



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

HENRIQUE MARAVALHA MOLINA

A LEGISLAÇÃO E SUA APLICAÇÃO SOBRE POÇOS DE MONITORAMENTO DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTOS DE SERVIÇO E ABASTECIMENTO NO
CONTEXTO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR

BOA VISTA, RR
2025

HENRIQUE MARAVALHA MOLINA

A LEGISLAÇÃO E SUA APLICAÇÃO SOBRE POÇOS DE MONITORAMENTO DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTOS DE SERVIÇO E ABASTECIMENTO NO
CONTEXTO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR

Projeto de pesquisa apresentado
Programa de Mestrado Profissional em
Rede Nacional em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos, da Universidade
Federal de Roraima, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos.

Área de concentração: Regulação e
Governança de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves da
Silva Filho

BOA VISTA, RR
2025

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

M7221 Molina, Henrique Maravalha.
A legislação e sua aplicação sobre poços de monitoramento de água subterrânea em postos de serviço e abastecimento no contexto do município de Boa Vista-RR / Henrique Maravalha Molina. – Boa Vista, 2025.
63 f. : il. Inclui Apêndice.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Souza.
Corientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1. Legislação ambiental. 2. Poços de monitoramento. 3. Águas subterrâneas. 4. Gestão de recursos hídricos. I. Título. II. Souza, Vladimir de (orientador). III. Silva Filho, Pedro Alves da (coorientador).

CDU – 556.18:349.6(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:
Mariede Pimentel e Couto Diogo - CRB-11/354 - AM

HENRIQUE MARAVALHA MOLINA

**A LEGISLAÇÃO E SUA APLICAÇÃO SOBRE POÇOS DE MONITORAMENTO DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POSTOS DE SERVIÇO E ABASTECIMENTO NO
CONTEXTO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, para a obtenção do grau de mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Instrumentos da política de recursos hídricos. Defendida em 29 de maio de 2025 e avaliada pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Vladimir de Souza – (UFRR)

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

Prof. Dr. Zedequias de Oliveira Júnior – (UFRR)

Dedico este trabalho ao Senhor e Rei Jesus, à minha amada esposa Larissa, às minhas filhas Júlia, Sofia, Lívia e aos meus sobrinhos, Álvaro e Cecília.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, pela saúde e pela força concedida para cursar este mestrado e concluir a presente dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro, Código de Financiamento 001, bem como ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), no âmbito do Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR) e ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, pela oportunidade de formação acadêmica e pela estrutura oferecida para a realização deste curso. Agradeço, ainda, aos professores do Programa, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pelas contribuições ao longo do processo formativo.

À Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), à Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH) e à Agência das Bacias PCJ, pela parceria institucional, apoio técnico e receptividade durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vladimir de Souza, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho, expresse meu sincero agradecimento pelas orientações, sugestões, disponibilidade e contribuições fundamentais para o aprimoramento deste trabalho.

Por fim, à minha família, pelo apoio constante, incentivo e compreensão nos momentos de ausência e dedicação aos estudos, essenciais para a conclusão desta etapa.

“[...] 1 Quando o Senhor restaurou a sorte de Sião, ficamos como quem sonha.² Então, a nossa boca se encheu de riso, e a nossa língua, de júbilo; então, entre as nações se dizia: Grandes coisas o Senhor tem feito por eles.³ Com efeito, grandes coisas fez o Senhor por nós; por isso, estamos alegres. [...]”

(Salmo 126 – Bíblia Sagrada - ARA)

RESUMO

O presente estudo analisa o arcabouço normativo relacionado à implementação de poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de serviço e abastecimento de combustíveis no município de Boa Vista, Estado de Roraima, no contexto do licenciamento ambiental e da proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Parte-se do entendimento de que o monitoramento ambiental constitui instrumento relevante para a prevenção de contaminações associadas ao armazenamento e à comercialização de derivados de petróleo. A pesquisa foi desenvolvida por meio de abordagem exploratória e qualitativa, fundamentada na análise documental e bibliográfica da legislação ambiental federal, estadual e distrital, bem como de normas técnicas e documentos institucionais. Foram examinados instrumentos legais que estruturam o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e o controle da qualidade das águas subterrâneas, com destaque para as Resoluções CONAMA nº 237/1997, nº 273/2000 e nº 396/2008, a Portaria GM/MS nº 888/2021, além de normativas estaduais e distritais aplicáveis ao setor. Também foram analisados documentos técnicos de órgãos gestores, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH). A análise evidenciou a relevância dos poços de monitoramento como ferramentas de controle e acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas. A comparação com experiências normativas de outras unidades da federação demonstrou que a organização de poços de monitoramento em malhas compatíveis com o fluxo subterrâneo constitui prática consolidada no país, associada à detecção precoce de contaminações por compostos orgânicos voláteis, como os hidrocarbonetos aromáticos do grupo BTEX, e à proteção da saúde pública. Como encaminhamento decorrente da pesquisa, foi elaborada uma minuta de projeto de lei municipal destinada ao estabelecimento de critérios técnicos e institucionais para a obrigatoriedade de instalação de poços de monitoramento em postos de combustíveis no município de Boa Vista, contribuindo para o fortalecimento da governança ambiental e da gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-chave: Legislação Ambiental; Poços de Monitoramento; Águas Subterrâneas; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

This study analyzes the regulatory framework related to the implementation of groundwater monitoring wells at fuel service and supply stations in the municipality of Boa Vista, State of Roraima, within the context of environmental licensing and the protection of groundwater resources. It is based on the understanding that environmental monitoring constitutes a relevant instrument for preventing contamination associated with the storage and commercialization of petroleum derivatives. The research was conducted using an exploratory and qualitative approach, grounded in documentary and bibliographic analysis of federal, state, and district environmental legislation, as well as technical standards and institutional documents. Legal instruments that structure the environmental licensing of fuel stations and groundwater quality control were examined, with emphasis on CONAMA Resolutions No. 237/1997, No. 273/2000, and No. 396/2008, Ministry of Health Ordinance GM/MS No. 888/2021, in addition to state and district regulations applicable to the sector. Technical documents from management agencies such as the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) and the Roraima State Foundation for the Environment and Water Resources (FEMARH) were also analyzed. The analysis highlighted the relevance of monitoring wells as tools for environmental control and groundwater quality assessment. A comparison with regulatory experiences from other Brazilian states showed that the organization of monitoring wells into networks compatible with groundwater flow is a consolidated practice in the country, associated with the early detection of contamination by volatile organic compounds, such as aromatic hydrocarbons of the BTEX group, and with the protection of public health. As an outcome of the research, a draft municipal bill was prepared to establish technical and institutional criteria for the mandatory installation of monitoring wells at fuel stations in the municipality of Boa Vista, contributing to the strengthening of environmental governance and the integrated management of groundwater resources.

Keywords: Monitoring wells; Groundwater; Environmental Legislation; Water Quality; Water Resources Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos básicos do poço de monitoramento.....	26
Figura 2 - Mapa da área urbana do município de Boa Vista.....	36
Figura 3 - Climograma da cidade de Boa Vista elaborado com base nos dados adquiridos da Estação Meteorológica Boa Vista A-135 Série Histórica Mensal de 2011 a 2020.....	38
Figura 4 - Mapa Geomorfológico do Município de Boa Vista.....	38
Figura 5 - Mapa de Vegetação do Município de Boa Vista.....	40
Figura 6 - Mapa hidrográfico do Município de Boa Vista.....	40
Figura 7 - Mapa de Solos do Município de Boa Vista.....	43
Figura 8 - Mapa Geológico do município de Boa Vista/RR, mostrando que a área urbana está totalmente inserida na Formação Boa Vista.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dispositivos Legais sobre monitoramento ambiental.....	32
Quadro 2 - Informações extraídas do Projeto de Cooperação Técnica, Atualização e Modernização do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental.	53

LISTA DE ABREVIATURAS

art.	Artigo
nº	Número
pg.	Página
ppb	Partes por bilhão
mg/L	Miligrama por litro
km ²	Quilômetro quadrado
mm	Milímetro
°C	Graus Celsius

LISTA DE SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS
ANP	AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
ART	ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
CAPES	COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
CEP	COMITÊS DE ÉTICA EM PESQUISA
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CONEP	COMISSÃO NACIONAL DE ÉTICA EM PESQUISA
CPRM	COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
CREA	CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA
DNAEE	DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
FEMARH	FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE RORAIMA
IBAMA	INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
NBR	NORMA BRASILEIRA
NR	NORMA REGULAMENTADORA
PNRH	POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROFÁGUA	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
SEMA	SECRETARIA ESPECIAL DE MEIO AMBIENTE
SINGREH	SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
SOC	SUPERINTENDÊNCIA DE OUTORGA E COBRANÇA
UFRR	UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	MONITORAMENTO AMBIENTAL APLICADO À GESTÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE CONTAMINADAS	17
2.2	CONTAMINAÇÃO POR DERIVADOS DE PETRÓLEO	19
2.3	IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A POSTOS DE COMBUSTÍVEIS	21
2.3.1	Contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo.....	22
2.3.2	Comportamento dos hidrocarbonetos no solo e no subsolo.....	22
2.3.3	Riscos à saúde pública associados à contaminação por BTEX	23
2.3.4	Importância do monitoramento ambiental em áreas com postos de combustíveis	24
2.4	POÇOS DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS....	25
2.4.1	Diferença entre poço de monitoramento e poços de captação..	25
2.4.2	Estrutura e componentes dos poços de monitoramento	26
2.4.3	Poços de monitoramento em postos de combustíveis.....	27
2.4.4	Malha de monitoramento e controle de VOC	28
2.4.5	Importância dos poços de monitoramento para a saúde pública.....	29
2.5	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS POSTOS DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	TIPO DE PESQUISA	34
3.2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.2.1	Fisiografia da área de estudo	37
3.2.1.1	Clima	37
3.2.1.2	Geomorfologia.....	38
3.2.1.3	Vegetação	39
3.2.1.4	Hidrografia.....	40
3.2.1.5	Solos	42
3.2.1.6	Geologia.....	43
3.4	FASE DE CAMPO E LIMITAÇÕES DO ESTUDO EMPÍRICO	45

3.5	ANÁLISE DE DADOS	46
3.5	DO PRODUTO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSOES.....	48
4.1	CONTEXTO NO ESTADO DE RORAIMA E UNIDADES DA FEDERAÇÃO COM LEGISLAÇÃO SOBRE O TEMA	48
4.2	NORMATIVAS PARA O MONITORAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTIVEIS NO BRASIL	49
4.3	PROBLEMÁTICA ENCONTRADA E DESAFIOS	54
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	58
	APÊNDICE A - Produto - Minuta de Projeto de Lei Municipal	61

1. INTRODUÇÃO

A atuação da Administração Pública no Brasil é orientada por normas legais que delimitam a ação estatal, destacando-se, no âmbito do Direito Administrativo, o princípio da legalidade, segundo o qual o agente público somente pode agir conforme previsão normativa (DI PIETRO, 2025; MEIRELLES, 2025). No campo da gestão ambiental, o Estado exerce papel central na regulação do uso dos recursos naturais, impondo que atividades potencialmente poluidoras estejam fundamentadas em um arcabouço jurídico adequado (MILARÉ, 2020). Esse ordenamento tem como base a Constituição Federal de 1988, que atribui ao poder público e à coletividade o dever de proteger e preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado (Brasil, 1988; MACHADO, 2026).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022) aponta que o Brasil possui mais de 42 mil postos de combustíveis em operação, sendo 3.505 localizados na Região Norte e 131 no Estado de Roraima, unidade federativa que apresenta o menor número de postos revendedores do país. Os combustíveis fósseis, segundo o Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2022), são formados predominantemente por hidrocarbonetos aromáticos, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), classificados como LNAPL por apresentarem densidade inferior à da água e baixa miscibilidade em meio aquoso. Essas características, conforme a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019), favorecem sua mobilidade e persistência no ambiente subterrâneo em situações de vazamento.

Farina, Rodrigues e Sousa (2013) destacam que a gasolina comercializada no Brasil contém a adição de álcool etílico anidro, em proporções que variam entre 20% e 24%, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 10.203, de 23 de fevereiro de 2001, a qual dispõe sobre a composição dos combustíveis automotivos (BRASIL, 2001). Segundo os autores, essa característica altera o comportamento físico-químico do combustível, aumentando a solubilidade de seus constituintes e ampliando o potencial de mobilidade dos contaminantes no solo e nas águas subterrâneas.

A Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000, classifica os postos de combustíveis como atividades potencialmente poluidoras, em razão do risco de vazamentos e acidentes associados aos sistemas de armazenamento subterrâneo

(BRASIL, 2000). Tais eventos podem resultar na contaminação do solo e das águas subterrâneas, além de elevarem os riscos ambientais e à segurança da população.

No que se refere aos instrumentos de prevenção e controle ambiental, a Resolução CONAMA nº 273 instituiu, em âmbito federal, o monitoramento ambiental em postos de combustíveis (BRASIL, 2000). O Ministério do Meio Ambiente destaca que os poços de monitoramento são instrumentos essenciais para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas e para a detecção precoce de vazamentos, enquanto a Associação Brasileira de Normas Técnicas enfatiza que a adequada implantação desses dispositivos é condição fundamental para garantir a confiabilidade dos dados ambientais (Brasil, 2000; ABNT, 2020).

Contudo, observa-se que, embora exista um conjunto normativo consolidado em âmbito federal, a regulamentação em nível municipal nem sempre acompanha de forma específica essas diretrizes gerais. A doutrina do Direito Ambiental aponta que a ausência de normas locais complementares pode comprometer a efetividade das políticas ambientais, sobretudo no controle de atividades de impacto local, cuja fiscalização compete prioritariamente ao município (MILARÉ, 2018). Nesse sentido, no município de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, a legislação ambiental foi recentemente atualizada pela Lei Complementar nº 25/2024, que institui o Código Ambiental Municipal e, embora não trate especificamente de postos de combustíveis, estabelece diretrizes gerais que podem servir de base para a formulação de normas mais específicas (BOA VISTA, 2024).

Diante desse contexto, evidencia-se a relevância dos poços de monitoramento como instrumentos de prevenção e mitigação de impactos ambientais. O Conselho Nacional do Meio Ambiente reconhece o monitoramento das águas subterrâneas como medida essencial para a detecção precoce de vazamentos e para a proteção dos recursos hídricos (BRASIL, 2000). A Associação Brasileira de Normas Técnicas reforça que a correta implantação desses dispositivos é fundamental para garantir a confiabilidade dos dados ambientais, enquanto diretrizes técnicas nacionais indicam que o monitoramento sistemático subsidia a gestão de áreas contaminadas (ABNT, 2020; CETESB, 2019).

Além do arcabouço jurídico-normativo nacional, a temática deste estudo articula-se aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. A Organização das Nações Unidas estabelece que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

constituem metas globais voltadas à promoção do desenvolvimento sustentável, integrando dimensões ambientais, sociais e institucionais (ONU, 2015). Relatórios recentes da ONU ressaltam que a proteção dos recursos hídricos, o controle de fontes de poluição e o fortalecimento da governança ambiental local são elementos centrais para o avanço dos ODS, especialmente em contextos urbanos (ONU, 2024; ONU, 2025). Nesse sentido, a proteção das águas subterrâneas e o controle de fontes potenciais de contaminação, como os postos de combustíveis, relacionam-se diretamente ao ODS 6, ao ODS 3, ao ODS 11 e ao ODS 16, reforçando a importância da análise e do aprimoramento da legislação ambiental em nível municipal, como no caso de Boa Vista-RR.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar a existência e a adequação da legislação aplicável à implementação de poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de serviço e abastecimento de combustíveis no município de Boa Vista-RR. Como objetivos específicos, busca-se identificar as normas federais que regem o monitoramento ambiental em postos de combustíveis; verificar a existência e a adequação da legislação estadual de Roraima; analisar a presença e a conformidade técnica dos poços de monitoramento nos postos localizados no município; e, como produto final, elaborar uma proposta de projeto de lei municipal que discipline a instalação desses poços ou contribua para o aprimoramento da legislação existente.

A proteção das águas subterrâneas configura-se como tema de elevada relevância no cenário ambiental contemporâneo, especialmente em áreas urbanas onde atividades potencialmente poluidoras coexistem com sistemas de abastecimento hídrico. Conforme apontado pela literatura técnica e normativa, a implementação de poços de monitoramento constitui medida essencial para a detecção precoce de vazamentos, a mitigação de impactos ambientais e a salvaguarda da saúde pública. Assim, ao analisar a legislação vigente e propor ajustes normativos, este estudo busca contribuir para o fortalecimento das políticas públicas voltadas à proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de Roraima, promovendo a sustentabilidade ambiental e a segurança hídrica da população.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O monitoramento ambiental constitui um instrumento fundamental da política ambiental, especialmente no acompanhamento de atividades potencialmente poluidoras e na proteção dos recursos naturais. Em contextos urbanos, sua relevância é ampliada em função da concentração de fontes de risco, associadas ao uso e à ocupação do solo, à exploração de recursos hídricos subterrâneos e à presença de atividades econômicas que envolvem o armazenamento e o manuseio de substâncias perigosas.

Entre essas atividades, destacam-se os postos de abastecimento de combustíveis, cuja operação envolve riscos associados à liberação de hidrocarbonetos no solo e às possíveis repercussões sobre a qualidade das águas subterrâneas. Nesse sentido, a compreensão dos conceitos relacionados ao monitoramento ambiental, à contaminação do solo, à dinâmica dos aquíferos e ao uso de poços de monitoramento torna-se essencial para a análise da efetividade dos instrumentos normativos aplicáveis a esse tipo de empreendimento.

Diante disso, o presente capítulo apresenta o referencial teórico que fundamenta a pesquisa, abordando os conceitos de monitoramento ambiental, os processos de contaminação do solo e das águas subterrâneas por derivados de petróleo, os impactos ambientais associados às atividades de postos de combustíveis, bem como o papel dos poços de monitoramento como instrumentos de controle e gestão ambiental.

2.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL APLICADO À GESTÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE CONTAMINADAS

O monitoramento ambiental constitui um dos principais instrumentos da política ambiental brasileira, sendo essencial para o acompanhamento sistemático das alterações físicas, químicas e biológicas nos compartimentos ambientais solo, água e ar. A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981, estabelece que o acompanhamento da qualidade ambiental orienta tanto a atuação do poder público quanto a dos empreendedores na proteção dos recursos naturais e na segurança da população (BRASIL, 1981).

Sob a perspectiva técnica, Fortes (2018) define o monitoramento ambiental como um conjunto organizado de procedimentos sistemáticos de coleta, análise e

interpretação de dados ambientais, realizados em pontos previamente definidos e ao longo do tempo. Segundo o autor, essa abordagem permite compreender a dinâmica dos processos ambientais, identificar tendências de degradação ou recuperação e avaliar a eficácia das medidas de gestão adotadas. No mesmo sentido, Ramos e Luchiari Júnior (2022) destacam que o monitoramento contínuo fornece subsídios técnicos essenciais para o planejamento, o controle e a tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental.

Quando aplicado aos recursos hídricos subterrâneos, o monitoramento ambiental assume relevância ainda maior em razão da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação e da complexidade dos processos de transporte de poluentes no meio poroso. Libânio (2002) ressalta que as águas subterrâneas apresentam tempos de resposta mais longos e processos de remediação tecnicamente complexos, o que reforça a necessidade de ações preventivas baseadas no acompanhamento sistemático da qualidade da água. De forma complementar, Lima (2023) aponta que a ausência de monitoramento adequado pode retardar a identificação de contaminações e ampliar os riscos ambientais e sanitários.

No contexto do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, a adoção de redes ou malhas de monitoramento constitui uma prática consolidada. Eckhardt et al. (2009) explicam que essas malhas são formadas por poços estrategicamente posicionados em relação ao fluxo subterrâneo, permitindo a avaliação das condições a montante e a jusante de fontes potenciais de contaminação. De acordo com Morita (2011), essa configuração possibilita a detecção precoce de alterações nos parâmetros de qualidade da água e a delimitação espacial de plumas de contaminação, especialmente em áreas urbanas densamente ocupadas.

Em áreas onde se concentram atividades relacionadas ao armazenamento e à comercialização de combustíveis, como os postos de abastecimento, o monitoramento ambiental assume caráter preventivo e sanitário. Schimitz (2017) destaca que vazamentos em sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis podem resultar na liberação de hidrocarbonetos no meio poroso não saturado, com potencial de migração até os aquíferos rasos, sobretudo em ambientes caracterizados por solos de elevada permeabilidade. De modo semelhante, Pereira e Moraes (2023) ressaltam que, nesses contextos, o monitoramento sistemático constitui ferramenta indispensável para a proteção da qualidade da água subterrânea e da saúde pública.

A inexistência de monitoramento contínuo compromete a capacidade de avaliação dos impactos ambientais e dificulta a adoção de medidas de gestão adequadas. Conforme analisam Cruz, Neris e Menezes (2018), a ausência de dados sistemáticos pode favorecer a ampliação espacial e temporal dos processos de contaminação. Em contrapartida, sistemas de monitoramento bem estruturados fornecem subsídios técnicos para o licenciamento ambiental, a fiscalização de atividades potencialmente poluidoras e a tomada de decisão pelos órgãos gestores.

Dessa forma, o monitoramento ambiental, especialmente no que se refere às águas subterrâneas em áreas urbanas, deve ser compreendido como um instrumento integrado de gestão ambiental, articulado às políticas de recursos hídricos, saúde pública e ordenamento territorial. Conforme apontam Ramos e Luchiari Júnior (2022), sua aplicação sistemática contribui para a prevenção de riscos ambientais, para a proteção dos aquíferos utilizados no abastecimento humano e para o fortalecimento da governança ambiental em contextos urbanos sujeitos à pressão de atividades potencialmente contaminantes.

2.2 CONTAMINAÇÃO POR DERIVADOS DE PETRÓLEO

A contaminação do meio poroso não saturado e das águas subterrâneas por derivados de petróleo constitui um dos principais desafios ambientais associados às áreas urbanas, especialmente naquelas onde se concentram atividades potencialmente poluidoras, como os postos de abastecimento de combustíveis. Lima et al. (2016) e Monteiro (2015) destacam que a introdução de substâncias químicas no solo e no subsolo compromete a qualidade dos aquíferos e pode gerar riscos ambientais e sanitários persistentes, em função da dificuldade de remediação desses sistemas.

Os processos de contaminação podem ocorrer tanto de forma pontual quanto difusa, exigindo estratégias distintas de controle e monitoramento. Lima et al. (2016) e Cruz, Neris e Menezes (2018) explicam que a poluição pontual está associada a fontes bem definidas, como vazamentos em sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), enquanto a poluição difusa apresenta maior dispersão espacial, dificultando a identificação da origem dos contaminantes e a adoção de medidas corretivas eficazes.

Entre os principais poluentes associados aos postos de combustíveis destacam-se os derivados de petróleo, capazes de atingir o meio poroso não saturado

e migrar em direção às águas subterrâneas. Monteiro (2015) e Schimitz (2017) ressaltam que vazamentos em tanques subterrâneos, tubulações e conexões constituem as principais vias de introdução desses contaminantes no subsolo urbano, favorecendo processos de infiltração, percolação e dispersão na zona saturada.

No ambiente subterrâneo, os combustíveis derivados de petróleo apresentam comportamentos distintos em função de suas propriedades físico-químicas. Anjos (2012) e Fetter (2001) explicam que parte desses compostos pode ocorrer na forma de LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid), caracterizada por líquidos imiscíveis e menos densos que a água, que tendem a flutuar sobre o nível freático, formando uma fase livre persistente e atuando como fonte contínua de contaminação dissolvida.

Entre os compostos mais preocupantes destacam-se os hidrocarbonetos aromáticos do grupo BTEX, classificados como compostos orgânicos voláteis (VOC). Anjos (2012) e Vighi e Funari (1995) apontam que esses contaminantes apresentam elevada mobilidade no meio poroso, alta solubilidade em água e toxicidade significativa, o que favorece sua rápida dispersão nos aquíferos e amplia os riscos à saúde humana.

A dinâmica de transporte dos contaminantes no subsolo está diretamente relacionada às características físicas do meio. Monteiro (2015) e Freeze e Cherry (1979) destacam que a textura do solo influencia decisivamente os processos de percolação e retenção de poluentes, sendo que solos arenosos, devido à maior permeabilidade, favorecem a migração rápida dos contaminantes, enquanto solos argilosos tendem a retardar seu avanço, mantendo, contudo, fontes persistentes de contaminação.

Além da textura do solo, o sentido e a velocidade do fluxo subterrâneo condicionam a propagação das plumas de contaminação. Trovação (2006) e Fetter (2001) explicam que os contaminantes dissolvidos tendem a se deslocar acompanhando o gradiente hidráulico, o que torna essencial a análise das condições de montante e jusante das fontes potenciais de poluição para o correto dimensionamento de sistemas de monitoramento.

A presença de compostos BTEX nas águas subterrâneas representa preocupação relevante do ponto de vista da saúde pública. Rebouças (1996) e WHO (2017) ressaltam que as águas subterrâneas constituem fonte estratégica de abastecimento humano e que a exposição crônica a hidrocarbonetos aromáticos pode

provocar efeitos adversos à saúde, incluindo distúrbios neurológicos e aumento do risco de doenças graves, especialmente associadas ao benzeno.

Diante desse cenário, a contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo deve ser analisada de forma integrada. Santos, Ungari e Santos (2008) e Lima et al. (2016) enfatizam que a consideração conjunta das características do meio poroso, da natureza dos contaminantes, da dinâmica hidrogeológica e dos impactos à saúde humana é fundamental para subsidiar estratégias eficazes de prevenção, monitoramento e remediação em áreas urbanas.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

As atividades desenvolvidas em postos de abastecimento de combustíveis, tais como armazenamento, transferência, abastecimento de veículos, troca de óleo, lubrificação, lavagem automotiva e manutenção de sistemas associados, estabelecem interação direta e contínua com os compartimentos ambientais solo, água e ar. Milaré (2018) e Schimitz (2017) ressaltam que, em função dessa interface permanente com o meio ambiente e do uso de substâncias perigosas, esses empreendimentos são classificados como atividades potencialmente poluidoras, demandando controle ambiental permanente e a adoção de medidas preventivas e corretivas compatíveis com os riscos envolvidos.

Entre os impactos ambientais mais relevantes associados aos postos de combustíveis, destacam-se aqueles relacionados à contaminação do solo e das águas subterrâneas por derivados de petróleo, sobretudo em ambientes urbanos, onde a proximidade entre fontes potenciais de contaminação e receptores sensíveis amplia os riscos ambientais e sanitários. Lima et al. (2016) e Monteiro (2015) explicam que esses impactos podem ocorrer tanto de forma pontual, associada a vazamentos localizados em sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), quanto de forma difusa, decorrente de falhas operacionais, derramamentos recorrentes e práticas inadequadas de manejo.

A relevância desses impactos é intensificada em municípios com elevada dependência de águas subterrâneas para abastecimento público, como Boa Vista-RR, onde aquíferos rasos apresentam maior suscetibilidade à contaminação em função da textura do solo, da profundidade do lençol freático e da dinâmica hidrogeológica local. Rebouças (1996) e Freeze e Cherry (1979) destacam que

aquíferos sub-superficiais, especialmente em áreas urbanas, respondem de forma mais rápida à introdução de contaminantes, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e gestão preventiva em áreas ocupadas por atividades potencialmente poluidoras.

2.3.1 Contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo

A contaminação de aquíferos por derivados de petróleo constitui um dos principais impactos ambientais associados à operação de postos de combustíveis, estando diretamente relacionada a vazamentos em tanques subterrâneos, tubulações, conexões e sistemas auxiliares. Monteiro (2015) e Schimitz (2017) destacam que a liberação desses produtos no solo urbano pode desencadear processos complexos de transporte de contaminantes no meio subsuperficial, com potencial de comprometimento da qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento humano.

Após a liberação no solo, os combustíveis passam a interagir com o meio poroso por meio de diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Hillel (1988) e Abriola (1988) explicam que esses processos incluem a infiltração vertical da fase livre na zona não saturada, a formação de lentes de produto sobrenadante sobre o lençol freático, a retenção residual nos poros do solo, a dissolução parcial dos componentes solúveis na fase aquosa e a expansão da pluma de contaminação acompanhando o fluxo subterrâneo.

A intensidade e a extensão desses processos são fortemente condicionadas pelas características do solo e do aquífero. Freeze e Cherry (1979) e Fetter (2001) destacam que, em aquíferos granulares compostos predominantemente por materiais arenosos, a elevada permeabilidade favorece a rápida percolação dos contaminantes, ampliando a extensão espacial da contaminação e dificultando sua contenção. Em contrapartida, solos mais argilosos, embora retardem a migração vertical, tendem a apresentar maior retenção de contaminantes, resultando em fontes persistentes de poluição ao longo do tempo.

2.3.2 Comportamento dos hidrocarbonetos no solo e no subsolo

Entre os derivados de petróleo, a gasolina assume papel central no contexto da contaminação ambiental, em razão de sua ampla utilização e de sua composição química complexa. MME-DNC (1996) e Anjos (2012) destacam que a gasolina

comercializada no Brasil é composta por mais de 200 substâncias, predominando hidrocarbonetos leves, entre os quais se destacam os compostos aromáticos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos).

A literatura técnica aponta que os compostos BTEX apresentam elevada solubilidade em água e alta mobilidade no meio poroso, características que favorecem sua rápida dispersão em aquíferos sub-superficiais. Anjos (2012) e Vighi e Funari (1995) ressaltam que, entre esses compostos, o benzeno se destaca por sua toxicidade elevada e por ser reconhecido como substância comprovadamente cancerígena, motivo pelo qual possui padrão restritivo de potabilidade, estabelecido em 0,005 mg/L pelas diretrizes do Ministério da Saúde.

No contexto brasileiro, a presença de etanol anidro na gasolina intensifica os riscos associados à contaminação das águas subterrâneas. Corseuil (1996) e Lima et al. (2016) explicam que o etanol atua como cosolvente, ampliando a dissolução dos compostos BTEX na fase aquosa e podendo retardar os processos naturais de biodegradação em determinadas condições ambientais. Esses mecanismos aumentam o potencial de migração dos contaminantes e, conseqüentemente, os riscos à saúde humana, sobretudo em áreas onde existem poços de captação de água subterrânea próximos às fontes de contaminação.

2.3.3 Riscos à saúde pública associados à contaminação por BTEX

A textura do solo constitui fator determinante na dinâmica de transporte dos contaminantes derivados de petróleo e, conseqüentemente, na exposição da população aos riscos à saúde pública. Trovão (2006) e Freeze e Cherry (1979) destacam que solos arenosos, por apresentarem maior porosidade e condutividade hidráulica, favorecem elevadas velocidades de percolação, reduzindo o tempo de resposta para a detecção de contaminações e ampliando a vulnerabilidade dos aquíferos à presença de compostos orgânicos voláteis, como os BTEX.

Em contraste, Fogaça et al. (2014) e Fetter (2001) ressaltam que solos argilosos possuem maior capacidade de adsorção, podendo atuar como barreiras parciais à migração dos contaminantes. Entretanto, essa retenção tende a resultar na formação de zonas contaminadas persistentes, que funcionam como fontes secundárias de poluição ao longo do tempo, exigindo estratégias específicas de monitoramento, controle e remediação para evitar a exposição prolongada da população.

Nesse contexto, a compreensão integrada das características hidrogeológicas locais, associada à implantação de poços de monitoramento estrategicamente distribuídos em relação ao fluxo subterrâneo, constitui ferramenta essencial para a avaliação do comportamento das plumas de contaminação. Morita (2011) e Santos, Ungari e Santos (2008) destacam que esse arranjo técnico permite identificar gradientes hidráulicos, delimitar áreas de risco e orientar ações de gestão ambiental baseadas em evidências, contribuindo para a redução dos riscos à saúde pública.

2.3.4 Importância do monitoramento ambiental em áreas com postos de combustíveis

A adoção de sistemas de monitoramento ambiental em postos de combustíveis constitui medida fundamental para a prevenção de impactos ambientais e para a proteção da saúde pública, especialmente em áreas urbanas. CETESB (2019) e Anjos (2012) ressaltam que a implantação de poços de monitoramento organizados em malhas de monitoramento de compostos orgânicos voláteis (VOC), posicionados a montante e a jusante do fluxo subterrâneo, possibilita a detecção precoce de vazamentos e o acompanhamento sistemático da qualidade das águas subterrâneas.

Segundo Morita (2011) e Lima et al. (2016), o monitoramento contínuo fornece subsídios técnicos essenciais para o licenciamento ambiental, orienta a definição de ações corretivas e de remediação e contribui para a redução dos custos associados à recuperação de áreas contaminadas. Além disso, a geração sistemática de dados permite avaliar a efetividade das medidas de controle ambiental adotadas ao longo do tempo.

Em áreas urbanas densamente ocupadas, onde coexistem postos de combustíveis, poços de abastecimento, equipamentos públicos e vias sensíveis de exposição, o monitoramento assume papel estratégico na gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos. Rebouças (1996) e Ramos e Luchiari Júnior (2022) destacam que a articulação entre monitoramento ambiental, gestão dos recursos hídricos e políticas de saúde pública é fundamental para prevenir riscos sanitários, proteger os aquíferos utilizados para abastecimento humano e fortalecer a governança ambiental urbana.

2.4 POÇOS DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os poços de monitoramento constituem estruturas técnicas específicas destinadas à investigação, ao acompanhamento e ao controle da qualidade das águas subterrâneas em áreas sujeitas a potenciais fontes de contaminação. Libânio (2002) e Morita (2011) explicam que, diferentemente dos poços de captação, essas estruturas possuem caráter exclusivamente ambiental, sendo projetadas para permitir a coleta representativa de amostras e a avaliação da dinâmica hidrogeológica local ao longo do tempo.

No contexto da gestão ambiental, os poços de monitoramento são amplamente empregados em estudos ambientais, no gerenciamento de áreas contaminadas e no licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras, como os postos de abastecimento de combustíveis. Eckhardt et al. (2009) e CETESB (2019) destacam que o uso sistemático dessas estruturas possibilita a identificação precoce de vazamentos, o acompanhamento da evolução de plumas de contaminação e a verificação da eficácia das medidas de controle e remediação adotadas ao longo do tempo.

Além disso, a implantação de poços de monitoramento permite a obtenção de dados fundamentais para a tomada de decisão pelos órgãos ambientais, subsidiando ações de fiscalização, licenciamento e gestão de riscos ambientais. Ramos e Luchiari Júnior (2022) e Santos, Ungari e Santos (2008) ressaltam que a disponibilidade de informações confiáveis sobre a qualidade das águas subterrâneas é condição essencial para a proteção dos aquíferos e para a prevenção de impactos à saúde pública, especialmente em áreas urbanas densamente ocupadas.

2.4.1 Diferença entre poço de monitoramento e poços de captação

É fundamental distinguir os poços de monitoramento dos poços destinados à captação de água subterrânea, uma vez que possuem finalidades, concepções construtivas e critérios normativos distintos. Fetter (2001) e Freeze e Cherry (1979) explicam que os poços de captação — como os poços tubulares profundos, poços artesianos, semiartesianos e os denominados poços amazônicos — são implantados com o objetivo de suprir demandas de abastecimento humano, industrial ou agrícola, sendo dimensionados para maximizar vazão e eficiência hidráulica.

Os poços de monitoramento, por sua vez, não têm finalidade de extração contínua de água, mas sim de observação ambiental. Libânio (2002) e Morita (2011) destacam que sua construção prioriza a representatividade hidrogeológica, a integridade da amostra e a prevenção de contaminação cruzada entre diferentes níveis aquíferos, o que exige critérios técnicos específicos quanto à profundidade, diâmetro, filtro, selagem e acabamento sanitário.

No campo normativo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece diretrizes específicas para a implantação desses poços. As normas ABNT NBR 13.895/1997 e ABNT NBR 15.495-1 e 15.495-2 determinam que os poços de monitoramento devem ser projetados conforme o tipo de aquífero (granular ou fraturado), a profundidade do lençol freático e os contaminantes de interesse, garantindo a confiabilidade dos dados obtidos. CETESB (2019) reforça que o atendimento a esses critérios é essencial para assegurar a qualidade das informações ambientais e a efetividade do monitoramento.

Essa distinção assume relevância ainda maior em áreas urbanas, onde a coexistência de poços de captação e fontes potenciais de contaminação exige rigor técnico e normativo para evitar riscos à saúde pública e ao abastecimento humano. Rebouças (1996) e Ramos e Luchiari Júnior (2022) ressaltam que a inadequada implantação ou confusão entre esses tipos de poços pode comprometer a proteção dos aquíferos e ampliar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento.

2.4.2 Estrutura e componentes dos poços de monitoramento

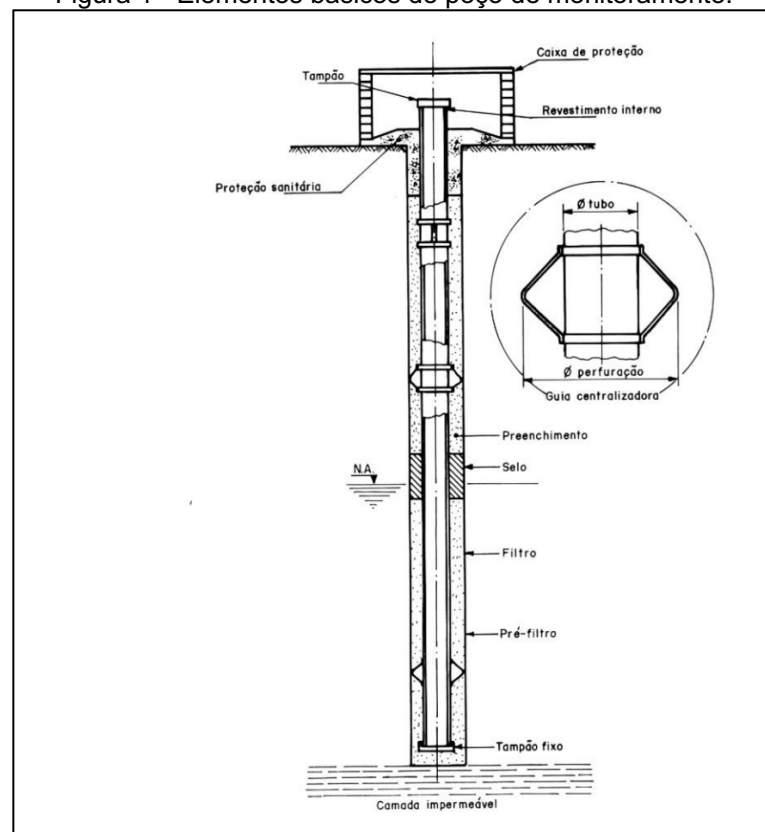
Os poços de monitoramento de águas subterrâneas são perfurados até a zona saturada do aquífero de interesse, podendo interceptar aquíferos subsuperficiais ou mais profundos, conforme os objetivos da investigação ambiental. Eckhardt et al. (2009) e Fetter (2001) explicam que a profundidade e a configuração do poço devem considerar as condições hidrogeológicas locais, de modo a permitir a avaliação adequada da qualidade da água e da dinâmica do fluxo subterrâneo. Para garantir a estabilidade estrutural e a confiabilidade dos dados obtidos, as perfurações devem ser devidamente revestidas, evitando o colapso das paredes do poço e a entrada de materiais indesejados.

No campo normativo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da ABNT NBR 13.895/1997, estabelece que a constituição básica de um poço de monitoramento inclui revestimento interno, filtro, pré-filtro, selo sanitário,

preenchimento anular, tampão e caixa de proteção superficial. Morita (2011) e CETESB (2019) ressaltam que esses componentes são essenciais para assegurar a proteção do aquífero, evitar a infiltração de águas superficiais contaminadas e garantir a coleta de amostras representativas da água subterrânea ao longo do tempo.

A escolha dos materiais construtivos empregados na implantação dos poços — como PVC, aço inoxidável ou outros materiais quimicamente compatíveis — deve considerar as características dos contaminantes monitorados. ABNT (1997) e Anjos (2012) destacam que, em áreas sujeitas à presença de hidrocarbonetos derivados de petróleo, compostos orgânicos voláteis (VOC) e BTEX, a seleção inadequada de materiais pode comprometer a integridade das amostras, interferir nos resultados analíticos e reduzir a confiabilidade do monitoramento ambiental.

Figura 1 - Elementos básicos do poço de monitoramento.



Fonte: ABNT (1997, p.6).

2.4.3 Poços de monitoramento em postos de combustíveis

Em postos de combustíveis, os poços de monitoramento desempenham papel central na prevenção, no controle e na gestão da contaminação ambiental, em razão do elevado potencial de impacto associado à presença de sistemas de

armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), linhas de distribuição, bombas de abastecimento e áreas de manuseio frequente de derivados de petróleo. Schimitz (2017) e CETESB (2019) ressaltam que esses sistemas representam fontes recorrentes de vazamentos e perdas operacionais, justificando a exigência de monitoramento sistemático.

Segundo Teixeira (2013) e Morita (2011), a implantação de poços de monitoramento em postos de combustíveis permite o acompanhamento contínuo da qualidade das águas subterrâneas, possibilitando a identificação precoce de vazamentos e a adoção de medidas corretivas antes que a contaminação se propague para áreas mais extensas. Essa prática é amplamente reconhecida em normativas nacionais e internacionais como instrumento essencial para o licenciamento ambiental, a fiscalização e a gestão de áreas potencialmente contaminadas.

A localização estratégica dos poços de monitoramento constitui aspecto fundamental para a eficácia do sistema. Eckhardt et al. (2009) e Freeze e Cherry (1979) explicam que os poços devem ser posicionados nas áreas de maior risco, como as proximidades dos tanques de armazenamento, das linhas enterradas e das áreas de abastecimento, sempre respeitando o sentido do fluxo subterrâneo. Essa disposição permite a avaliação das condições a montante, representativas da qualidade natural do aquífero, e a jusante, onde se concentram os potenciais efeitos da atividade antrópica, subsidiando a correta interpretação dos dados e a tomada de decisão ambiental.

2.4.4 Malha de monitoramento e controle de VOC

A eficiência do monitoramento ambiental das águas subterrâneas está diretamente relacionada à implantação de uma malha de monitoramento adequadamente planejada, composta por um conjunto de poços estrategicamente distribuídos no espaço. Eckhardt et al. (2009) e Freeze e Cherry (1979) explicam que essa malha deve considerar o gradiente hidráulico, o sentido preferencial do fluxo subterrâneo e a posição relativa das fontes potenciais de contaminação, permitindo a avaliação espacial e temporal da qualidade da água subterrânea.

No contexto dos postos de combustíveis, a malha de monitoramento assume papel fundamental no controle de compostos orgânicos voláteis (VOC), especialmente os hidrocarbonetos aromáticos do grupo BTEX, reconhecidos por sua elevada mobilidade no meio poroso e por seus potenciais riscos à saúde humana. Schimitz

(2017) e Anjos (2012) destacam que a rápida dispersão desses compostos em aquíferos rasos exige sistemas de monitoramento capazes de identificar precocemente alterações na qualidade da água subterrânea, reduzindo a probabilidade de impactos ambientais de maior magnitude.

A análise periódica das amostras coletadas nos poços integrantes da malha permite avaliar a evolução das concentrações, delimitar plumas de contaminação, identificar tendências de dispersão e subsidiar decisões técnicas relacionadas ao licenciamento ambiental e à gestão de áreas contaminadas. Morita (2011) e CETESB (2019) ressaltam que essas informações são essenciais para a definição de estratégias de remediação, para a verificação da eficácia das medidas de controle adotadas e para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas.

2.4.5 Importância dos poços de monitoramento para a saúde pública

A utilização de poços de monitoramento em áreas urbanas assume relevância direta para a proteção da saúde pública, especialmente em municípios que apresentam elevada dependência de águas subterrâneas para abastecimento humano. Rebouças (1996) e Libânio (2002) destacam que os aquíferos constituem fontes estratégicas de água potável e que sua contaminação pode comprometer de forma significativa a segurança hídrica das populações urbanas.

Nesse sentido, Morita (2011) e Ramos e Luchiari Júnior (2022) ressaltam que a detecção precoce de contaminantes, viabilizada por sistemas de monitoramento adequadamente implantados, permite reduzir riscos associados à exposição humana, evitar a contaminação de poços de captação e subsidiar ações preventivas por parte dos órgãos ambientais e de saúde. Em especial, a identificação de compostos como os BTEX em concentrações elevadas representa alerta sanitário relevante, em razão de seus efeitos tóxicos e carcinogênicos.

Em áreas densamente urbanizadas, a proximidade entre postos de combustíveis, residências, escolas, unidades de saúde e poços de abastecimento amplia a necessidade de um monitoramento contínuo e tecnicamente fundamentado. CETESB (2019) e Schimitz (2017) enfatizam que, nesses contextos, os poços de monitoramento configuram-se como instrumentos estratégicos de gestão ambiental preventiva, contribuindo para a segurança hídrica, a proteção da saúde coletiva e o uso sustentável das águas subterrâneas.

