº 16, de 2001	Estabelece critérios gerais para outorga de direito de uso de recursos hídricos
Decreto nº 4.297, de 2002	Regulamenta o inciso II do art. 9 desta Lei, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil.
Resolução CONAMA nº 357, de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterada pelas Resoluções CONAMA Nº 393/2007, Nº 397/2008, Nº 410/2009 e Nº 430/2011
Resolução ANVISA RDC nº 274, de 2005	Fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer a Água Mineral Natural, a Água Natural, a Água Adicionada de sais envasadas e o Gelo para consumo humano.
Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH	CNRH n. 16/2001 - Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos ; CNRH n. 9/2000 - Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas; CNRH n. 15/2001 Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas; CNRH n. 22/2002 - Estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrâneas no instrumento plano de recursos hídricos ; CNRH n. 29/ 2002 - Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais; CNRH n. 58/2006 - Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos (coloca como diretriz do PAS); CNRH n. 65/2006 - Estabelece

	diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental; CNRH nº 91/2008 estabeleceu procedimentos gerais para o enquadramento de corpos de água superficiais e subterrâneos.
Moções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH	Moção n. 35, de 28 de novembro de 2005 - Recomenda a órgãos e entidades ações para fomentar a integração de políticas públicas de recursos hídricos, florestais e de conservação do solo; Moção n. 38, de 7 de dezembro de 2006 - Recomenda a adoção do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS pelos órgãos gestores e os usuários de informações hidrogeológicas; Moção 39, de 7 de dezembro de 2006 - Recomenda a integração dos Sistemas de Informação: SINIMA, SIAGAS, SIGHIDRO, SNIS, SIPNRH e SNIRH.
NBR 12212, de 2006	Exigências para o projeto de um poço tubular
ABNT NBR 12244, de 2006	Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. ABNT NBR 13604:1996 Filtros e tubos de revestimentos em PVC para poços tubulares profundos – Especificação.
Resolução nº 467, de 2006	Dispõe sobre critérios técnicos a serem observados na análise dos pedidos de outorga em lagos, reservatórios e rios fronteirios e transfronteirios
Decreto Estadual nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007	Regulamenta o inciso III, do art. 4º, bem como os arts. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei nº 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
Resolução CONAMA nº 396, de 2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas.
ABNT NBR 15495 - 2, de 2008	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos Granulares Parte 2: Desenvolvimento
Leis Estaduais Complementares nº 149, de 2009	Construção de poço tubular para captação de água subterrânea.
ABNT NBR 15495 - 1:2007 Errata 1, de 2009	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1: Projeto e construção
LEI Nº 12.334, de 2010	Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.
Lei Estadual nº 815, de 2011	Criou a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH), com isso, um dos instrumentos de licenciamento e autorizações para intervenção ambiental do órgão diz respeito a outorga de direito ao uso dos recursos hídricos.
Resolução CONAMA nº 460, de 2013	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
Resolução Cemact/RR nº 1, de 21 de janeiro de 2014.	Dispõe sobre o Programa Estadual de Descentralização da Gestão Ambiental com fins de execução do compartilhamento da gestão ambiental mediante normas de cooperação entre os sistemas federal, estadual e municipal de meio ambiente; define as tipologias

	considerando os critérios de porte, potencial poluidor, natureza da atividade.
Instrução Normativa nº 5, de 2021	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas no Estado de Roraima com uso de Protocolo com parâmetros básicos.
INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 3, de 2022	Dispõe sobre os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação, e a revisão periódica de segurança de barragens de acúmulo de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima, considerando o disposto na Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.
INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 10, de 2022	Disciplina o procedimento de consulta ao IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental e outorga de direito de uso de recursos hídricos em trâmite na Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos-FEMARH.
Lei Complementar nº 323, de 2022	Dispõe sobre a criação do Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de Roraima – ZEE-RR e dá outras providências
Lei nº 1.704, de 15 de julho de 2022	A Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos deverá expedir, por meio de instrução normativa, as diretrizes para exercício de atividades na área das unidades de conservação do Estado até a aprovação dos respectivos planos de manejo
INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, de 2023	O Presidente da Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - FEMARH do Estado de Roraima, no uso das atribuições que lhe confere a Lei Estadual nº. 516, de 10 de janeiro de 2006, especialmente as normas dos artigos 2º, 3º, 4º da mencionada Lei
Lei Nº 14.755, de 2023	Institui a Política Nacional de Direitos das Populações Atingidas por Barragens (PNAB); discrimina os direitos das Populações Atingidas por Barragens (PAB); prevê o Programa de Direitos das Populações Atingidas por Barragens (PDPAB); estabelece regras de responsabilidade social do empreendedor; e revoga dispositivos da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943
Decreto Nº 11.960, de 2024	Dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos órgão consultivo e deliberado integrante da Estrutura de Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional