



UFRR
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

APOLIANA DE SOUZA RODRIGUES

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA (SABV): UMA ANÁLISE SOBRE A ÓTICA DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA / RR.

Boa Vista, RR

2018

APOLIANA DE SOUZA RODRIGUES

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA (SABV): UMA ANÁLISE SOBRE A ÓTICA DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA / RR.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, na linha de pesquisa: Dinâmica da Paisagem Amazônica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sander

Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler

Boa Vista, RR

2018

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

R696e Rodrigues, Apoliana de Souza.
Estudo da vulnerabilidade ambiental do sistema aquífero Boa Vista (SABV):
uma análise sobre a ótica da expansão do sistema de esgotamento sanitário no
perímetro urbano do Município de Boa Vista / RR/ Apoliana de Souza
Rodrigues. – Boa Vista, 2018.
107 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sander.
Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Wankle.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de
Pós-Graduação em Geografia.

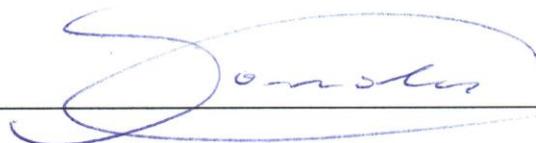
1 – Sistema aquífero Boa Vista. 2 – Vulnerabilidade natural. 3 –
Esgotamento sanitário. I – Título. II – Sander, Carlos (orientador). III – Wankle,
Fábio Luiz (coorientador).

CDU – 55:624.131

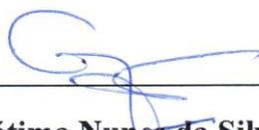
APOLIANA DE SOUZA RODRIGUES

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA (SABV): UMA ANÁLISE SOBRE A ÓTICA DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA / RR.

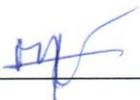
Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, para obtenção do grau de Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Roraima. Linha de pesquisa: Dinâmica da Paisagem Amazônica. Defendida em 19 de março de 2018 e avaliada pela seguinte banca:



Prof. Dr. Carlos Sander – Orientador (UFRR)



Profa. Dra. Gladis de Fátima Nunes da Silva (UERR)



Profa. Dra. Márcia Teixeira Falcão (UERR)



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho (UFRR)

A DEUS, fonte de infinito conhecimento que nos conduz com sabedoria e nos dá ânimo para enfrentar os obstáculos em nossas vidas e à minha família que com incentivo e apoio, proporcionou condições para que esta pesquisa se concretizasse.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e por tudo que tem me concedido.

A minha família pelo amor e compreensão em todos os momentos, pelas palavras de incentivo e por ter sido a peça fundamental para que obtivesse sucesso nesta jornada.

Aos meus amigos pelo incentivo e amizade, essenciais nesta caminhada.

Aos técnicos que integram a Gerência de Projetos e Obras da CAERR, representada pelo engenheiro civil Winder Montenegro Peixoto da Silva, pela ajuda incondicional durante todo curso e por sempre me incentivarem nesta caminhada.

A Diretoria de Engenharia e Gestão Ambiental da CAERR, representada pelo engenheiro civil Edmir Cordeiro de Melo, pelo apoio durante todo curso, pela experiência e informações técnicas compartilhadas.

Ao Diretor Presidente da CAERR Danque Esbell da Silva pelo apoio durante todo curso, pelo auxílio e informações técnicas partilhadas.

Ao prof. Dr. Carlos Sander pelas orientações técnicas, sem as quais não seria possível a realização desta pesquisa. Agradeço também pela parceria durante o curso que muito contribuiu para a minha formação pessoal e profissional.

Ao prof. Dr. Fábio Luiz Wankler pela orientação, apoio e solicitude durante o curso, contribuindo para a minha formação pessoal e profissional.

Aos demais professores, mestrandos e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGGEO por partilharem seus conhecimentos e contribuir para minha formação intelectual e profissional.

A UFRR por ser a intermediadora de todos os conhecimentos técnicos adquiridos.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que mais essa conquista fosse alcançada.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido visando analisar a vulnerabilidade ambiental do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) e sua relação com a expansão do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista – RR. A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados de captações por poços tubulares cadastrados no banco de dados do SIAGAS/CPRM e acervo técnico da CAERR. Para estabelecer o grau de vulnerabilidade natural do SABV, foi utilizado o método GOD, o qual analisa o grau de confinamento da água subterrânea, litologia e profundidade até o lençol freático. A evolução, descrição da estrutura física e operação do SES, foram levantadas junto ao setor técnico da CAERR. O mapa de vulnerabilidade natural à contaminação identificou que 32% dos poços tubulares examinados apresentaram vulnerabilidade média (área que compreende a gênese da cidade e o extremo leste e noroeste) e 68% dos poços tubulares apresentaram vulnerabilidade alta (concentrada nas porções noroeste e sudoeste). O mapa de evolução espaço-temporal do SES demonstrou que as primeiras porções da cidade atendidas pelos serviços de esgotamento sanitário foram as áreas que apresentaram índice médio de vulnerabilidade e as porções cujas estruturas foram implantadas recentemente ou ainda estão em fase de implantação, estão concentradas nas áreas com alto grau de vulnerabilidade. Observa-se que a expansão do sistema de esgotamento sanitário na área estudada se mostrou um fator positivo frente à vulnerabilidade das águas subterrâneas, uma vez que eliminará as formas mais rudimentares de disposição dos efluentes gerados pela população, considerando para tanto, o correto funcionamento de toda a estrutura pública de esgotamento sanitário.

Palavras-chave: Sistema aquífero Boa Vista. Vulnerabilidade natural. Esgotamento sanitário.

ABSTRACT

The current academic work aims to analyze the environmental vulnerability of Boa Vista Aquifer System (SABV) and its relation to the expansion of the sanitary sewage system in the urban perimeter of Boa vista - RR. The respective survey was conducted from data collected by tubular wells registered in databases from SIAGAS/ CPRM and technical aquics from CAERR. In order to establish its extent of natural vulnerability from SABV, the God method was used which analyzes the groundwater confinement, lithology and depth to the water table. The evolution, description of physical structure and operation from SES were collected together with CAERR's technical sector. The map of natural vulnerability and contamination detected over 32% of tubular wells inspected and presented medium vulnerability (area which comprises the city's genesis and the east and northwest ends) and 68% of the current tubular wells illustrated high vulnerability (concentrated in the northwest and southwest portions). The spatial-temporal evolution map of SES highlighted that the first portions of the city assisted by the sanitary sewage services were those regions that had an average vulnerability index, therefore, the portions which its structures were recently implanted or still in its implantation phase and are concentrated in the areas with high degree of vulnerability. It is noticed that the expansion of its sanitary sewage system in the respective area had a positive factor against the vulnerability of groundwater, yet It will eliminate the most rudimentary forms from disposition of its effluents generated by population, moreover, the correct functioning of the whole public structure from sanitary sewage.

Keywords: Boa Vista Aquifer System. Natural Vulnerability. Sanitary Sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Distribuição dos oceanos e da água doce na Terra.....	20
Figura 2 –	Distribuição vertical da água no solo.....	23
Figura 3 –	(a) Aquíferos porosos, (b) Aquíferos fissural ou fraturado, (c) Aquíferos cársticos.....	25
Figura 4 –	Representação esquemática de aquíferos livre e confinado.....	26
Figura 5 –	Distribuição dos principais aquíferos do Brasil.....	29
Figura 6 –	Sistema Aquífero Boa Vista - Município de Boa Vista / RR.....	30
Figura 7 –	Gênese de Boa Vista (a) Forte São Joaquim - 1775, (b) Maquete do Projeto Urbanístico - 1944, (c) Conjunto Cidadão - 2002.....	36
Figura 8 –	Mapa de expansão urbana e ocupação irregular de APP (1978 a 2011).....	36
Figura 9 –	Variação espaço temporal da densidade de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista /RR nos anos de 1985 e 2006.....	37
Figura 10 –	Sistema de esgotamento separador absoluto.....	39
Figura 11 –	Sistema de esgotamento combinado.....	39
Figura 12 –	Tubulações e dispositivos que fazem parte do sistema de esgoto.....	41
Figura 13 –	Estação elevatória de esgoto para reversão de bacias.....	42
Figura 14 –	Tratamento de esgoto com lagoa facultativa primária.....	42
Figura 15 –	Sistema de coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto sanitário.....	43
Figura 16 –	Localização da área de estudo, perímetro urbano de Boa Vista / RR.....	45
Figura 17 –	Mapa das unidades geológicas da porção brasileira da Bacia do Tacutu e suas adjacências.....	46
Figura 18 –	Espacialização dos poços analisados no perímetro urbano de Boa Vista/RR.....	53
Figura 19 –	Método GOD para avaliação da vulnerabilidade natural do	

	aquífero à contaminação.....	55
Figura 20 –	Critérios utilizados para a produção de mapa de vulnerabilidade utilizado no método GOD.....	56
Figura 21 –	Etapas executadas para avaliação da vulnerabilidade natural do SABV.....	57
Figura 22 –	Etapas executadas para análise do Sistema de Esgotamento Sanitário.....	58
Figura 23 –	Mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas que compõe o SABV no perímetro urbano de Boa Vista / RR.....	64
Figura 24 –	Mapa de expansão do Sistema de Esgotamento Sanitário no perímetro urbano de Boa Vista /RR.....	66
Figura 25 –	Recebimento dos lotes da 4ª etapa: (A) Abrigo dos quadros de comando e grupo gerador da EEE Raiar do Sol (B) Poço de sucção com guindaste da EEE Raiar do Sol (C) Poço de Visita no bairro Nova Cidade (D) Poço de Visita no Bairro Bela Vista.....	68
Figura 26 –	Sistema convencional de esgoto sanitário adotado pela CAERR.....	70
Figura 27 –	Ligação domiciliar de esgoto sanitário.....	72
Figura 28 –	PV's em anéis de concreto (A) Estrutura e (B) Execução poço visita da CAERR.....	72
Figura 29 –	Unidade de pré-tratamento da EEE do Mirandinha: gradeamento e caixa de areia.....	73
Figura 30 –	Poço de sucção da EEE do Mirandinha.....	74
Figura 31 –	Casa de comando situada ao fundo (EEE Mirandinha), situada no bairro Canarinho.....	74
Figura 32 –	Chaminés de equilíbrio situadas nos bairros (A) São Vicente (B) Canarinho (C) Jardim Primavera.....	76
Figura 33 –	Área selecionada para a instalação do sistema de lagoas de estabilização, próximo ao igarapé Grande.....	78
Figura 34 –	Sistema de lagoas de estabilização composto por um conjunto de cinco lagoas em série: (A) Anaeróbia, (B) Facultativa, (C) Maturação Primária, (D) Maturação Secundária e (E)	

	Maturação Terciária, antes da reforma.....	78
Figura 35 –	Estação Elevatória de Esgoto Igarapé Grande, situada no bairro Aracelis S. Maior.....	79
Figura 36 –	Unidade de pré-tratamento que antecede o tratamento nas lagoas de estabilização.....	80
Figura 37 –	Sistema de lagoas de estabilização com suas respectivas profundidades.....	81
Figura 38 –	Sistema de lagoas de estabilização (A) Unidade de pré-tratamento (B) Lagoa facultativa (C) Lagoas de maturação I e (D) maturação II, localizada no bairro Aracelis Souto Maior.....	82
Figura 39 –	Emissário final de esgoto que direciona os efluentes após o tratamento até o rio Branco.....	82
Figura 40 –	Procedimento para desobstrução de PV em via pública (A) Análise do local pela equipe de campo (B) retirada de equipamentos (C) Introdução de equipamento no PV.....	84
Figura 41 –	Seção transversal esquemática de uma fossa séptica.....	89
Figura 42 –	(a) Controle topográfico na implantação do coletor-tronco Caxangá (b) Execução de PV em alvenaria (c) Escavação no solo para implantação da estação elevatória de esgoto Caxangá.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Níveis de nitrato em águas subterrâneas encontrados em diversas partes do mundo.....	32
Tabela 2 –	Caracterização de zonas permoporosas na porção sudoeste do SABV, Campus Paricarana / UFRR.....	51
Tabela 3 –	Índice de Vulnerabilidade natural do aquífero SABV.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Características gerais dos principais sistemas aquíferos do País.....	28
Quadro 2 –	Panorama dos sistemas aquíferos brasileiros com altas concentrações de nitrato.....	33
Quadro 3 –	Cobertura dos bairros de Boa Vista atendidos pelo SES.....	71
Quadro 4 –	Localização das Estações Elevatórias de Esgoto do SES de Boa Vista – RR.....	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ASCOM	Assessoria de Comunicação
APP	Área de Preservação Permanente
CAERR	Companhia de Águas e Esgotos de Roraima
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EIA	Estudo de Impacto ambiental
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
	Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea;
GOD	Ocorrência de estratos de cobertura e Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Ponderação pelo Inverso da Distância
LO	Licença de Operação
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NE	Nível Estático
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCA	Plano de Controle Ambiental
PDSI	Plano Diretor de Saneamento Integrado da Cidade de Boa Vista/RR

pH	potencial hidrogeniônico
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PV	Poço de Visita
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAB	Sistema Aquífero Bauru
SABV	Sistema Aquífero Boa Vista
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
UFRR	Universidade Federal de Roraima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	ORIGEM, CARACTERIZAÇÃO E VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS.....	19
2.2	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM ÁREAS DE MANANCIAIS.....	31
3	OBJETIVOS	44
3.1	GERAL.....	44
3.2	ESPECÍFICOS.....	44
4	MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
4.1.1	Geologia	46
4.1.2	Geomorfologia	47
4.1.3	Pedologia	48
4.1.4	Hidrogeologia	49
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
4.2.1	Caracterização fisiográfica	52
4.2.2	Avaliação da vulnerabilidade natural e o risco à contaminação do aquífero na área de estudo	53
4.2.3	Elaboração do mapa de vulnerabilidade	57
4.2.4	Análise do Sistema de Esgotamento Sanitário no Perímetro Urbano do Município de Boa Vista – RR	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD.....	59
5.1.1	Grau de confinamento da água subterrânea	59
5.1.2	Ocorrência de estratos de cobertura	59
5.1.3	Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado	60
5.1.4	Índice de vulnerabilidade natural à contaminação	60
5.2	MAPA DE VULNERABILIDADE.....	62
6	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DE BOA VISTA – RR	65

6.1	EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	65
6.2	ESTRUTURA, OPERAÇÃO E CONTROLE AMBIENTAL DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	69
7	A VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA FRENTE À EXPANSÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	85
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

A história da civilização está intrinsecamente relacionada à água, não apenas por sua condição de recurso vital à vida, mas também por questões econômicas, culturais e estéticas. Neste sentido, o surgimento e crescimento das cidades têm ocasionado inúmeros impactos a esse recurso natural, pois à medida que os assentamentos urbanos surgiam, os recursos hídricos sentiam esses impactos através das cargas sanitárias, resíduos das atividades comerciais e poluição urbana, decorrentes de inúmeras outras ações antrópicas.

Ao mencionar os recursos hídricos, automaticamente nos reportamos a rios, lagos e igarapés, reservatórios de água que estão visíveis aos olhos. No entanto, existe uma enorme fonte de recursos hídricos no subsolo, onde se encontram as águas subterrâneas que formam os aquíferos. Representando importantes reservatórios de água, responsáveis pelo armazenamento de grande parte da água doce disponível para o consumo humano e que são tão vulneráveis a impactos ambientais negativos quanto os mananciais superficiais (IRITANI; EZAKI, 2012).

Nesse sentido, a atual configuração do espaço urbano de Boa Vista tem ocasionado sérios problemas de caráter socioambiental, tendo em vista que a cidade tem crescido no sentido oeste e sudoeste, onde está concentrada uma vasta rede de drenagem caracterizada na sua maioria por lagos e igarapés, que ao longo dos anos vem sendo antropizada pela ocupação desenfreada desses ambientes, modificando drasticamente a paisagem. Este processo traz reflexos negativos à qualidade da água desses mananciais superficiais, como também dos lençóis freáticos que se encontram muito próximos à superfície.

Em meio à problemática socioambiental, a capital Boa Vista passa por um processo de expansão do sistema de esgotamento sanitário, produto de um convênio entre os governos federal e estadual. O objetivo de tal empreendimento é expandir o sistema de coleta de esgoto doméstico, ampliando a cobertura de coleta de 18% (situação em 2009), para 93%, com o tratamento de 100% do esgoto produzido na cidade até o final do ano de 2018. Desta forma, estão sendo implantados diversos dispositivos como redes coletoras de esgoto sanitário em vários bairros da capital (ASCOM/CAERR, 2018).

Nessa conjuntura urbana, está inserido o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV), qualificado por sua alta potencialidade e permeabilidade, contribuindo com

o abastecimento urbano, através de poços tubulares perfurados tanto por empresas particulares, quanto pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAERR), sendo indispensável um rigoroso controle das atividades antrópicas, a fim de proteger esse precioso recurso (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012).

Uma das ferramentas que vem sendo amplamente utilizada para auxiliar na proteção e manutenção dos aquíferos está relacionada aos métodos de determinação da vulnerabilidade, que nada mais são do que procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e de suas especificidades, permitindo a construção de mapas temáticos que contribuem no planejamento do uso e ocupação do solo. Nesse contexto, o método denominado GOD (**G**roundwater occurrence, **O**verall lithology of the unsaturated zone e **D**epth to the water table), tem se mostrado uma alternativa viável frente a ausência de dados mais específicos, devido à simplificação dos seus parâmetros.

Com base no descrito, foi proposto por meio desta pesquisa um estudo sobre as propriedades do SABV e sua vulnerabilidade natural à contaminação, associando-o à expansão do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista – RR.

Para tanto, foram considerados os dados existentes sobre a área de estudo e pesquisas em campo visando à elaboração de um mapa de vulnerabilidade natural a contaminação do SABV e mapa de evolução e espacialização do SES, o qual foi produzido com o objetivo de evidenciar as áreas vulneráveis do aquífero e o atendimento pelo sistema público de coleta e tratamento de esgotos, que possui uma contribuição significativa na preservação desse manancial subterrâneo.

Diante do exposto, fica evidente a importância de pesquisas voltadas para a dinâmica da paisagem amazônica, onde a busca por conhecimento que integre a preservação dos recursos hídricos e a qualidade de vida no meio urbano, tem despertado o interesse da comunidade científica, tanto em relação aos aspectos ambientais como aos aspectos socioeconômicos.

Para uma melhor compreensão da pesquisa, a dissertação foi estruturada em oito partes. O capítulo 1 apresenta as principais diretrizes abordadas ao longo do trabalho. O capítulo 2 expõe o referencial teórico que embasou o trabalho.

No capítulo 3 são expostos os objetivos gerais e específicos que nortearam a pesquisa, complementado pelo capítulo 4 que descreve os materiais e métodos adotados para sua execução.

No capítulo 5 apresenta os resultados inerentes à aplicação do método GOD a partir do qual foi elaborado o mapa de vulnerabilidade natural à contaminação, onde são discutidos a espacialização das áreas mais suscetíveis a contaminação natural da área de estudo.

Na sexta parte (capítulo 6) evidencia a evolução espaço-temporal do sistema de esgoto sanitário, bem como sua estrutura física e operação. O capítulo seguinte (capítulo 7) apresenta a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Boa Vista frente à expansão do SES.

O último capítulo (capítulo 8) refere-se às considerações finais que avaliam a espacialização da vulnerabilidade natural do SABV e o papel do sistema de coleta e tratamento do esgoto na preservação do referido aquífero no perímetro urbano do município de Boa Vista – RR.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ORIGEM, CARACTERIZAÇÃO E VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

A água constitui-se em um elemento essencial à vida e ao equilíbrio dos ecossistemas no planeta Terra. É o meio pelo qual substâncias são agregadas e incorporadas através dos diversos ambientes por onde passa, assumindo diferentes estados e percursos, esculpindo e transformando a paisagem (IRITANI; EZAKI, 2012).

Neste contexto, a água em seus estados de vapor, gelo e líquido fluem continuamente num sistema hidráulico complexo e global. Esse sistema configura o ciclo hidrológico, que atua regulando a vida, através do comportamento da água entre a Terra e atmosfera que a envolve, tendo o Sol como o elemento que fornece a energia necessária para que haja essa dinâmica (UEHARA, 2013).

Ciente de sua importância enquanto recurso vital aos seres vivos, a água tem sido uma constante na vida do homem, pois desde os tempos mais primitivos, sempre o atendeu de maneira direta ou indireta; desde suas necessidades fisiológicas, até o desenvolvimento de tecnologias que visavam, por exemplo, a irrigação de grandes culturas para obterem alimentos, garantindo-lhe a sobrevivência na Terra (SILVA; DIAS; FIGUEREDO JÚNIOR, 2011).

No que diz respeito a sua disponibilidade, Philippi Júnior e Martins (2005) descrevem que durante séculos esse precioso líquido foi considerado pelo homem um bem de quantidade e qualidade ilimitada, que sempre esteve a sua disposição por se tratar de um recurso natural e renovável.

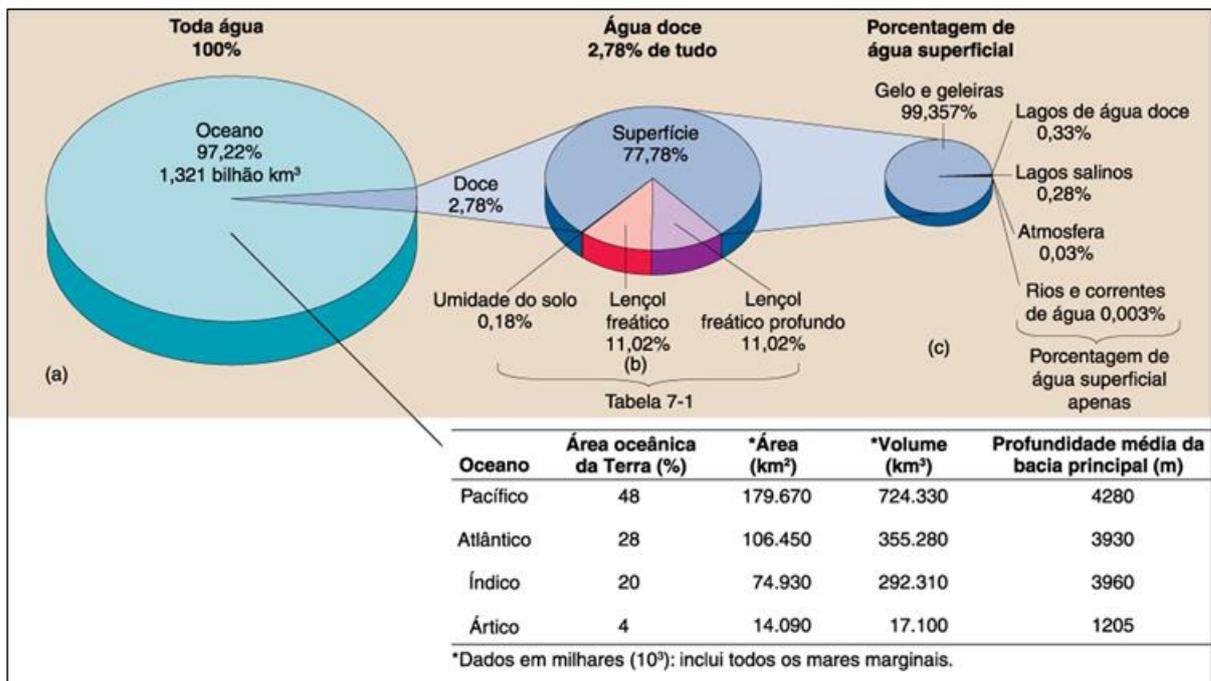
Guerrante (2011) enfatiza que desde a formação do planeta Terra, a água existe na mesma quantidade. Porém fatores como o aumento da população mundial, o crescimento da agricultura irrigada para elevar a produção de alimentos visando o abastecimento dessa crescente população, o aumento do consumo individual das regiões mais ricas e o uso indiscriminado deste recurso pode levar à sua escassez.

Heller (2006) corrobora alertando que a atual disponibilidade de água apta para o consumo tem sido insuficiente para atender a demanda necessária em muitas regiões do planeta, uma vez que sua distribuição vem mudando ao longo dos anos, e a forma como o ambiente vem sendo tratado tem sua parcela de contribuição, assim como as modificações provenientes dos fatores climáticos.

Christopherson (2012), a partir de uma perspectiva geográfica, aborda que a água está distribuída de forma desigual no espaço e no tempo, pois 97,22 % de toda a água existente encontram-se nos oceanos e apenas 2,78% dessa água existente na Terra é doce.

O autor destaca que deste último percentual, 77,14% estão dispostos nos mantos de gelo e geleiras, formando o maior repositório individual de água doce da superfície. Já o lençol freático subsuperficial em conjunto com a água superficial congelada representa 99,36% da água apta ao consumo humano. Desta forma, a água doce restante, encontrada em lagos, rios e outras fontes superficiais somam menos de 1%, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição dos oceanos e da água doce na Terra.



Fonte: Adaptado de CHRISTOPHERSON (2012).

Assim, uma quantidade razoável desses milhões de quilômetros cúbicos de água distribuídos no planeta Terra, compõe os mananciais, definido pelo IBGE (2004) como todos os corpos d'água superficiais ou subterrâneos, que podem ser usados como fonte para o abastecimento.

Estes mananciais são formados a partir da constante movimentação da água nos seus mais variados estados: sólido, líquido e/ou gasoso, que se configuram a partir do ciclo das águas ou ciclo hidrológico, onde a água muda de estado físico e

de posição em relação à Terra, e ao percorrer as etapas desse ciclo, promove a sua renovação por todo o planeta (MACHADO; TORRES, 2012).

Quanto às transformações de caráter físico, Heller (2006) menciona que é possível identificar seis processos básicos no ciclo das águas, os quais são: evaporação, precipitação, infiltração, transpiração, escoamentos superficial e subterrâneo.

Componentes importantes do ciclo hidrológico, os mananciais superficiais constituem-se em uma das fontes de água doce mais utilizada pelas civilizações ao longo do tempo. Sua origem tem se dado a partir de diversas formas como deslizamentos de terras, movimentos tectônicos (de formação geológica), glaciação, atividades vulcânicas e da ação antrópica, através de construção de represas (CECH, 2013).

Outro segmento do ciclo hidrológico que contribui para a recarga dos mananciais consiste no escoamento superficial que, ligado às precipitações atmosféricas, forma na sua fase inicial uma camada laminar que recobre somente as depressões do terreno e aumenta à medida que a precipitação prossegue, deslocando um volume significativo de águas sobre a superfície terrestre, que se direcionam para os pontos mais baixos, passando a correrem através de pequenos canais que compõem a princípio, a micro rede de drenagem e seguem ao encontro de outros corpos d'água maiores (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Neste sentido, Machado e Torres (2012) descrevem a drenagem fluvial como um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, podendo ser classificados em três tipos principais:

- Perenes – consistem em cursos d'água cujo lençol subterrâneo possui uma alimentação contínua e não desce abaixo do leito do curso d'água, mesmo durante as secas mais severas, permitindo água durante todo o tempo.
- Intermitentes – Em geral, esses cursos d'água escoam durante as estações chuvosas e secam nos períodos de estiagem, devido ao fato de que durante as estações de chuvas, o lençol d'água subterrâneo permanece acima do leito fluvial alimentando o curso d'água, o que não sucede na época de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao leito.
- Efêmeros ou temporários – esses cursos d'água por sua vez, existem somente durante ou imediatamente após os momentos de precipitação e só conduzem o escoamento superficial. Neste caso, não há possibilidade de

escoamento subterrâneo, visto que a superfície freática se situa sempre em um nível inferior ao leito fluvial.

Quanto à qualidade das águas desses mananciais superficiais, estas encontram-se bastante comprometidas pela ação antrópica, visto que historicamente as áreas ocupadas, frequentemente encontram-se nas planícies de inundação desses corpos hídricos que por eles meandram, como consequência, essas áreas acabam sofrendo alterações para que o homem possa se estabelecer (BOTELHO, 2011).

Para Souza (2009), esse quadro demonstra a importância dos mananciais subterrâneos, tendo em vista que sua vantagem em termos quantitativos sobre os mananciais superficiais é inquestionável, até porque um percentual significativo das águas superficiais disponíveis para o consumo encontra-se com sua qualidade afetada.

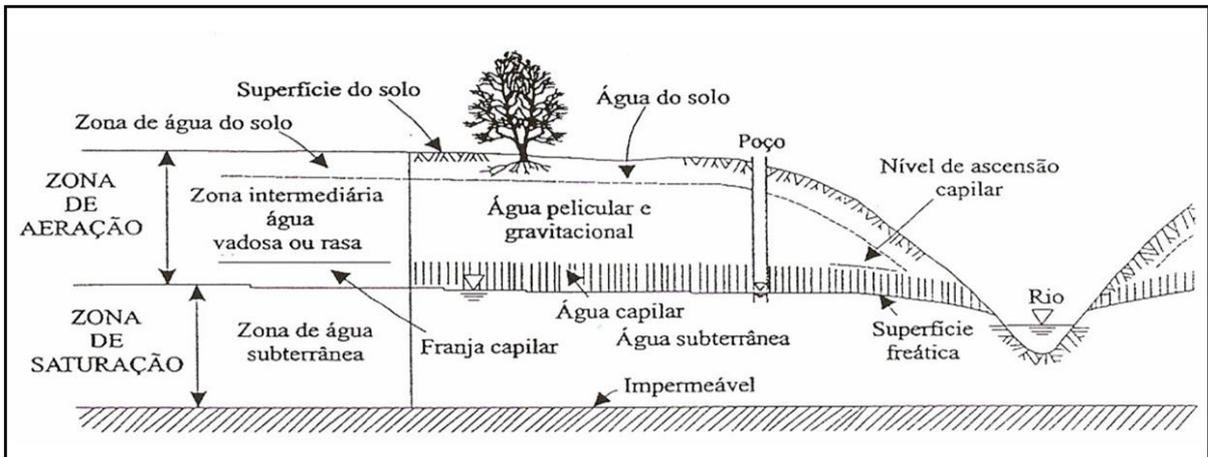
Neste sentido, Manoel Filho (1997), menciona que as águas subterrâneas já eram utilizadas desde a antiguidade, quando mesmo sem compreender sua origem, ocorrência e movimentos, túneis e poços eram construídos pelas civilizações antigas como a Pérsia e o Egito para suprirem suas necessidades.

Para o Ministério do Meio Ambiente (2007) as águas subterrâneas são aquelas que se localizam sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras.

Neste contexto, configurando o que se pode nomear de fase subterrânea do ciclo hidrológico (Figura 2), os mananciais subterrâneos são constituídos a partir das águas que após alcançarem a superfície do solo através das precipitações, infiltram-se no solo por efeito das forças de gravidade e de capilaridade, onde um percentual fica retido na camada superior do solo e outra parte percola em direção às camadas mais inferiores para alimentar os aquíferos (CABRAL, 1997).

O armazenamento dessas águas subterrâneas configura os aquíferos, definidos como corpos rochosos suficientemente porosos e permeáveis, com espaços vazios grandes o suficiente para acumular volumes de águas, interconectando-se de tal maneira que a água infiltrada pode fruir por meio de uma diferença de potencial gravitacional ou potenciométrica (REBOUÇAS; FEITOSA; DEMÉTRIO, 2013).

Figura 2 – Distribuição vertical da água no solo.



Fonte: Adaptado de MANOEL FILHO (1997).

Segundo Rebouças (2013), as águas subterrâneas surgem a partir das interações e relações entre a litosfera, biosfera e atmosfera. Tendo três formas principais de origem:

- Meteórica que tem como mecanismo de recarga a infiltração proveniente das águas atmosféricas, principalmente sob a forma de chuva e neve, representando 4,2 milhões de km³;
- Conatas que representam um volume estimado em 53 milhões de Km³, que se encontram estocado na litosfera. Por estarem retidas desde a época das deposições, possuem altos teores salinos;
- Juvenil originada por processos magmáticos da Terra, representando uma quantidade estimada de 0,3 Km³ por ano, não sendo uma quantidade de água subterrânea representativa se comparado as de origem meteórica.

Esses mananciais subterrâneos são importantes, pois funcionam como reservatórios e condutores, armazenando e transmitindo a água. Devido a essas características, o seu uso tem desempenhado um extraordinário papel econômico e social, pois atualmente existe sensibilização pública, sobretudo, por parte das entidades governamentais, que incentivam as práticas para o uso eficiente e a conservação desses reservatórios naturais, isso resulta do fato de encontrarem nessas fontes soluções rápidas e economicamente viáveis e com melhor qualidade, não sendo vantajoso desperdiçá-las (OLIVEIRA, 2012).

No entanto, a exploração excessiva, ocupação irregular do solo e a ausência de legislação específica efetiva, têm deixado esses recursos hídricos subterrâneos vulneráveis a impactos naturais e àqueles causados pelos seres humanos. Essa

vulnerabilidade está relacionada aos aspectos físicos dos aquíferos, que normalmente proporciona certo grau de proteção às águas subterrâneas contra contaminações de diversas origens, e de acordo com suas características, algumas áreas tornam-se mais vulneráveis a contaminações que outras (GUIGUER; KOHNKE, 2002).

Nesse seguimento, Foster et al. (2006) fazem uma série de discussões sobre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Segundo estes autores, esse conceito está relacionado a um conjunto de características próprias das camadas que separam o aquífero saturado da superfície do solo, assinalando a suscetibilidade do aquífero sofrer os efeitos de um determinado contaminante aplicado na superfície.

Para estes autores, esses efeitos podem variar substancialmente em função do tipo de contaminante, o processo poluidor e sob determinadas circunstâncias, de modo que, do ponto de vista científico, torna-se mais razoável analisar o grau de vulnerabilidade de um aquífero, avaliando cada grupo de atividade contaminante separadamente, a fim de gerar um índice que seja útil para as práticas no planejamento do uso de solo e no controle de emissão de poluentes.

Sob esse enfoque, Tucci e Cabral (2003) afirmam que os aquíferos podem ocorrer em camadas sedimentares, rochas ígneas ou metamórficas, sendo os tipos mais comuns:

- Aluvião – Refere-se aos depósitos formados a partir dos sedimentos erodidos e transportados através das precipitações, situando-se em locais que favorecem a recarga nos talvegues e nos leitos de rios.
- Dunas – são formações de sedimentos como areia fina e silte que são carregados e depositados pelos ventos. Por se tratarem de sedimentos não consolidados, tanto as aluviões quanto as dunas constituem aquíferos fáceis de serem perfurados e pouco profundos, possuindo alta capacidade de infiltração, tornando-os muito vulneráveis.
- Rochas sedimentares arenito – termo utilizado para designar as rochas sedimentares compostas pela compactação e cimentação de areias, denominadas arenitos, cuja condutividade hidráulica geralmente é grande, facilitando a armazenagem e transporte da água, garantindo condições de um bom aquífero, sobretudo se o arenito se apresentar fraturado.

- Rochas carbonáticas – essas rochas apresentam-se nas formas de calcário ou dolomitas, e também proporcionam expressiva condutividade hidráulica, ocasionadas pelas fraturas resultantes de movimentos tectônicos, onde a circulação de água subterrânea atua dissolvendo a calcita e a dolomita, compondo os aquíferos cársticos, que apresentam grandes vazios que armazenam uma quantidade considerável de água.

- Cristalino – estão relacionadas às rochas ígneas e metamórficas que possuem porosidade primária muito baixa. Todavia, nas áreas onde há ocorrência de rochas fraturadas, o acúmulo de água é representativo, constituindo o aquífero fissural.

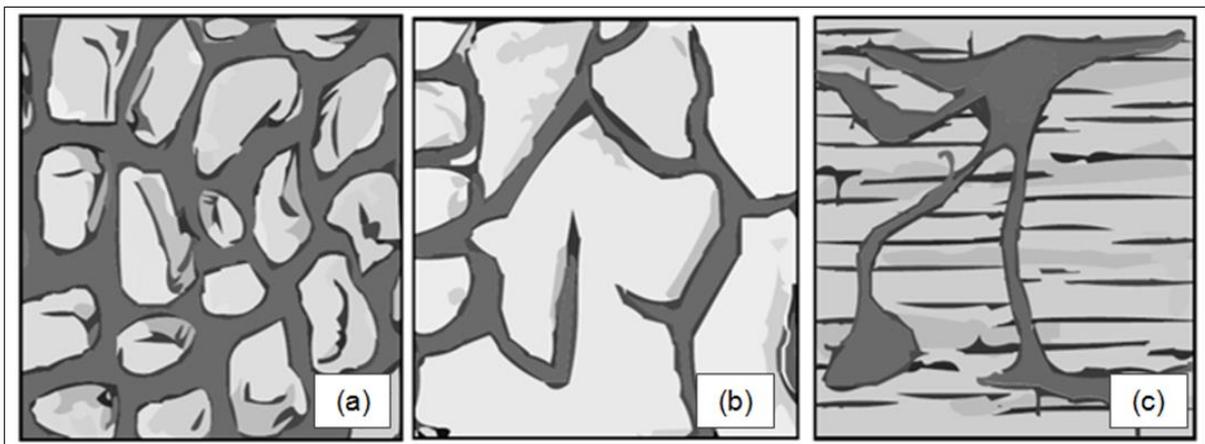
De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2007), os aquíferos podem ainda ser classificados quanto aos tipos de espaços vazios em:

- Poroso – a água é armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha, funcionando como esponjas, conforme ilustrado na Figura 3 a.

- Fissural ou fraturado (cristalino/embasamento cristalino) – neste tipo de aquífero a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis que podem ser ígneas ou metamórficas, conforme a Figura 3 b.

- Cársticos – São formados em rochas carbonáticas que podem ser sedimentares, ígneas ou metamórficas. Neste tipo de aquífero devido às fraturas, ocorre à dissolução do carbonato pela água, podendo atingir aberturas muito grandes, criando rios subterrâneos, representado na Figura 3 c.

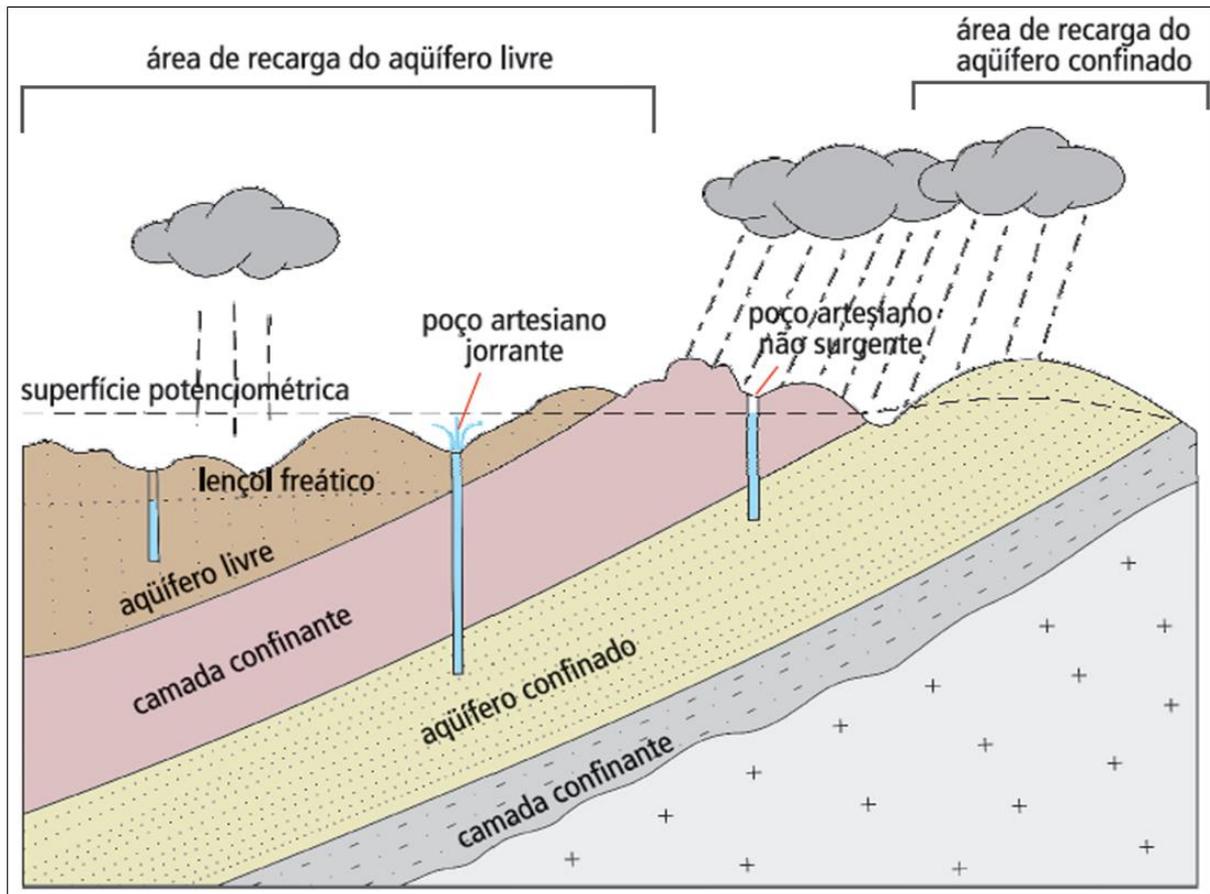
Figura 3 – (a) Aquíferos porosos, (b) Aquíferos fissural ou fraturado, (c) Aquíferos cársticos.



Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2007).

No que se refere à pressão e capacidade de transmissão das águas nas camadas limítrofes, Rebouças, Feitosa e Demétrio (2013) pontuam que os aquíferos podem ser classificados em três tipos principais - livre, confinado e suspenso e dois intermediários - semilivre e semiconfinado (Figura 4):

Figura 4 – Representação esquemática de aquíferos livre e confinado.



Fonte: Adaptado de IRITANI; EZAKI (2012).

- Aquífero livre – também chamado de freático e não confinado, possui essas nomenclaturas para designar a primeira camada porosa e permeável do perfil geológico da área em questão, onde as águas da sua zona saturada estão sob condições de pressão atmosférica normal. Nesses casos, o nível da água do aquífero encontra-se a uma pequena profundidade, geralmente entre 5m a 6m, (Figura 4).

- Aquífero confinado – conhecido também como aquífero sob pressão, refere-se à camada aquífera que está localizada entre duas outras relativamente impermeáveis. Em virtude disso, a pressão dominante no aquífero confinado é pela

água nele contida é superior à atmosfera. Ao se atravessar a camada confinante através de uma perfuração, por exemplo, o nível da água sobe no furo até o ponto de se estabelecer o equilíbrio com a pressão atmosférica da área em questão. Quando esse nível de equilíbrio fica acima da superfície topográfica, a água jorra naturalmente, essa situação configura o poço jorrante ou artesiano.

- Aquífero suspenso – consiste em um caso especial de aquífero instituído sobre uma camada impermeável, de extensão limitada, onde ocorre uma acumulação de água acima do nível regional do aquífero freático.

- Aquífero semilivre e semiconfinado – nesses tipos de aquíferos as camadas confinantes ou substratos são pouco densos, descontínuos e relativamente permeáveis, ocasionando um nível de afloramento ou de confinamento pouco pronunciado.

Segundo Fitts (2015), dependendo de suas características físicas, os sistemas aquíferos podem ser utilizados para diversas finalidades, dentre as quais se pode destacar o abastecimento para o consumo humano, industrial e irrigação. Para alcançar tal fim, vários recursos foram utilizados ao longo dos tempos (desde túneis escavados à mão até a utilização de modernos equipamentos empregados atualmente para a perfuração de poços tubulares profundos).

No Brasil, por exemplo, essas fontes de águas subterrâneas são utilizadas em diferentes cidades brasileiras e sob diversas circunstâncias. Isso se deve às condições climáticas e geológicas que permitiram a formação de sistemas aquíferos (situados nas bacias sedimentares brasileiras), apresentando características marcantes como o aspecto transfronteiriço de alguns sistemas aquíferos, os quais excedem os limites das regiões hidrográficas onde estão estabelecidos (ANA, 2007).

Rebouças (2015) corrobora enfatizando que essas extensões variadas, ocorrem em função do quadro hidrogeológico dominante no Brasil, caracterizado por receber uma grande quantidade de chuvas (entre 1 mil a 3 mil mm/ano), com exceção às condições de clima semiárido da região nordeste, onde a pluviometria é bastante irregular. Esse cenário climático aliado a cerca de 4 milhões de Km² de rochas cristalinas com um denso manto de alteração e praticamente a mesma quantidade de rochas sedimentares, justificam a configuração desses aquíferos em todo o país, que possuem igualmente, imensas áreas de recarga, conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Características gerais dos principais sistemas aquíferos do País.

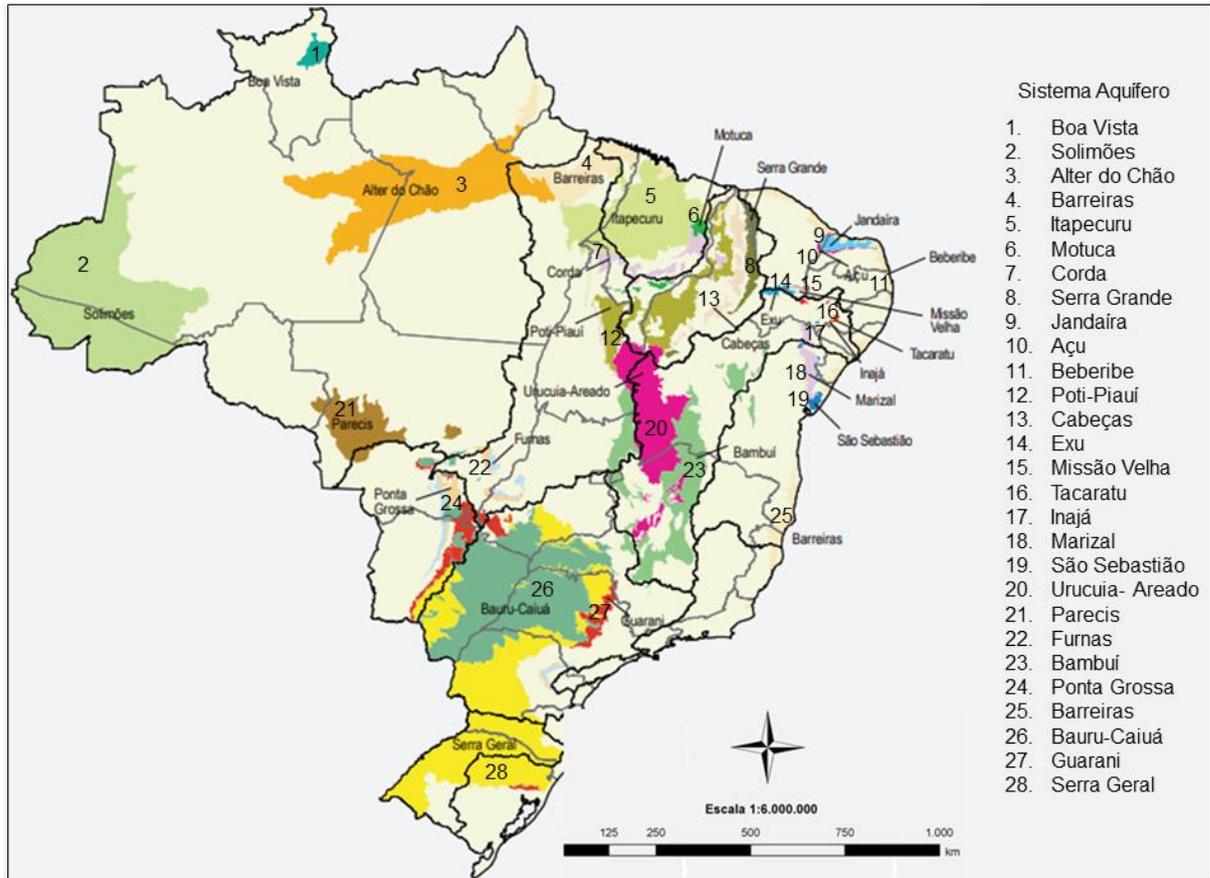
Sistema Aquífero	Tipo ¹	Região Hidrográfica dominante	Área de recarga (Km²)
Solimões	P, L	Amazônica	457.664
Alter do Chão	P, L		312.574
Boa Vista	P, L		14.888
Parecis	P, L		88.157
Jandaíra	CF	Atlântico Nordeste Oriental	11.589
Açu	P, C		3.674
Itapecuru	P, L	Tocantins-Araguaia, Paranaíba	204.979
Corda	P, L, C		35.266
Motuca	P, L		10.717
Poti-Piauí	P, L, C		117.012
Cabeças	P, L, C		34.318
Serra Grande	P, L, C		30.450
Barreiras	P, L, C	Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste, Oriental Atlântico, Nordeste, Ocidental, Tocantins-Araguaia	176.532
Beberibe	P, L, C	Atlântico Nordeste Oriental	318
Marizal	P, L, C	Atlântico Leste, São Francisco	18.797
São Sebastião	P, L, C	Atlântico Leste, São Francisco	6.783
Inajá	P, L, C		956
Tacaratu	P, L	São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental	3.890
Exu	P, L		6.397
Missão Velha	P, L, C	Atlântico Nordeste Oriental	1.324
Urucuia- Areado	P, L	São Francisco, Parnaíba, Tocantins-Araguaia	144.086
Bambuí	CF		181.868
Bauru-Caiuá	P, L	Paraná	353.420
Serra Geral	F	Paraná, Atlântico Sul, Uruguai, Paraguai	411.855
Guarani	P, L, C		89.936
Ponta Grossa	P, L, C	Tocantins-Araguaia, Paraguai	24.807
Furnas	P, L, C		24.894
TOTAL			2.761.086