2.5 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS POSTOS DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS

Os postos de abastecimento de combustíveis são reconhecidos pelo ordenamento jurídico brasileiro como atividades potencialmente poluidoras, em razão do armazenamento, da movimentação e da comercialização de derivados de petróleo, substâncias que apresentam elevada toxicidade e alta mobilidade no meio ambiente. Em função desse potencial de risco, tais empreendimentos encontram-se submetidos a um conjunto robusto de normas legais e técnicas, que disciplinam seu licenciamento, operação, controle ambiental e monitoramento.

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981, estabelece a base normativa da proteção ambiental no Brasil ao definir princípios, objetivos e instrumentos destinados à preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental. Essa legislação reconhece o licenciamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais e o monitoramento de atividades potencialmente poluidoras como instrumentos centrais da política ambiental, orientando a atuação do poder público e dos empreendedores na prevenção e mitigação de danos ambientais (BRASIL, 1981).

De forma complementar, a Lei nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, estabelece sanções penais e administrativas aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Essa norma reforça que a omissão de medidas preventivas e de controle ambiental, incluindo a ausência de monitoramento adequado, pode ensejar a responsabilização dos empreendedores, ampliando a relevância da adoção de instrumentos técnicos voltados à gestão de áreas sujeitas à contaminação (BRASIL, 1998).

No que se refere à gestão dos recursos hídricos, a Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, reconhece a água como um bem de domínio público e de valor econômico. Essa legislação estabelece diretrizes para o uso racional e a proteção qualitativa das águas, reforçando, em contextos urbanos, a importância do monitoramento da qualidade dos aquíferos, especialmente em áreas com atividades potencialmente contaminantes, como os postos de combustíveis (BRASIL, 1997).

Entre os instrumentos normativos específicos para o setor, a Resolução CONAMA nº 237/1997 regulamenta os procedimentos do licenciamento ambiental, definindo as competências dos entes federativos e estabelecendo que atividades potencialmente poluidoras devem ser licenciadas mediante análise prévia dos impactos ambientais e da adoção de medidas de controle. No caso dos postos de combustíveis, o licenciamento pressupõe a avaliação dos riscos associados aos sistemas de armazenamento subterrâneo e às vias potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

De forma mais específica, a Resolução CONAMA nº 273/2000 constitui um dos principais marcos regulatórios aplicáveis aos postos de abastecimento de combustíveis, ao estabelecer diretrizes para o licenciamento ambiental dessas atividades, com ênfase na prevenção e no controle da poluição do solo e das águas subterrâneas. Essa norma determina que os empreendimentos adotem sistemas de controle ambiental capazes de detectar vazamentos, incluindo medidas voltadas ao monitoramento e à gestão de áreas potencialmente contaminadas (BRASIL, 2000).

No que tange às águas subterrâneas, a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece critérios para a classificação, o enquadramento e o monitoramento da qualidade dessas águas, considerando seus diferentes usos. Essa normativa reconhece o monitoramento sistemático como instrumento essencial para a proteção dos aquíferos e para a prevenção de riscos à saúde humana, sobretudo em áreas sujeitas à contaminação por substâncias perigosas, como os derivados de petróleo (BRASIL, 2008).

De forma complementar, a Portaria GM/MS nº 888/2021, ao definir os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano e os procedimentos de vigilância da qualidade da água, estabelece limites para contaminantes associados a vazamentos de combustíveis, como os compostos BTEX. Embora voltada prioritariamente ao abastecimento público, essa portaria apresenta estreita relação com o monitoramento ambiental em postos de combustíveis, dada a possibilidade de comprometimento de fontes subterrâneas de abastecimento e os riscos sanitários associados (BRASIL, 2021).

No âmbito da regulação setorial, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis exerce papel relevante por meio da Resolução ANP nº 41/2013, que disciplina a revenda varejista de combustíveis, e da Resolução ANP nº 9/2007, que trata do controle da qualidade dos combustíveis comercializados. Embora

possuam foco operacional e comercial, essas normas se articulam com a legislação ambiental ao exigir padrões técnicos que contribuem para a redução de riscos de vazamentos e contaminações.

No campo das normas técnicas, a Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece requisitos específicos aplicáveis aos postos de combustíveis. Destacam-se as normas ABNT NBR 13.895/1997 e ABNT NBR 15.495-1 e 15.495-2, que tratam da construção, do desenvolvimento, da operação e do monitoramento de poços de águas subterrâneas, fornecendo diretrizes essenciais para a investigação e o acompanhamento de áreas potencialmente contaminadas.

O conjunto dessas normas evidencia que o ordenamento jurídico brasileiro dispõe de instrumentos suficientes para orientar o controle ambiental de postos de combustíveis, especialmente no que se refere à prevenção da contaminação do solo e das águas subterrâneas. A aplicação integrada dessas legislações e normas técnicas reforça o papel dos poços de monitoramento e das malhas de monitoramento de compostos orgânicos voláteis como ferramentas fundamentais para a proteção ambiental, a gestão dos recursos hídricos e a salvaguarda da saúde pública.

O Quadro 1 sintetiza os principais dispositivos legais federais relacionados ao monitoramento ambiental e à gestão de atividades potencialmente poluidoras, servindo de base para a análise desenvolvida nos capítulos subsequentes.

Quadro 1 – Principais dispositivos legais federais relacionados ao monitoramento ambiental, à proteção das águas subterrâneas e às atividades potencialmente poluidoras (ordem cronológica)

Instrumento legal	Âmbito	Conteúdo normativo central	Relação com o monitoramento ambiental e poços de monitoramento
Lei nº 6.938/1981	Federal	Institui a Política Nacional do Meio Ambiente e define seus princípios, objetivos e instrumentos, como o licenciamento ambiental e o controle de atividades poluidoras.	Estabelece o monitoramento ambiental como instrumento essencial de controle da qualidade ambiental, fundamentando a exigência de acompanhamento contínuo de atividades potencialmente poluidoras, como postos de combustíveis.
Decreto nº 99.274/1990	Federal	Regulamenta a Política Nacional do Meio Ambiente e os procedimentos do licenciamento ambiental.	Detalha os mecanismos administrativos de controle ambiental, reforçando a necessidade de instrumentos técnicos de acompanhamento e fiscalização ambiental.
Lei nº 7.804/1989	Federal	Altera dispositivos da Política Nacional do Meio Ambiente, reforçando mecanismos de controle e fiscalização ambiental.	Consolida juridicamente a exigência de instrumentos técnicos de controle ambiental, incluindo ações de monitoramento do solo e das águas subterrâneas.

Lei nº 9.433/1997	Federal	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.	Reconhece a água como bem de domínio público e reforça a necessidade de proteção qualitativa das águas subterrâneas, especialmente em áreas sujeitas à contaminação.
Resolução CONAMA nº 237/1997	Federal	Regulamenta os procedimentos do licenciamento ambiental e define competências dos entes federativos.	Vincula o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras à adoção de medidas de controle e monitoramento ambiental, inclusive no período pós-licença.
Lei nº 9.605/1998	Federal	Dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.	Fundamenta a responsabilização por danos ambientais decorrentes de vazamentos de combustíveis e pela omissão de medidas preventivas, como a ausência de monitoramento adequado.
Resolução CONAMA nº 273/2000	Federal	Estabelece diretrizes específicas para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços.	Reconhece os postos de combustíveis como fontes potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas, exigindo medidas preventivas e de controle ambiental.
Lei nº 12.305/2010	Federal	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.	Introduz o conceito de áreas contaminadas e a necessidade de monitoramento ambiental para subsidiar ações de controle, remediação e recuperação ambiental.
Resolução CONAMA nº 396/2008	Federal	Dispõe sobre a classificação, enquadramento e diretrizes para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.	Define parâmetros e critérios técnicos para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, fornecendo base normativa para análises realizadas em poços de monitoramento.
Portaria GM/MS nº 888/2021	Federal	Estabelece os padrões de potabilidade e os procedimentos de vigilância da qualidade da água para consumo humano.	Relaciona-se ao monitoramento ambiental ao definir limites para contaminantes associados a vazamentos de combustíveis, como os compostos BTEX, reforçando a interface entre meio ambiente e saúde pública.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção descreve, de forma sistematizada, os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa, abrangendo o tipo e a abordagem do estudo, a delimitação espacial da área de investigação, os instrumentos e procedimentos de coleta de dados, a caracterização da fase de campo, as limitações do trabalho empírico, as técnicas de análise dos dados e, por fim, a descrição do produto técnico resultante.

Figura 2 - Organograma Metodológico.



Fonte: O autor.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto aos procedimentos utilizados para a coleta de dados, a pesquisa caracteriza-se, em sua etapa inicial, como documental e bibliográfica, uma vez que o objeto do estudo envolve a análise de normas legais, técnicas e institucionais relacionadas ao monitoramento ambiental em postos de combustíveis. Esse tipo de pesquisa possibilita a realização de análises fundamentadas em referenciais teóricos e normativos previamente consolidados, com base em livros, artigos científicos, manuais técnicos, legislações, anais de congressos e mídias eletrônicas (LEONEL; MOTTA, 2007).

O processo metodológico foi estruturado em cinco fases, permitindo a sistematização da investigação ambiental em postos de combustíveis. A primeira fase

correspondeu à pesquisa bibliográfica e documental, voltada ao levantamento de dados secundários, especialmente legislações federais, estaduais e municipais, normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente e documentos institucionais de órgãos ambientais.

A segunda fase consistiu na coleta de dados, com base em documentos oficiais e informações institucionais. A terceira fase compreendeu a investigação de campo, direcionada à análise da existência e das condições dos poços de monitoramento em postos de combustíveis. A quarta fase correspondeu à análise dos dados, realizada a partir da interpretação dos parâmetros técnicos e normativos levantados. Por fim, a quinta fase resultou na elaboração do produto técnico final, consistente em uma proposta normativa voltada à regulamentação da implantação de poços de monitoramento no âmbito municipal.

A pesquisa bibliográfica seguiu as etapas metodológicas indicadas por Gil (2008), compreendendo a identificação e seleção das fontes, a leitura crítica do material, a elaboração de fichamentos, a organização lógica dos conteúdos e a redação do texto científico. Essa etapa foi fundamental para a construção do referencial teórico e para o embasamento conceitual e normativo da pesquisa.

Quanto à abordagem, trata-se de um estudo qualitativo, uma vez que não se objetiva a análise de dados numéricos, mas a compreensão das estruturas normativas, institucionais e operacionais relacionadas ao monitoramento ambiental em postos de combustíveis. Conforme Leonel e Motta (2007), a pesquisa qualitativa busca compreender os fenômenos a partir da análise de contextos, processos e percepções dos atores envolvidos. Em termos de finalidade, a pesquisa possui caráter exploratório, por abordar uma temática ainda pouco regulamentada e sistematizada no contexto local (GIL, 2010).

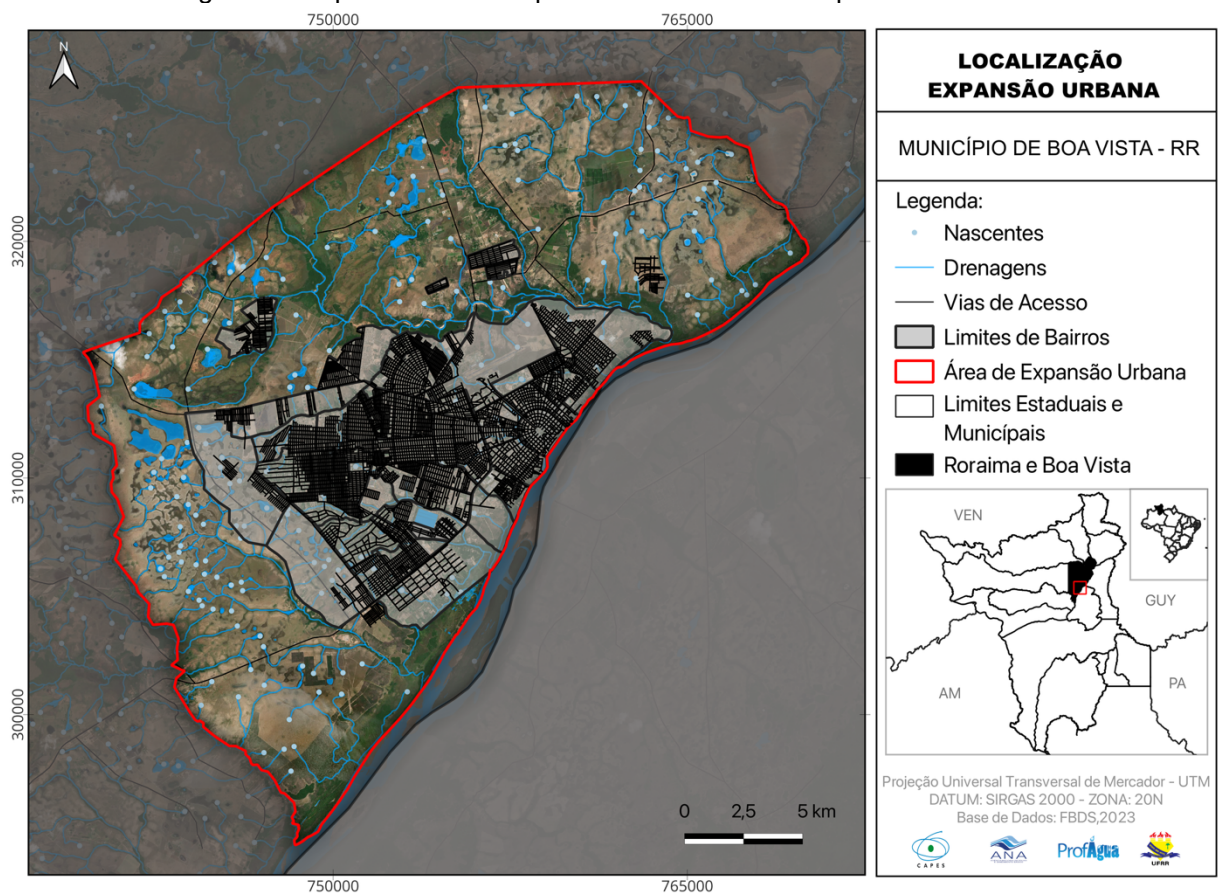
Do ponto de vista técnico, a análise metodológica fundamenta-se nas diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 15.495-1, que define critérios para o projeto e a construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas, assegurando a confiabilidade dos dados obtidos (ABNT, 2020). Complementarmente, foram considerados os procedimentos recomendados em documentos técnicos sobre gerenciamento de áreas contaminadas, os quais orientam a investigação e o monitoramento ambiental em atividades potencialmente poluidoras, como os postos de combustíveis (CETESB, 2019).

3.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao município de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, com delimitação específica à área urbana para fins da investigação empírica. Tal delimitação justifica-se pelo fato de que os postos de abastecimento de combustíveis, objeto central da pesquisa, encontram-se majoritariamente concentrados no perímetro urbano, onde também se verificam os maiores riscos potenciais de contaminação ambiental e de exposição da população.

Embora a análise normativa considere o município como um todo, especialmente no que se refere às competências legislativas e institucionais, a investigação prática, os dados empíricos e a análise das vulnerabilidades ambientais concentram-se exclusivamente na zona urbana de Boa Vista, conforme representado na figura 3, que apresenta o mapa da área urbana do município.

Figura 3 - Mapa da área de expansão urbana do município de Boa Vista.



Boa Vista está localizada na Região Norte do Brasil, inserida no contexto da Amazônia Ocidental, e possui área territorial aproximada de 224.303 km². O município

faz fronteira ao norte e noroeste com a Venezuela, a leste com a Guiana, a sudeste com o Estado do Pará e ao sul e oeste com o Estado do Amazonas, apresentando população estimada em 652.713 habitantes (IBGE, 2022).

3.2.1 Fisiografia da área de estudo

As características fisiográficas da área de estudo são apresentadas nas subseções seguintes, abrangendo clima, geomorfologia, vegetação, hidrografia, solos e geologia. A descrição desses elementos é fundamental para a compreensão da vulnerabilidade ambiental da área urbana de Boa Vista, especialmente no que se refere à dinâmica das águas subterrâneas, à textura e permeabilidade dos solos e ao potencial de migração de contaminantes.

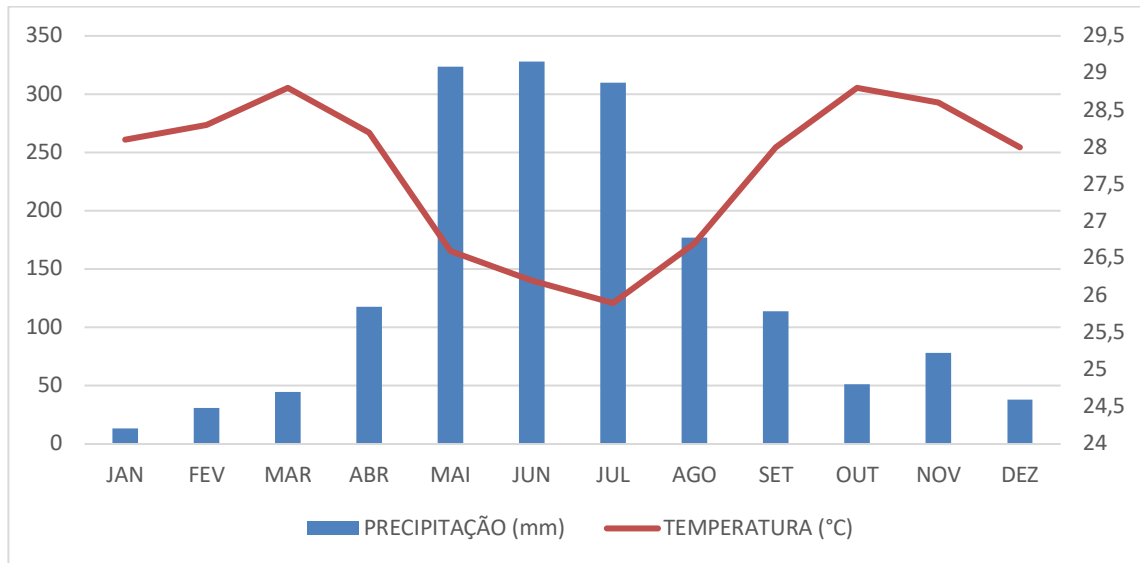
3.2.1.1 Clima

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o clima da cidade de Boa Vista, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw – tropical úmido, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano e por um regime pluviométrico sazonal bem definido (IBGE, 2017). O Instituto Nacional de Meteorologia indica a ocorrência de dois períodos climáticos distintos, sendo uma estação chuvosa, que se estende de março a setembro, e uma estação seca, compreendida entre os meses de outubro e abril, conforme as Normais Climatológicas do Brasil (INMET, 2020).

De forma complementar, Araújo et al. (2024) ressaltam que, mesmo com pequenas variações interanuais, o município de Boa Vista mantém o predomínio do clima do tipo Aw, com forte sazonalidade pluviométrica, condição que resulta em déficit hídrico durante o período seco. Segundo os autores, esse comportamento climático influencia diretamente os processos de recarga aquífera e a vulnerabilidade das águas subterrâneas, especialmente em áreas urbanas.

A precipitação média anual é da ordem de 1.750 mm, enquanto a temperatura média anual situa-se em torno de 27,4 °C. A figura 4 apresenta o climograma elaborado com base nos dados da Estação Meteorológica Boa Vista A-135, a partir das médias mensais de precipitação e temperatura referentes ao período de 2011 a 2020, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Figura 4 - Climograma da cidade de Boa Vista elaborado com base nos dados adquiridos da Estação Meteorológica Boa Vista A-135 Série Histórica Mensal de 2011 a 2020.



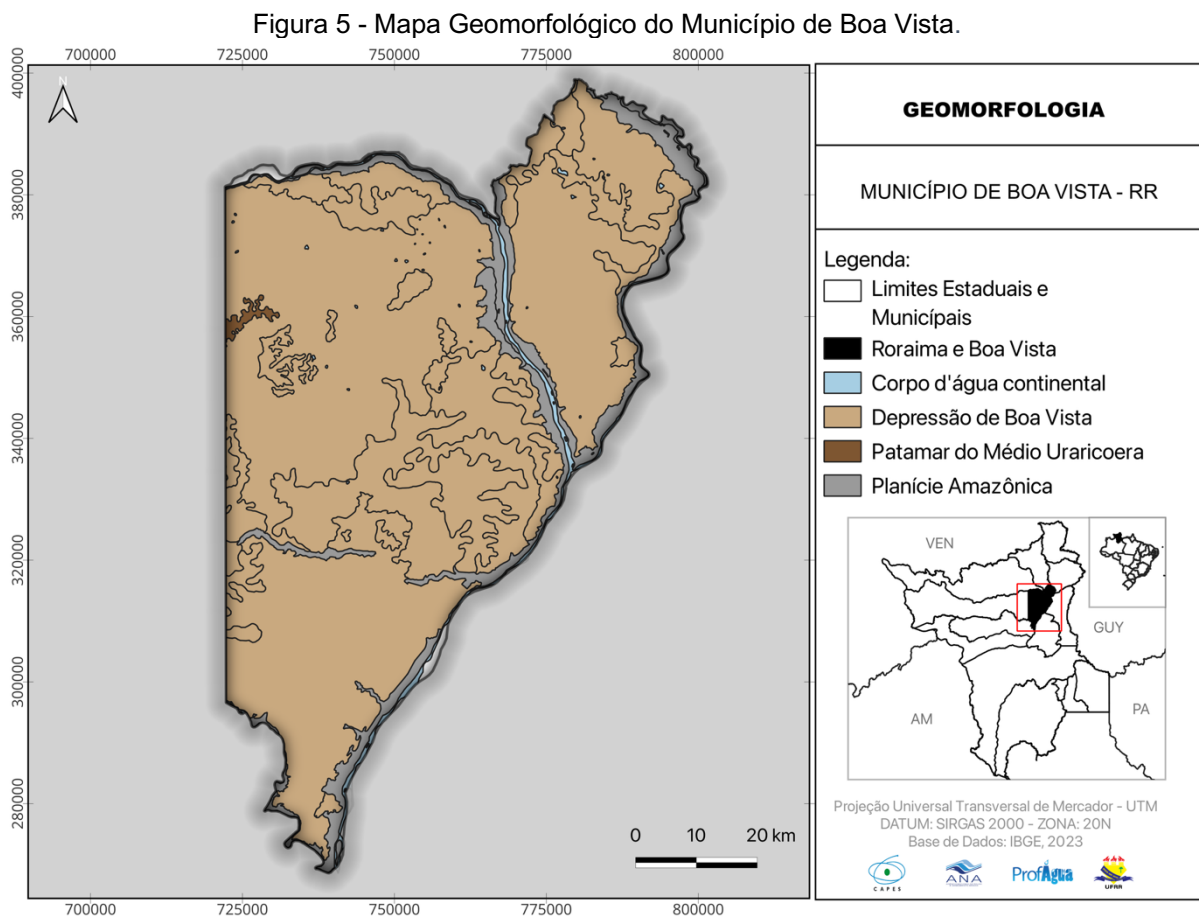
Fonte: INMET (2020).

3.2.1.2. Geomorfologia

A área urbana do município de Boa Vista está inserida na unidade geomorfológica denominada Depressão de Boa Vista, conforme a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005). Essa unidade caracteriza-se por um relevo predominantemente plano e rebaixado, associado a superfícies de acumulação sedimentar, situado entre as bacias hidrográficas dos rios Mucajaí e Cauamé, correspondendo a um modelado de agradação, com leve dissecação da superfície, conforme os mapeamentos geomorfológicos oficiais do Estado de Roraima (IBGE, 2005; IBGE, 2024).

As cotas altimétricas variam, em geral, entre 80 e 110 metros, abrangendo grande parte do território municipal, o que reflete a predominância de superfícies aplainadas desenvolvidas sobre sedimentos inconsolidados (IBGE, 2005; IBGE, 2024). Segundo Costa (2008), a Depressão de Boa Vista configura-se como uma extensa área rebaixada e homogeneamente plana, interpretada geomorfológicamente como um bloco abatido com geometria em cunha, caracterizando-se como região receptora de sedimentos, com controle estrutural e de drenagem bem definido. O autor destaca ainda a ocorrência de pequenas elevações regionais conhecidas como “tesos”, associadas a processos residuais e à presença de materiais lateríticos, típicos de superfícies estabilizadas em ambientes tropicais (COSTA, 2008; BRILHA, 2005).

De forma complementar, Beserra Neta e Tavares Júnior (2008) inserem essa unidade no contexto do Pediplano Rio Branco–Rio Negro, caracterizado por superfícies de aplainamento com áreas conservadas e dissecadas, desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas e sedimentos inconsolidados de idade terciária a pleistocênica e conforme IBGE (2023) a mesma corresponde a Depressão Boa Vista. A interpretação e a análise espacial dessas unidades geomorfológicas são favorecidas pelo uso de técnicas de geoprocessamento, que permitem integrar dados topográficos, geológicos e geomorfológicos em ambiente SIG (ZAIDAN, 2017). A figura 5 apresenta o mapa geomorfológico do município de Boa Vista, elaborado a partir das bases cartográficas oficiais do IBGE.



Fonte: O autor.

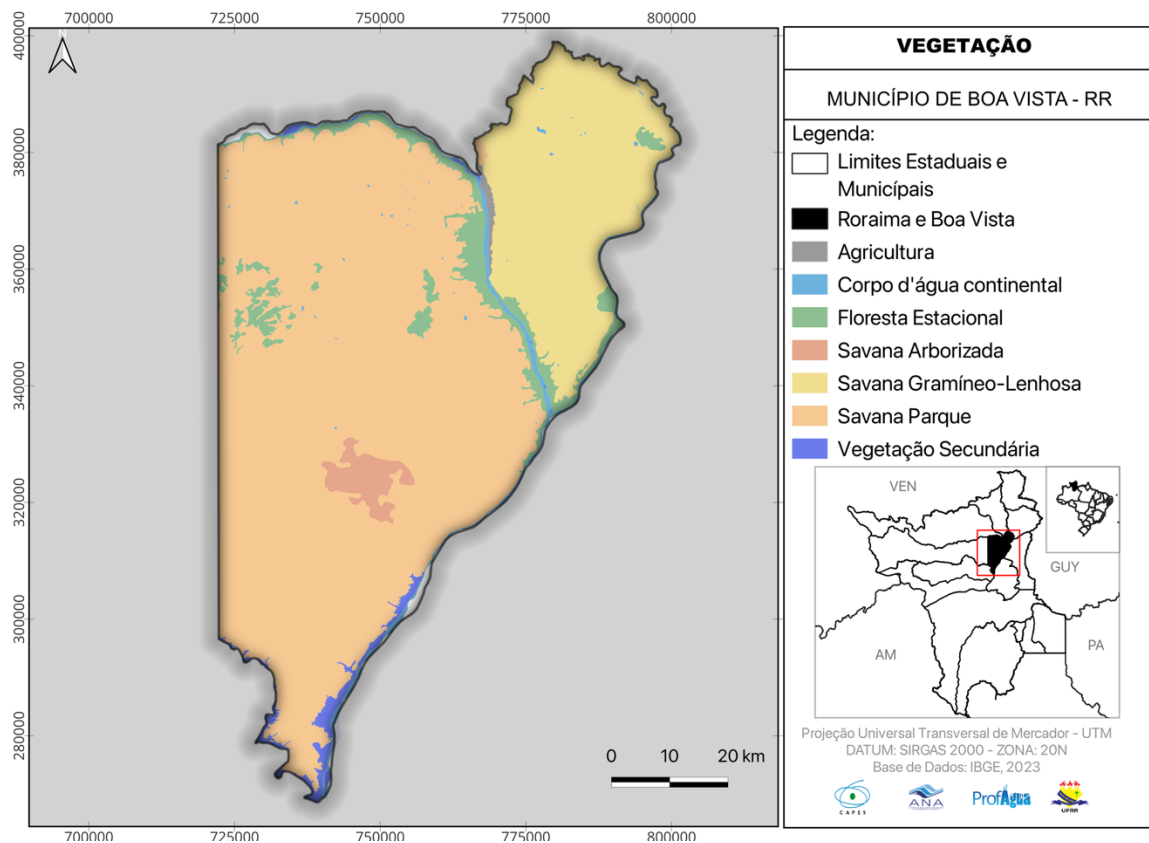
3.2.1.3. Vegetação

O município de Boa Vista apresenta expressiva diversidade vegetal, inserindo-se no domínio das savanas amazônicas, com predomínio da savana gramínea, conforme a classificação oficial da vegetação brasileira. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, essa fitofisionomia caracteriza-se pela formação

de mosaicos campestres, frequentemente associados a lagos naturais, áreas sazonalmente alagáveis e cursos d'água, feições recorrentes no norte de Roraima e também observadas na área urbana do município (IBGE, 2012; IBGE, 2022).

Segundo Vale Júnior e Schaefer (2010), a cobertura vegetal de savana em Roraima apresenta elevada diversidade de fitofisionomias, variando desde savana gramínea até savana parque, sendo essa variação condicionada principalmente por fatores edáficos, hidrológicos e geomorfológicos, como fertilidade do solo, teor de matéria orgânica e condições de drenagem. Estudos específicos sobre as savanas roraimenses indicam ainda que essa diversidade resulta da interação entre relevo, solo e dinâmica hídrica, refletindo padrões distintos de ocupação vegetal ao longo da paisagem (IBGE, 2012; SILVA et al., 2025).

Figura 6 - Mapa de Vegetação do Município de Boa Vista.