¹ P: Poroso; L: Livre; C: Confinado; F: Fraturado; CF: Cárstico-fraturado

Fonte: Adaptado de ANA (2007).

Para Rebouças (2015), essa conexão entre os fatores climáticos e hidrogeológicos, acabam por condicionar as formas de recarga, armazenamento, circulação e descarga das águas subterrâneas, interferindo na distribuição dos aquíferos ao longo do território brasileiro (Figura 5).

Figura 5 – Distribuição dos principais aquíferos do Brasil.



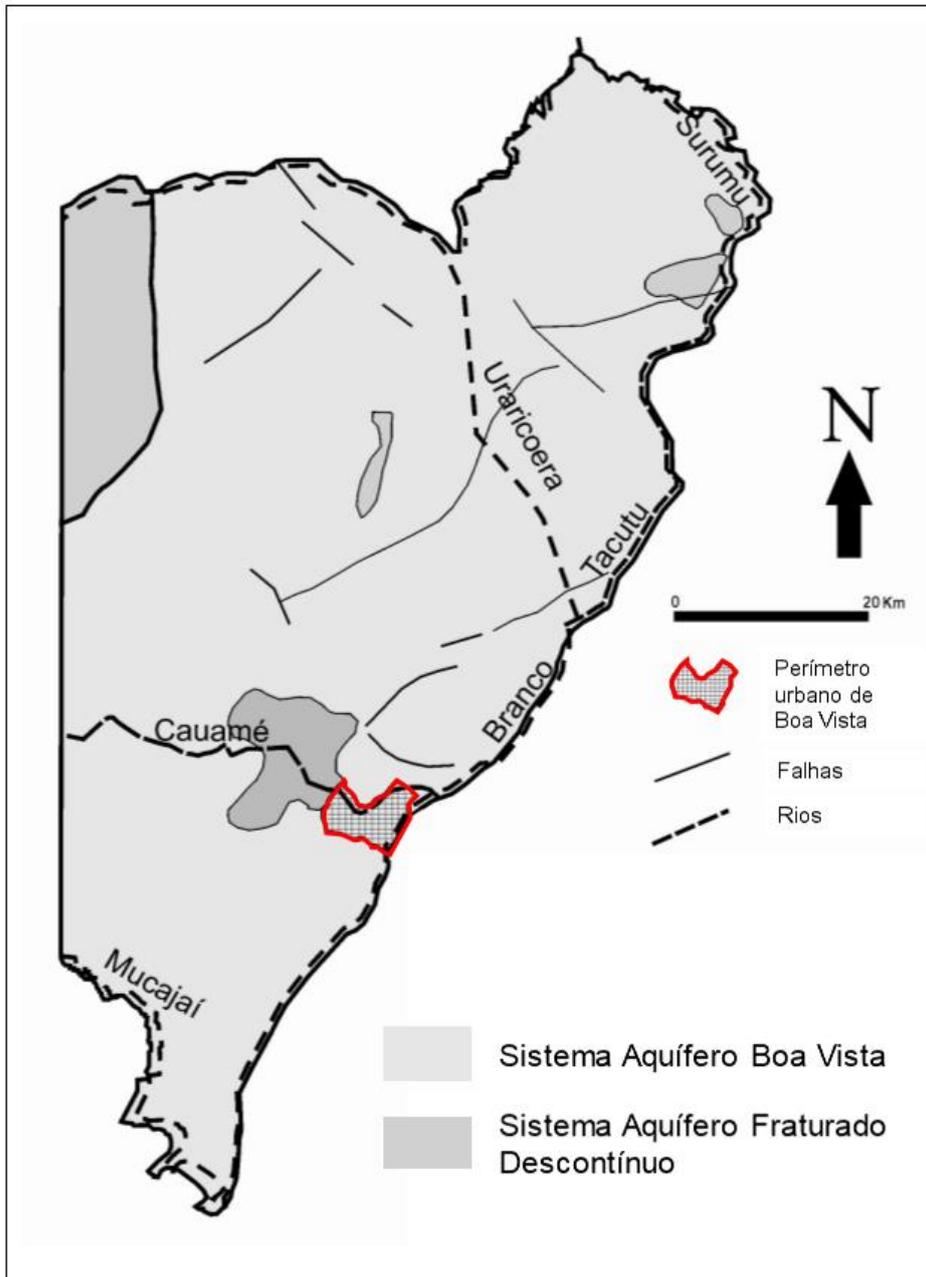
Fonte: Adaptado de ANA (2007).

Na região amazônica, estão situadas grandes áreas sedimentares de idade paleozoica, que inicialmente receberam a denominação de bacia do Amazonas. Nesta área encontra-se o aquífero mais importante do estado do Amazonas, denominado Alter do Chão (que se estende até os Estados do Pará e Amapá). Este está inserido na formação Alter do Chão e se apresenta com uma espessura média de aproximadamente 160 m na cidade de Manaus, cuja profundidade média do nível d'água é de cerca de 30 m (CPRM, 2012).

Neste contexto, o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) na área urbana de Boa Vista (Figura 6) é do tipo intergranular, composto por depósitos coluvionares e aluvionares do Quaternário e pela Formação Boa Vista (Neógeno), sendo esta

última, a principal rocha reservatório, ocorrendo em praticamente em toda a extensão do sistema aquífero (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012).

Figura 6 – Sistema Aquífero Boa Vista - Município de Boa Vista / RR.



Fonte: Adaptado de WANKLER; EVANGELISTA; SANDER (2012).

Devido ao fato de estar situado em uma área constituída por sedimentos inconsolidados, apresenta muitas vantagens econômicas, dentre as quais se pode citar a facilidade de perfuração ou escavação, tornando a investigação rápida e menos onerosa; normalmente está localizado em locais favoráveis a recarga, e por serem poucos consolidados, possuem alta capacidade de infiltração, maior

porosidade efetiva e maior permeabilidade quando comparado às formações compactas (MANOEL FILHO, 1997).