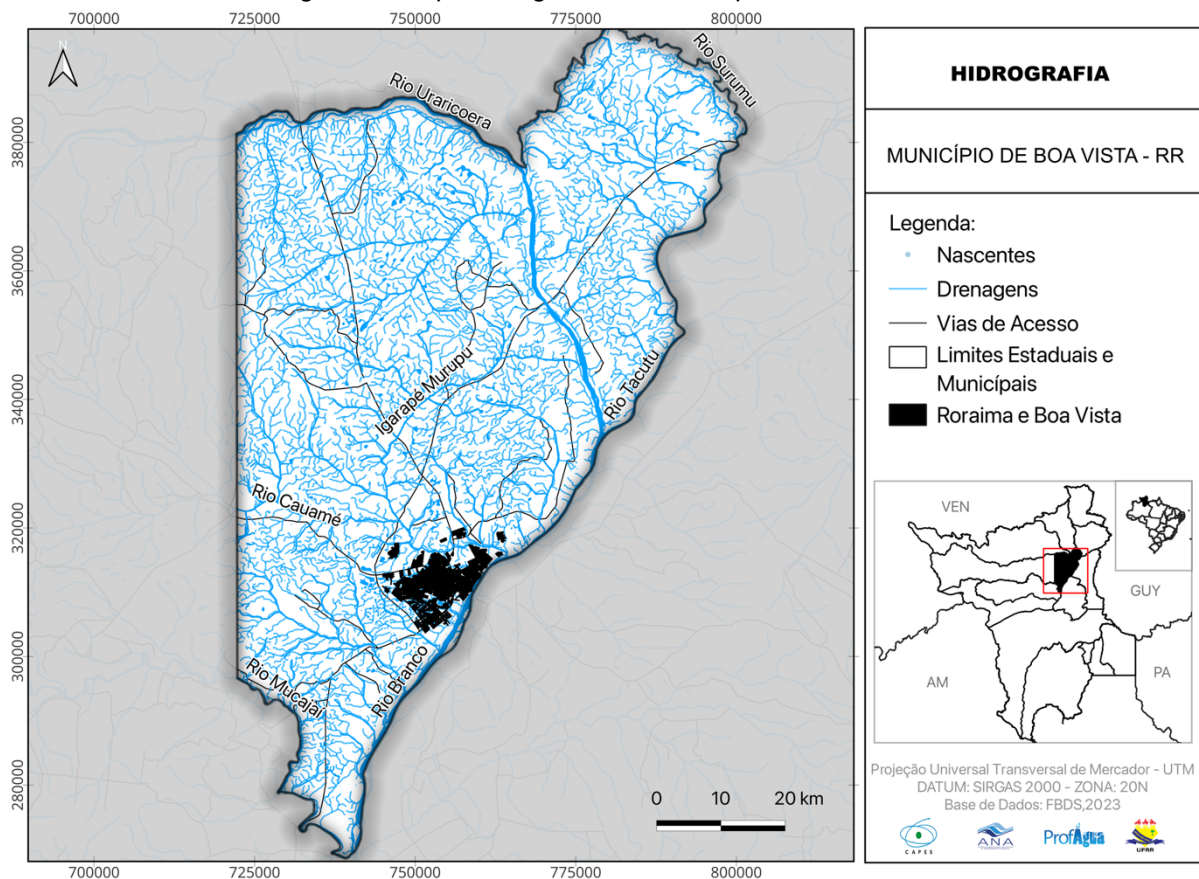
Fonte: O autor.

3.2.1.4. Hidrografia

O sistema hidrográfico da cidade de Boa Vista é representado principalmente pelos rios Branco e Cauamé, que margeiam a área urbana, além de uma rede de igarapés, conforme a hidrografia oficial do Estado de Roraima. As nascentes desses

cursos d'água distribuem-se em três ambientes distintos, concentrados em regiões com grande número de lagos naturais temporários e permanentes, configurando um ambiente fluviolacustre, característico da área urbana e periurbana do município (IBGE, 2005; IBGE, 2006).

Figura 7 - Mapa hidrográfico do Município de Boa Vista.



Fonte: O autor.

Esses lagos, frequentemente interconectados, compartilham nascentes e formam extensos mosaicos lacustres que se unem durante o período chuvoso. Em função dessa configuração, a definição individualizada das nascentes de alguns igarapés torna-se complexa, uma vez que estas emergem de forma conjunta na paisagem, característica típica de áreas de baixa declividade e drenagem difusa, conforme descrito na literatura geomorfológica e hidrológica regional (IBGE, 2005; TUCCI, 2007).

Segundo Sander et al. (2008), extensas áreas da cidade, especialmente na zona leste, são ocupadas por lagos que preenchem superfícies deprimidas ou abaciadas, apresentando sedimentos de fundo predominantemente argilo-arenosos, coloração acinzentada e elevada concentração de matéria orgânica. Durante a

estação chuvosa, esses lagos temporários formam extensos espelhos d'água, conectando-se a outros corpos hídricos e, por vezes, a bacias vizinhas, resultando em um padrão de drenagem anastomosado, composto por pequenos canais, típico de ambientes fluviolacustres amazônicos (SANDER et al., 2008; IBGE, 2005).

3.2.1.5 Solos

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no município de Boa Vista predominam os Latossolos Amarelos distróficos, caracterizados por textura média, baixa fertilidade natural e caráter ácido a fortemente ácido. Ainda segundo o IBGE, apesar dessas limitações naturais, esses solos apresentam aptidão para o cultivo de diversas culturas, especialmente culturas permanentes, como a fruticultura, em função de sua profundidade e boa drenagem (IBGE, 2015). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária acrescenta que essas características são comuns a Latossolos desenvolvidos em ambientes tropicais úmidos, desde que manejados adequadamente (EMBRAPA, 2018).

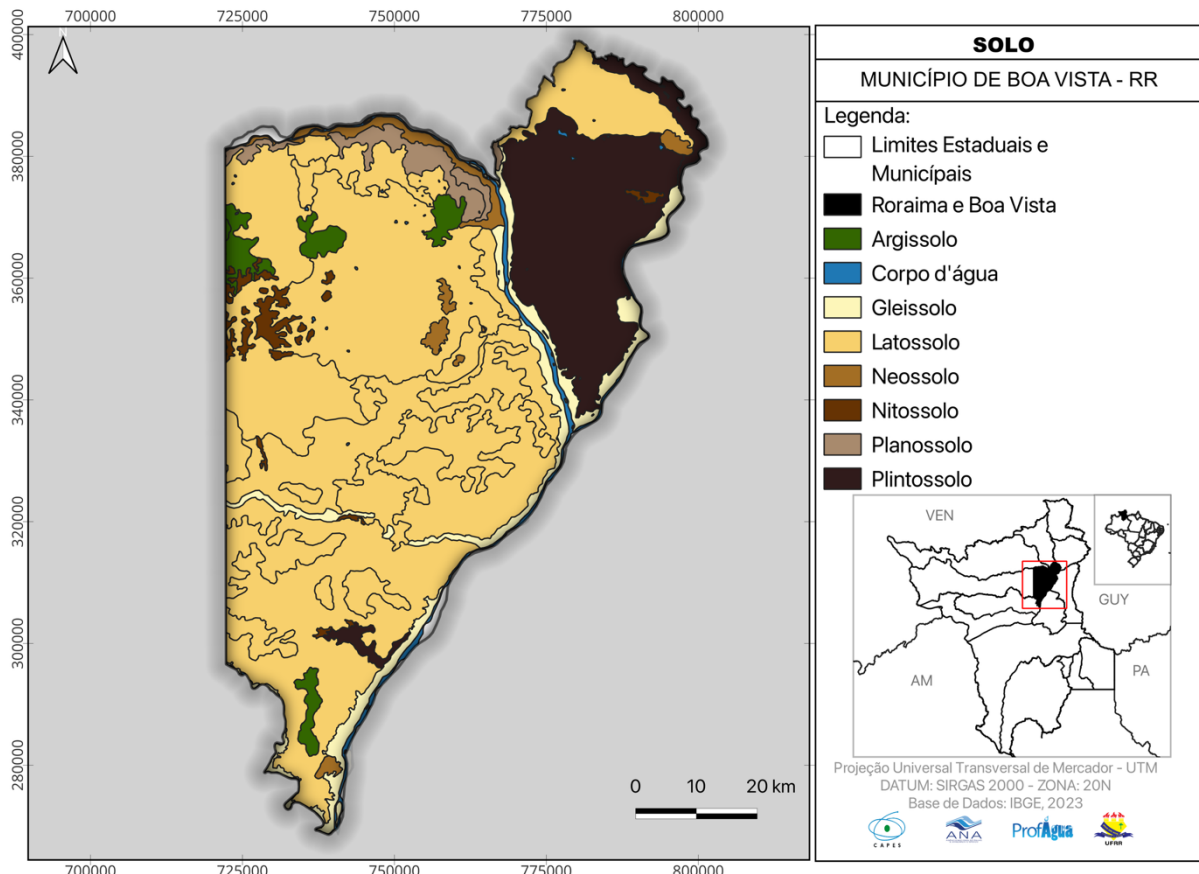
Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, na porção oeste da cidade ocorrem depósitos associados à Formação Apoteri, compostos por derrames de lava basáltica e andesítica, de idade jurássico-cretácea. A CPRM destaca que, nessas áreas, desenvolvem-se solos derivados do intemperismo de rochas ígneas e metamórficas, sobre os quais se formaram Latossolos Vermelhos eutróficos, associados a relevo suave a ondulado e elevado potencial agrícola (CPRM, 2002). O IBGE confirma essa associação litopedológica nos mapeamentos pedológicos do Estado de Roraima (IBGE, 2015).

Conforme descrevem Vale Júnior e Schaefer, a pedologia do município de Boa Vista é representada principalmente por Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Neossolos, associados a depósitos do final do Terciário e início do Quaternário (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Os autores destacam ainda que, em áreas de depressões internas, ocorrem solos hidromórficos, representados por Neossolos Quartzarênicos hidromórficos e Gleissolos Melânicos, resultantes de condições de saturação hídrica periódica, aspecto também reconhecido pelo IBGE em seus levantamentos ambientais (IBGE, 2015).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indica que a classe de solo mais extensa no município é o Latossolo Amarelo, correspondendo a aproximadamente 85% da área municipal. Segundo o IBGE, esses solos estão associados aos

sedimentos argilo-arenosos da Formação Boa Vista, desenvolvidos sob condições de alternância climática úmida e seca, relevo aplainado e declividades entre 0 e 3%, características que condicionam tanto o uso do solo quanto a dinâmica ambiental local (IBGE, 2015). Vale Júnior e Schaefer (2010) reforçam essa predominância ao analisar a distribuição espacial das classes de solo no município.

Figura 8 - Mapa de Solos do Município de Boa Vista.



Fonte: A autora.

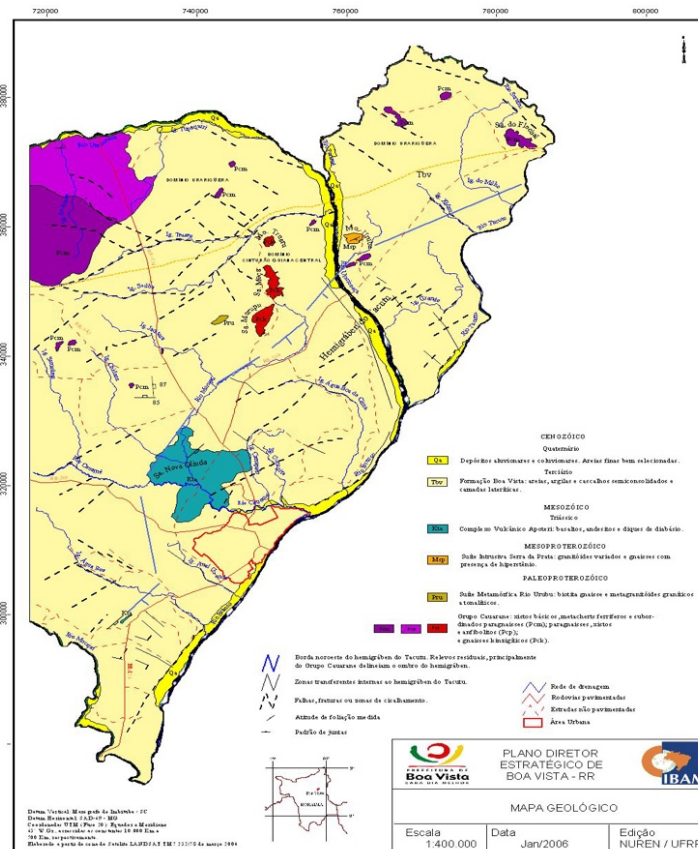
3.2.1.6 Geologia

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, a cidade de Boa Vista está assentada na unidade geológica denominada Depressão Boa Vista, caracterizada por uma superfície pediplanada bem conservada, desenvolvida sobre terrenos sedimentares pleistocênicos da Formação Boa Vista. Estudos recentes do Serviço Geológico do Brasil indicam que essa unidade representa um importante compartimento geológico associado à evolução cenozoica da região central do estado de Roraima, exercendo controle direto sobre o relevo e a drenagem superficial (CPRM, 2002; SGB, 2025).

Segundo o Serviço Geológico do Brasil, na porção centro-oeste da bacia ocorrem depósitos do Complexo Vulcânico Apoteri, constituído por derrames de lava basáltica e andesítica, de idade jurássico-cretácea, relacionados à abertura do Gráben do Tacutu, evento tectônico de grande relevância para a compartimentação geológica regional (SGB, 2025).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística descreve que os depósitos de cobertura que recobrem a área urbana de Boa Vista são predominantemente arenosos, semi-consolidados e inconsolidados, de idade terciária, incluindo arenitos ferruginosos, arcósios a conglomeráticos, siltitos e argilitos, os quais recobrem litologias pré-cambrianas, mesozoicas e cenozoicas. Trabalhos recentes apresentados nos Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia reforçam que esses depósitos sustentam extensas superfícies planas, frequentemente associadas a solos hidromórficos, com dinâmica fortemente condicionada pela rede de drenagem vinculada ao Gráben do Tacutu (IBGE, 2005; IBGE, 2015; SGB, 2025).

Figura 9 - Mapa Geológico do município de Boa Vista/RR, mostrando que a área urbana está totalmente inserida na Formação Boa Vista.



Fonte: IBAM, (2006).

3.3 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os procedimentos e instrumentos de coleta de dados foram definidos em consonância com a problemática da pesquisa e com o delineamento metodológico adotado, conforme orientam Marconi e Lakatos (2003) e Gil (2008). Para atender aos objetivos propostos, foram utilizados, de forma complementar, dados secundários e primários.

A coleta de dados secundários envolveu a análise de legislações, resoluções, normas técnicas, relatórios institucionais e documentos oficiais disponíveis em bases públicas e em sítios eletrônicos de órgãos federais, estaduais e municipais, tais como a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH), o Portal Nacional do Licenciamento Ambiental (PNLA), além de documentos do Poder Legislativo em âmbito estadual e municipal. Esses dados subsidiaram a elaboração dos quadros comparativos apresentados no capítulo de resultados, em especial o Quadro 2, que sistematiza os instrumentos normativos aplicáveis ao licenciamento ambiental de postos de combustíveis no Brasil.

Como complemento à pesquisa documental, foram coletados dados primários por meio de conversas informais e trocas de informações institucionais com representantes da FEMARH, do Sindicato dos Postos de Combustíveis de Roraima (SINDIPOSTOS) e da Câmara Municipal de Boa Vista. Conforme destacam Ribeiro, Souza e Sampaio (2018), esse tipo de interação possibilita a obtenção de informações que nem sempre se encontram explicitadas em documentos formais, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada da realidade investigada.

Essas interações não configuraram entrevistas estruturadas, sendo utilizadas como instrumento qualitativo de apoio à interpretação dos dados documentais, sem identificação individual dos interlocutores, em conformidade com os princípios éticos da pesquisa científica.

3.4 FASE DE CAMPO E LIMITAÇÕES DO ESTUDO EMPÍRICO

A fase de campo consistiu no levantamento de informações institucionais e na verificação da existência de registros formais relacionados à implantação, licenciamento e outorga de poços de monitoramento ambiental em postos de combustíveis localizados na área urbana de Boa Vista. Essa etapa foi realizada por

meio de consultas a órgãos ambientais estaduais, entidades representativas do setor e instâncias do Poder Legislativo municipal.

Durante a execução da fase de campo, foram identificadas dificuldades operacionais e institucionais que impactaram diretamente o desenvolvimento da pesquisa. A principal limitação consistiu na inexistência de poços de monitoramento oficialmente implantados e outorgados, conforme confirmado pela FEMARH. Tal condição inviabilizou a realização de procedimentos técnicos em campo, como inspeções físicas de poços, medições de nível estático, análises de fluxo subterrâneo ou coletas de amostras de água.

Adicionalmente, verificou-se a ausência de registros sistematizados sobre solicitações de outorga ou planos de monitoramento ambiental associados aos postos de combustíveis, o que limitou a obtenção de dados empíricos diretos. Essa limitação não decorreu de falha metodológica, mas constitui um resultado empírico da própria pesquisa, ao evidenciar a inexistência de exigência legal e de práticas institucionais voltadas ao monitoramento ambiental no município.

Outra limitação relevante refere-se à escassez de mapeamento hidrogeológico detalhado e atualizado da área urbana de Boa Vista, especialmente no que concerne à profundidade do lençol freático e à direção do fluxo subterrâneo. Essa lacuna restringiu análises espaciais mais aprofundadas sobre áreas de maior vulnerabilidade, mas reforçou a necessidade de implantação de uma malha de poços de monitoramento como instrumento básico de gestão ambiental.

Dessa forma, as limitações identificadas impactaram o estudo ao direcionar o foco empírico para a análise normativa, institucional e regulatória, sem comprometer o escopo da pesquisa, uma vez que a ausência de dados de campo constitui evidência concreta da fragilidade da gestão ambiental local.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados foi conduzida observando-se os princípios éticos e o rigor científico, conforme orientações apresentadas por Cunha, Peruzzo Júnior e Meirelles (2018). Considerando o caráter qualitativo e exploratório da pesquisa, a análise priorizou a interpretação crítica dos conteúdos normativos e institucionais, buscando compreender a forma como os instrumentos legais e técnicos disciplinam o monitoramento ambiental em postos de combustíveis.

Para esse fim, adotou-se a Análise de Conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016), estruturada em três etapas: (i) pré-análise, com organização, sistematização e leitura flutuante do material; (ii) exploração do material, com codificação, categorização e identificação de unidades de sentido; e (iii) tratamento dos resultados e interpretação, visando à compreensão dos significados e à inferência analítica dos conteúdos examinados.

De forma complementar, utilizou-se a abordagem de comparação constante, conforme descrita por Gibbs (2009), possibilitando a análise comparativa entre legislações, documentos institucionais e experiências normativas de diferentes unidades da federação. Essa estratégia permitiu identificar convergências, divergências e lacunas normativas, especialmente no que se refere à regulamentação da implantação de poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de combustíveis.

Os resultados dessa etapa analítica foram organizados em textos analíticos, quadros comparativos e figuras, apresentados no capítulo de resultados, de modo a subsidiar a discussão crítica e a proposição do produto técnico.

3.5 DO PRODUTO

Em consonância com as diretrizes da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua/UFRR), o presente trabalho resultou na elaboração de um produto técnico aplicado, apresentado em apêndice à dissertação.

O produto consiste em uma minuta de projeto de lei municipal que estabelece critérios e parâmetros para a obrigatoriedade da instalação de poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de combustíveis no município de Boa Vista–RR. A proposta fundamenta-se em normas técnicas da ABNT, resoluções do CONAMA e em experiências normativas de outros entes federativos, buscando conferir segurança jurídica, aplicabilidade prática e efetividade ambiental.

A regulamentação proposta visa fortalecer a gestão integrada dos recursos hídricos, prevenir a contaminação das águas subterrâneas e contribuir para a proteção da saúde pública, promovendo o uso racional e sustentável da água no contexto urbano do município de Boa Vista.

4 RESULTADOS E DISCUSSOES

No presente capítulo são apresentados e analisados os dados obtidos ao longo da pesquisa, estabelecendo-se comparações e discussões a partir do referencial teórico e do arcabouço normativo analisado. Inicialmente, procede-se à análise documental das normas legais e técnicas relacionadas ao monitoramento ambiental em postos de combustíveis, seguida da avaliação da legislação local e, de forma comparativa, das normativas adotadas por outros entes da federação.

4.1 CONTEXTO NO ESTADO DE RORAIMA E UNIDADES DA FEDERAÇÃO COM LEGISLAÇÃO SOBRE O TEMA

Este tópico examina a conformidade da legislação existente e analisa se os postos de abastecimento de combustíveis no Estado de Roraima observam os requisitos ambientais estabelecidos em âmbito nacional.

Com base no registro de revendedores varejistas de combustíveis automotivos da ANP, atualizado em 29 de agosto de 2023, o Brasil possui 43.639 postos de combustíveis em operação, dos quais 2.869 estão localizados na Região Norte e 107 no Estado de Roraima, que se destaca como a unidade da federação com o menor número de postos do país (BRASIL, 2024). Contudo, dados apresentados no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 2024 indicam a existência de 138 postos em Roraima, evidenciando divergências nos registros oficiais e apontando para a necessidade de maior integração e atualização das bases de dados institucionais (BRASIL, 2024).

No município de Boa Vista, capital do Estado, o Sindicato dos Postos de Combustíveis de Roraima (SINDIPOSTOS) informa a existência de 52 postos de abastecimento distribuídos na área urbana. Entretanto, conforme informações fornecidas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH), não há registro de outorgas para poços de monitoramento em nenhum posto de combustíveis no município. Ademais, tanto a Assembleia Legislativa do Estado de Roraima quanto a Câmara Municipal de Boa Vista confirmaram a inexistência de leis ou normativos específicos que exijam a implantação de poços de monitoramento nesses empreendimentos.

Esse cenário evidencia uma lacuna normativa significativa no Estado de Roraima e, particularmente, no município de Boa Vista. A ausência de

regulamentação específica compromete a efetividade do controle ambiental e limita a capacidade de prevenção e mitigação de riscos associados à contaminação do solo e das águas subterrâneas decorrentes das atividades de abastecimento de combustíveis. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a necessidade de fortalecimento da legislação local, de modo a assegurar maior proteção ambiental e alinhamento com as diretrizes nacionais.

4.2 NORMATIVAS PARA O MONITORAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NO BRASIL

A previsão legal do monitoramento do solo e das águas subterrâneas por meio de normas técnicas e jurídicas constitui instrumento fundamental para a proteção ambiental e para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Nesse sentido, a análise do arcabouço normativo vigente em diferentes unidades da federação permite compreender como o monitoramento ambiental em postos de combustíveis tem sido incorporado às políticas públicas de controle e prevenção da contaminação.

No Estado de São Paulo, o Decreto nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991, que regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988, estabelece diretrizes específicas para a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas. Esse decreto disciplina o controle e a fiscalização de atividades potencialmente impactantes aos aquíferos, abrangendo medidas de proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos. O Artigo 17 do referido decreto trata da disposição de resíduos no solo e exige que os projetos apresentem caracterização hidrogeológica detalhada da área, bem como as medidas de proteção a serem adotadas.

O §1º do Artigo 17 determina que as áreas onde houver disposição de resíduos sejam obrigatoriamente equipadas com sistemas de monitoramento das águas subterrâneas, a serem implantados pelo responsável pelo empreendimento, conforme plano previamente aprovado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Esse plano deve contemplar a localização e os aspectos construtivos dos poços de monitoramento, os procedimentos de amostragem, a periodicidade das análises, os parâmetros a serem monitorados e os métodos analíticos empregados. O §2º impõe a apresentação de relatório anual com os dados do monitoramento, enquanto o §3º estabelece a obrigatoriedade de adoção de medidas corretivas nos casos em que sejam observadas alterações significativas na qualidade da água

subterrânea a jusante, evidenciando o caráter preventivo e corretivo da norma paulista.

No âmbito municipal, a Resolução “N” EIS/REN nº 5, de 23 de maio de 2023, do município do Rio de Janeiro, estabelece diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de sistemas de armazenamento e abastecimento de combustíveis. A norma abrange tanto os sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) quanto os sistemas de armazenamento aéreo de combustíveis (SAAC) com linhas enterradas, prevendo medidas específicas para prevenir e mitigar riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. O Artigo 20 da resolução disciplina as etapas de investigação ambiental, exigindo, em seu §1º, a realização de Investigação Confirmatória conforme a NBR 15.515-2, com análise de parâmetros como BTEX, PAH e TPH.

A norma estabelece ainda que, na ausência de contaminação, o monitoramento da água subterrânea deve ser realizado com periodicidade bienal, tanto para atividades em funcionamento quanto para novos empreendimentos. Por outro lado, nos casos em que a investigação ou o monitoramento indiquem contaminação, o §3º determina a realização de Investigação Detalhada e Avaliação de Risco à Saúde Humana, conforme a NOP-INEA-06, bem como a adoção de ações corretivas e a continuidade do monitoramento. Ressalta-se, ainda, a exigência de que os relatórios técnicos sejam acompanhados de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), laudos laboratoriais emitidos por laboratórios credenciados e cadeias de custódia das amostras, assegurando a confiabilidade dos dados produzidos.

No Estado do Paraná, a Resolução SEDEST nº 3, de 17 de janeiro de 2020, dispõe sobre o licenciamento ambiental de atividades relacionadas a postos revendedores, postos de abastecimento, sistemas retalhistas de combustíveis (TRR), postos flutuantes e bases de distribuição. Essa resolução estabelece critérios e procedimentos alinhados às diretrizes da Resolução CONAMA nº 273/2000 e da Resolução CONAMA nº 362/2005. Os artigos 35 e 36 tratam especificamente do automonitoramento e do monitoramento da qualidade da água em poços tubulares profundos ou poços cacimba, exigindo a análise anual de parâmetros associados à contaminação por derivados de petróleo, como BTEX, PAH e TPH, reforçando a integração entre licenciamento ambiental e proteção dos recursos hídricos.

De forma complementar, a Lei nº 12.621, de 26 de agosto de 1996, do Estado do Ceará, estabelece medidas preventivas de proteção ambiental em postos de

serviços, com ênfase nos sistemas de combustíveis. O Artigo 3º da referida lei determina a obrigatoriedade do controle de inventário de tanques, com registro no Livro de Movimentação de Combustíveis (LMC), enquanto o §7º exige a implantação de poços de inspeção ou outros sistemas de detecção de vazamentos, evidenciando a preocupação com a integridade dos sistemas de armazenamento e a prevenção de danos ambientais.

Além das normativas estaduais e municipais analisadas, o monitoramento ambiental de águas subterrâneas em postos de combustíveis no Brasil encontra respaldo direto em instrumentos normativos de abrangência nacional que tratam, de forma integrada, da qualidade ambiental dos aquíferos, do controle da contaminação e da proteção da saúde pública.

Nesse contexto, destaca-se a Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e o enquadramento das águas subterrâneas, bem como estabelece diretrizes ambientais para sua proteção. Essa resolução define classes de qualidade para as águas subterrâneas e fixa valores orientadores para substâncias químicas potencialmente contaminantes, incluindo compostos orgânicos associados a derivados de petróleo. Embora não trate exclusivamente de postos de combustíveis, a norma constitui referência fundamental para a avaliação da qualidade da água subterrânea e para a interpretação dos resultados obtidos em poços de monitoramento, especialmente em áreas sujeitas a riscos de contaminação por sistemas de armazenamento de combustíveis.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 reforça, portanto, a necessidade da existência de poços de monitoramento adequadamente implantados, uma vez que a classificação e o enquadramento das águas subterrâneas pressupõem a obtenção de dados sistemáticos e confiáveis sobre sua qualidade. Nesse sentido, os poços de monitoramento configuram-se como instrumentos técnicos indispensáveis para subsidiar o controle ambiental, a identificação precoce de alterações na qualidade da água e a adoção de medidas corretivas, quando necessárias.

De forma complementar, a Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e define os padrões de potabilidade a serem observados em todo o território nacional. Essa portaria inclui limites máximos permitidos para substâncias químicas de relevância toxicológica, entre as quais se destacam os

compostos BTEX, frequentemente associados à contaminação decorrente de vazamentos em postos de combustíveis.

Embora a Portaria nº 888/2021 tenha enfoque sanitário, sua aplicação guarda estreita relação com o monitoramento ambiental das águas subterrâneas, sobretudo em municípios que utilizam aquíferos como fonte de abastecimento. Nesse contexto, os dados obtidos por meio de poços de monitoramento ambiental constituem subsídio essencial para a avaliação de riscos à saúde pública, permitindo verificar a conformidade da água subterrânea com os padrões de potabilidade e orientar ações de vigilância e prevenção.

Assim, a articulação entre a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria GM/MS nº 888/2021 evidencia que o monitoramento ambiental em postos de combustíveis extrapola a esfera do licenciamento ambiental, assumindo papel estratégico na proteção dos recursos hídricos subterrâneos e na salvaguarda da saúde da população. A ausência de poços de monitoramento inviabiliza, inclusive, a aplicação efetiva dessas normas, uma vez que compromete a produção de informações técnicas necessárias à avaliação da qualidade da água e à gestão ambiental integrada.

A análise dessas normativas evidencia que diferentes unidades da federação adotaram instrumentos legais específicos para disciplinar o monitoramento ambiental em postos de combustíveis, incorporando exigências técnicas relacionadas à investigação ambiental, ao monitoramento contínuo e à responsabilização dos empreendedores. Essa diversidade normativa encontra-se sintetizada no Quadro 2, que apresenta os principais instrumentos legais adotados em âmbito nacional, estadual e distrital, evidenciando a existência de diretrizes consolidadas para o licenciamento ambiental e o monitoramento dessas atividades no Brasil.

Dessa forma, ao relacionar as normas analisadas com as informações sistematizadas no Quadro 2, observa-se que o monitoramento ambiental em postos de combustíveis constitui prática amplamente reconhecida e regulamentada em diversas unidades da federação. Em contraste, a inexistência de normativas específicas no Estado de Roraima e no município de Boa Vista reforça a fragilidade institucional local e justifica a necessidade de proposição de instrumentos normativos que alinhem a legislação regional às boas práticas adotadas no restante do país.

Quadro 2 - Informações extraídas do Projeto de Cooperação Técnica, Atualização e Modernização do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental.

Instrumento Normativo	Estado da Federação	Descrição
Resolução Conama nº 273/2000	Nacional	Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços, com foco na prevenção e controle da poluição.
Resolução Conama nº 237/1997	Nacional	Regulamenta o procedimento de licenciamento ambiental, aplicável para todas as atividades potencialmente poluidoras, incluindo postos de combustíveis.
Instrução Normativa Ibram nº 1/2007	Distrito Federal	Classifica as tipologias passíveis de licenciamento ambiental e define critérios para postos de combustíveis.
Resolução Semad nº 390/2005	Minas Gerais	Integra o licenciamento ambiental com a outorga de recursos hídricos e define processos para postos de combustíveis.
Resolução Consema nº 84/2004	Rio Grande do Sul	Dispõe sobre o licenciamento ambiental das atividades de produção integradas, incluindo postos de combustíveis.
Resolução Consema nº 85/2004	Rio Grande do Sul	Estabelece critérios para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis.
Resolução CPRH nº 1/2010	Pernambuco	Estabelece diretrizes para o licenciamento de novos empreendimentos, incluindo postos de combustíveis.
Lei Estadual nº 11.520/2000	Rio Grande do Sul	Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e regulamenta o licenciamento ambiental para postos de combustíveis.
Resolução CONAMA nº 396/2008	Nacional	Dispõe sobre a classificação e o enquadramento das águas subterrâneas, estabelecendo diretrizes ambientais e valores orientadores de qualidade, fundamentais para a interpretação de dados obtidos em poços de monitoramento e para a prevenção da contaminação de aquíferos.
Portaria GM/MS nº 888/2021	Nacional	Estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e define os padrões de potabilidade, incluindo limites para compostos químicos como BTEX, sendo referência para avaliação de riscos à saúde associados à contaminação de águas subterrâneas.

Fonte: O autor.

4.3 PROBLEMÁTICA ENCONTRADA E DESAFIOS

Com base nos dados coletados e na análise documental realizada, foram identificados diversos problemas que comprometem a efetividade do monitoramento ambiental em postos de combustíveis no município de Boa Vista.

O primeiro aspecto crítico refere-se à inexistência de legislação estadual e municipal específica que discipline o monitoramento ambiental em postos de combustíveis. Embora existam normas federais que estabelecem diretrizes gerais para atividades potencialmente poluidoras, a ausência de regulamentação local impede a exigência formal de medidas de controle, como a implantação de poços de monitoramento, configurando uma lacuna relevante na proteção ambiental.

Outro problema identificado diz respeito à inexistência de mapeamento hidrogeológico detalhado que identifique e delimite os lençóis freáticos no município de Boa Vista. A falta de informações geológicas e hidrogeológicas dificulta a identificação de áreas mais vulneráveis à contaminação, comprometendo tanto o planejamento urbano quanto a atuação preventiva dos órgãos ambientais.

Adicionalmente, a fiscalização ambiental foi considerada insuficiente. Durante as visitas realizadas, constatou-se que aproximadamente 50% dos postos de combustíveis não possuem poços de monitoramento ambiental, e nenhum apresenta outorga ambiental para esse tipo de estrutura. Tal situação evidencia a ausência de acompanhamento sistemático das atividades potencialmente poluidoras e amplia os riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Por fim, a inexistência de registros de pedidos de outorga para poços de monitoramento junto à FEMARH confirma a ausência dessa prática no município. Esse dado reforça não apenas a fragilidade da fiscalização, mas também a necessidade de fortalecimento das políticas públicas e dos instrumentos normativos, de modo a promover maior conscientização e responsabilização dos empreendedores. Assim, os resultados obtidos evidenciam a urgência da adoção de regulamentações estaduais e municipais que assegurem a implementação efetiva de mecanismos de monitoramento ambiental, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos e para a segurança ambiental da população de Boa Vista.

5 CONCLUSÃO

Ao investigar a regulação e a efetividade dos poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de combustíveis no município de Boa Vista, Estado de Roraima, a pesquisa partiu da questão norteadora relacionada às razões pelas quais, mesmo diante da existência de um arcabouço normativo federal consolidado e da reconhecida relevância ambiental do tema, inexistente legislação estadual ou municipal que discipline, de forma adequada, a instalação, a operação e o acompanhamento desses instrumentos de prevenção ambiental. Nesse sentido, a investigação concentrou-se na análise da legislação aplicável, na verificação de sua incidência no contexto local, na avaliação da presença física de poços de monitoramento nos postos de combustíveis da capital e na elaboração de uma proposta normativa municipal voltada à regulamentação da matéria.

A hipótese inicialmente formulada — de que a ausência de normatização local, associada à fragilidade da fiscalização ambiental e ao limitado domínio técnico sobre os riscos associados à contaminação por derivados de petróleo, constitui o principal fator impeditivo à implementação efetiva dos poços de monitoramento — foi confirmada a partir do desenvolvimento do referencial teórico, da pesquisa documental e da coleta de dados primários junto à Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH), ao Sindicato dos Postos de Combustíveis de Roraima (SINDIPOSTOS) e à Câmara Municipal de Boa Vista. Os resultados evidenciaram a inexistência de exigências legais locais, a ausência de registros de outorga para poços de monitoramento e a falta de diretrizes técnicas mínimas voltadas ao controle da qualidade das águas subterrâneas em áreas potencialmente contaminadas.

Com base nos dados analisados, identificaram-se ao menos quatro fatores limitantes à regulamentação e à efetiva implementação dos poços de monitoramento em Roraima: (i) a inexistência de legislação estadual e municipal específica sobre o tema; (ii) a ausência de mapeamento hidrogeológico detalhado dos aquíferos da capital, o que dificulta a identificação de áreas mais vulneráveis à contaminação; (iii) a fragilidade da fiscalização ambiental exercida pelos órgãos competentes; e (iv) a ausência de exigência normativa e de conscientização, por parte dos proprietários de postos de combustíveis, quanto à adoção de práticas sistemáticas de monitoramento ambiental.

A gravidade dessa problemática é ampliada quando se considera que parcela significativa da população urbana de Boa Vista depende das águas subterrâneas para o abastecimento. A inexistência de instrumentos normativos que imponham a instalação de poços de monitoramento e a constituição de uma malha de monitoramento de compostos orgânicos voláteis (VOC), notadamente os hidrocarbonetos aromáticos do grupo BTEX, compromete a segurança hídrica e eleva os riscos à saúde pública, considerando a elevada toxicidade desses contaminantes, sua mobilidade no meio subterrâneo e sua capacidade de atingir aquíferos utilizados para consumo humano.

Nesse contexto, a pesquisa permitiu caracterizar de forma consistente os fatores impeditivos à regulamentação e à implementação do monitoramento ambiental em postos de combustíveis no município de Boa Vista-RR. Ressalta-se, contudo, que o estudo não pretende esgotar a complexidade da temática, reconhecendo-se que a institucionalização de instrumentos de controle ambiental pode implicar desafios adicionais de natureza administrativa, política e técnica. Ainda assim, os resultados obtidos evidenciam a urgência da superação da lacuna normativa identificada.

A análise da efetividade dos poços de monitoramento, enquanto instrumentos de prevenção ambiental e de promoção do uso racional e sustentável das águas subterrâneas, mostrou-se particularmente relevante à luz das normas federais vigentes. A Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece diretrizes para a classificação e o enquadramento das águas subterrâneas, pressupõe a existência de dados sistemáticos de qualidade e confere centralidade aos poços de monitoramento como instrumentos técnicos indispensáveis para a avaliação ambiental. De forma complementar, a Portaria GM/MS nº 888/2021 reforça a interface entre monitoramento ambiental e saúde pública, ao definir padrões de potabilidade e limites para substâncias químicas como os compostos BTEX, cuja presença em águas subterrâneas representa risco direto à população.

A sistematização dessas normas, associada às experiências normativas de outros entes da federação, como São Paulo, Paraná, Ceará e Rio de Janeiro, evidenciou que a implantação de poços de monitoramento organizados em malhas compatíveis com o fluxo subterrâneo constitui prática consolidada no país, permitindo a detecção precoce de vazamentos, a contenção de processos de contaminação e o suporte técnico à tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental e da vigilância sanitária.

Como desdobramento final da pesquisa, foi elaborada uma minuta de projeto de lei municipal, apresentada no Apêndice A, destinada a estabelecer critérios e parâmetros para a obrigatoriedade de instalação de poços de monitoramento em postos de combustíveis no município de Boa Vista. A proposta fundamentou-se em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Portaria GM/MS nº 888/2021 e em experiências normativas exitosas de outros estados e municípios, além da análise jurídica dos riscos ambientais e institucionais decorrentes da ausência de monitoramento sistemático.

Por fim, após a defesa desta dissertação e a incorporação das contribuições da banca avaliadora, pretende-se encaminhar a minuta de projeto de lei aos órgãos competentes, como a FEMARH, a Câmara Municipal de Boa Vista, a Assembleia Legislativa do Estado de Roraima e o Ministério Público Estadual. Tal iniciativa visa contribuir de forma concreta para o fortalecimento da governança ambiental no Estado de Roraima, especialmente no que se refere à proteção das águas subterrâneas frente à expansão urbana e à atuação de atividades econômicas potencialmente poluidoras, promovendo maior segurança hídrica, ambiental e sanitária à população.

REFERÊNCIAS

- ABRIOLA, L. M. Modeling contaminant transport in the subsurface. *Water Resources Research*, v. 24, n. 3, p. 409–419, 1988.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2022**. Rio de Janeiro: ANP, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 9, de 7 de março de 2007**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 mar. 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 41, de 5 de novembro de 2013**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 nov. 2013.
- ANJOS, R. M. **Contaminação de solos e águas subterrâneas por hidrocarbonetos derivados de petróleo**. São Paulo: CETESB, 2012.
- ARAÚJO, W. F. et al. Atualização da classificação climática de Boa Vista, Roraima, Brasil. *Nativa*, v. 12, n. 2, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13784**: detecção de vazamento em postos de serviço. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13895**: construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15495-1**: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: projeto e construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15495-2**: poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: desenvolvimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação – referências: elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 68 p.
- BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia e compartimentação do relevo na região do Pediplano Rio Branco–Rio Negro (RR–AM). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, n. 2, p. 35–52, 2008.
- BOA VISTA (Roraima). **Lei Complementar nº 25, de 7 de novembro de 2024**. Institui o Código Ambiental do Município de Boa Vista. Diário Oficial do Município de Boa Vista, Boa Vista, RR, 9 jan. 2025.
- BOA VISTA (RR). **Mapa geológico do município de Boa Vista**. Boa Vista: Prefeitura Municipal de Boa Vista; IBAM; NUREN/UFRR, 2006. 1 mapa. Escala 1:400.000.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2001.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2023.

ECKHARDT, D. A. V. et al. **Monitoramento de águas subterrâneas: princípios e aplicações**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1979.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros**. Rio de Janeiro: FBDS, 2023. Base de dados geoespaciais em formato shapefile. Escala 1:25.000. Disponível em: <https://geo.fbds.org.br/>. Acesso em: 15 jan. 2026.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1988.

IBGE. **Base de dados geoespaciais – BDiA Web**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 15 jan. 2026.

- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.
- IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.
- IBGE. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- IBGE. **Vegetação do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. 1 mapa.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2002.
- LIMA, A. T. et al. **Contaminação do solo e das águas subterrâneas: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- MORITA, D. M. **Áreas contaminadas: investigação e remediação**. São Paulo: CETESB, 2011.
- REBOUÇAS, A. C. **Águas subterrâneas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- SANDER, C. et al. Caracterização geomorfológica e hidrológica da área urbana de Boa Vista (RR). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, n. 2, p. 45–62, 2008.
- SCHIMITZ, R. **Contaminação do solo e das águas subterrâneas por combustíveis**. São Paulo: CETESB, 2017.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do Estado de Roraima**. Brasília, DF: CPRM, 2002. 1 mapa. Escala 1:250.000.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Solos e vegetação de savanas em Roraima. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 159–170, 2010.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Geneva: WHO, 2017.

APÊNDICE A - Produto - Minuta de Projeto de Lei Municipal

PROJETO DE LEI Nº _____/2024

Dispõe sobre a obrigatoriedade de implantação de poços de monitoramento ambiental em postos de abastecimento de combustíveis no município de Boa Vista-RR, e dá outras providências.

A Câmara Municipal de Boa Vista, no uso de suas atribuições legais conferidas pelo artigo _____ da Lei Orgânica Municipal, aprova a seguinte Lei:

Art. 1º Esta Lei dispõe sobre a obrigatoriedade de implantação e manutenção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em postos de abastecimento de combustíveis no município de Boa Vista como medida de prevenção, controle e mitigação de impactos ambientais.

Art. 2º Para efeitos desta Lei, consideram-se poços de monitoramento as estruturas instaladas para coleta e análise de amostras de água subterrânea, visando identificar a presença de contaminantes provenientes das atividades desenvolvidas nos postos de combustíveis.

Art. 3º A implantação de poços de monitoramento será obrigatória em todos os postos de combustíveis existentes e novos, devendo seguir as diretrizes estabelecidas por esta Lei e as normas técnicas aplicáveis, em especial:

I - NBR 13784, que trata dos procedimentos para a detecção de vazamentos em sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis;

II - NBR 15.515-2, que trata das etapas de investigação confirmatória e monitoramento de áreas contaminadas.

§1º Os poços de monitoramento deverão ser instalados de forma a abranger os locais com maior potencial de contaminação, incluindo áreas adjacentes aos tanques de armazenamento, linhas de abastecimento subterrâneo e áreas de descarga de combustíveis.

§2º O número, a profundidade e a localização dos poços deverão ser definidos em estudo técnico elaborado por profissional habilitado, com Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) registrada no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA).

Art. 4º Os postos de combustíveis deverão apresentar à Secretaria Municipal de Meio Ambiente um Plano de Monitoramento Ambiental (PMA) no prazo de 01 (um) ano dias a contar da data de publicação desta Lei, contendo as seguintes informações:

I - Projeto técnico detalhado dos poços de monitoramento, com especificação das características construtivas e localização dos poços;

II - Descrição dos parâmetros a serem analisados, incluindo, no mínimo, os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) e TPH (hidrocarbonetos totais de petróleo);

III - Metodologia de coleta, frequência das análises e critérios de avaliação dos resultados;

IV - Plano de ação em caso de detecção de contaminação, incluindo medidas corretivas e prazos para a execução.

Art. 5º Os relatórios contendo os resultados das análises de água subterrânea deverão ser apresentados anualmente à Secretaria Municipal de Meio Ambiente, até o dia 31 de janeiro de cada ano, acompanhados de laudos emitidos por laboratório credenciado e certificado pela autoridade ambiental competente.

§1º Os relatórios deverão ser arquivados no estabelecimento e mantidos à disposição dos órgãos fiscalizadores por um período mínimo de 5 (cinco) anos.

§2º Caso sejam detectados níveis de contaminação acima dos limites permitidos pela legislação ambiental vigente, o responsável pelo estabelecimento deverá comunicar o fato imediatamente à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e ao órgão ambiental estadual, apresentando um plano de remediação ambiental.

Art. 6º O não cumprimento das obrigações previstas nesta Lei sujeitará o infrator às seguintes sanções administrativas, sem prejuízo das penalidades previstas na legislação ambiental e criminal:

I - Advertência por escrito para regularização das não conformidades no prazo de 30 (trinta) dias;

II - Multa diária no valor de R\$ _____ (_____) por dia de atraso no cumprimento das exigências desta Lei;

III - Suspensão da licença ambiental do estabelecimento até a completa regularização das não conformidades;

IV - Interdição do estabelecimento em caso de reincidência ou de grave risco ambiental, conforme avaliação da autoridade competente.

Art. 7º A Secretaria Municipal de Meio Ambiente poderá, mediante regulamento, estabelecer normas complementares para a execução e o cumprimento desta Lei, observando as diretrizes e parâmetros estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e demais normas técnicas aplicáveis.

Art. 8º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação, revogando-se as disposições em contrário.

Plenário da Câmara Municipal de Boa Vista, aos ____ de _____ de 2025.

Presidente da Câmara Municipal

Vereador(a) Autor(a)