As informações concernentes ao SABV ainda são escassas, sendo necessária uma série de dados referentes à sua recarga, variações (sazonais, regionais e locais) de suas características físico-químicas, sua relação com os mananciais superficiais e sua vulnerabilidade à contaminação (EVANGELISTA; WANKLER, 2008).

2.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM ÁREAS DE MANANCIAIS

Analisando a relação do homem com os mananciais, Baptista e Cardoso (2013) enfatizam que ao serem viabilizados os primeiros assentamentos urbanos, esses recursos passaram a sofrer fortes perturbações através dos impactos hidrológicos e ambientais oriundos do crescimento urbano, perdendo suas características naturais enquanto elemento da paisagem, pois ao buscar novos espaços para ocupação, o homem tem alterado profundamente os corpos d'água desses ambientes.

Para Chambel (2013), os estudos voltados às águas subterrâneas em ambientes urbanos ainda não se tornaram uma prioridade a nível mundial devido à alta complexidade organizacional desses espaços, de modo que as prioridades estão sempre concentradas no desenvolvimento urbano e não nas consequências ambientais desse desenvolvimento.

Neste aspecto, Zhou (2015) aponta o íon de nitrato (NO_3^-) como um dos principais poluentes das águas subterrâneas em áreas urbanas, e dependendo de sua concentração, pode passar à condição de contaminante, se tornando um risco à saúde pública. Essa contaminação ocorre principalmente por meio de fontes pontuais, as quais se pode citar os sistemas sépticos individuais, utilizado pela maioria da população para eliminar as águas residuais domésticas.

A contaminação desses mananciais por nitrato não é uma realidade apenas de países subdesenvolvidos, várias regiões do mundo também enfrentam esse tipo de situação. Neste aspecto, Lages e Santana (2017) reuniram estudos realizados em diversos continentes (Tabela 1), evidenciando que esse tipo de contaminação é um problema global.

Tabela 1 - Níveis de nitrato em águas subterrâneas encontrados em diversas partes do mundo.

País	Região	Intervalo (mgN/L)	Período do Estudo
Canadá	Sudoeste	0,84 - 120	2010 - 2011
Índia	Kalpakan	0,1 - 263,5	2011 - 2012
Alemanha	Região pré-alpes	1,8 - 12,8	2012 - 2013
Coréia do Sul	Seoul	8,7 - 797,4	2007
Madagascar	Analamanga	371 - 409	2005
Taiwan	Noroeste	ND - 0,5	2000 - 2012
França	Normandia	0,01 – 82,0	1948 – 2009
Irã	Sudeste	0,3 - 18,2	2011
China	Região árida - NW	ND – 78,0	2010 - 2011
Índia	Punjab	ND – 0,90	2007 - 2009
Argentina	Buenos Aires	6,7 – 107,1	2008 - 2010
México	Nuevo Leon	0,9 – 46,7	2009 – 2010
Índia	Siruvachur	62,0 – 135,0	2011 - 2012
Nova Zelândia	Norte	0,45 – 134,0	2008 – 2009
Brasil	Amazonas	0,8 – 30,7	2002
Espanha	Barcelona	0,48 - 3,4	1992
Brasil	São Paulo	1,33 – 34,6	2000
Austrália	País	0,24 - 126,0	1992
EUA	Dakota do Sul	0,3 - 112	1987
EUA	Colorado	ND - 5492	1989

ND = não detectado

Fonte: Adaptado de LAGES; SANTANA (2017).

No Brasil, os casos de comprometimento da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos por íons de nitrato são recorrentes em todo território. Um estudo realizado pela ANA (2007) visando obter um panorama sobre a qualidade das águas subterrâneas no território brasileiro (Quadro 2), revelou que em grande parte dos aquíferos, as concentrações de nitrato encontradas foram superiores ao limite estabelecido pelas legislações vigentes (10 mg/L) para o consumo humano.

Quadro 2 - Panorama dos sistemas aquíferos brasileiros com altas concentrações de nitrato.

Sistema aquífero	Panorama	Referências
Alter do Chão	Manaus - AM <ul style="list-style-type: none"> • Níveis de água rasos; • Carência de saneamento básico nas áreas urbanas; • Proliferação de habitações com grande quantidade de fossas e poços construídos sem requisitos mínimos de proteção sanitária. 	Costa et al. 2004
Solimões	Rio Branco - AC <ul style="list-style-type: none"> • Níveis da água raso; • Em termos microbiológicos há limitações nas áreas urbanas; • Elevado potencial de contaminação associado a poços mal construídos; • Carência de saneamento básico. 	ANA 2007
Exu	Partes dos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí <ul style="list-style-type: none"> • A principal fonte de contaminação são os “barreiros”, escavações utilizadas para armazenar águas de chuva; • Identificação de concentrações de nitrato acima dos valores de potabilidade e a presença de coliformes fecais e Escherichia coli. 	Mendonça et al., 2000
Barreiras	São Luís - MA <ul style="list-style-type: none"> • Lançamento de resíduos industriais no solo e carência de saneamento; • Valores de nitrato acima do permitido (potabilidade) relacionados à contaminação por efluentes líquidos das águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas; • Presença de fossas negras e à inexistência de saneamento básico; 	Sousa, 2000
	Belém - PA <ul style="list-style-type: none"> • Nível estático muito raso; 	Matta, 2002 apud Almeida et al.,

	<ul style="list-style-type: none"> • Elevadas concentrações de nitrato, provenientes de esgotos domésticos. 	2004
	<p>Fortaleza – CE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemas de nitrato e bacteriológicos atribuídos à deficiência no saneamento básico; • 30% da recarga do aquífero provém da infiltração de água de fossas. 	Frischkorn et al., 2002
	<p>Natal – RN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em grande parte do município são encontradas concentrações de nitrato chegando a mais de 60 mg/l; • As fontes de nitrato nas águas subterrâneas são provenientes de dejetos humanos; • A contaminação é atribuída ao sistema de saneamento com disposição local de efluentes domésticos. 	Melo et al., 1998 Melo; Queiroz, 2000
Bauru-Caiuá	<p>São Paulo – SP</p> <ul style="list-style-type: none"> • As principais fontes de contaminação são de origem antrópica difusa; • Aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados; • Utilização de fossas negras; • Vazamentos das redes coletoras de esgoto; • Influência de rios contaminados na zona de captação de poços. 	CETESB, 2004a

Fonte: Adaptado de ANA (2007).

Assim, a ausência de um sistema de esgotamento sanitário completo (que possua todas as suas fases: coleta, transporte, tratamento e disposição final) e eficiente (operação do sistema) em áreas urbanas drenadas por mananciais superficiais, acabam se tornando um risco aos sistemas aquíferos, através do uso de fossas, escoamento superficial e vazamentos de redes de esgoto que podem se infiltrar no solo, afetando tanto os corpos hídricos superficiais, quanto os subterrâneos (LAGES; SANTANA,2017)

Nesse aspecto Zanetti (2014), discorre que a qualidade das águas subterrâneas assim como das superficiais não resulta apenas de processos naturais, mas também das formas de ocupação e uso do espaço, que no Brasil ocorre em grande parte sem planejamento, de modo que não é incomum encontrar áreas urbanas ou centros industriais localizados nas proximidades de cursos d'água, utilizados como fonte de abastecimento de água e deposição de rejeitos.

No que diz respeito ao planejamento urbano no Brasil, Tucci (2015) afirma que o mesmo é realizado dentro de um âmbito restrito do conhecimento (desconsiderando o aspecto interdisciplinar que o planejamento requer, ignorando questões fundamentais), gerando grandes transtornos e custos para a população e o meio ambiente, que se fazem sentir sobre todo o aparelhamento urbano, principalmente sobre os recursos hídricos (abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos domésticos e pluviais).

É importante ressaltar que a falta de planejamento urbano não é o único fator antrópico que reflete na qualidade desses recursos naturais, visto que no território brasileiro, os níveis de conhecimento hidrogeológicos ainda são relativamente incipientes, estando mais concentrados nas áreas com maiores densidades demográficas, impostas pela população e atividades econômicas (REBOUÇAS, 2015).

Deste modo, o acesso a informações sobre as condições de sensibilidade ambiental é fundamental para a construção e manutenção de um espaço urbano salubre, e está intimamente relacionado ao processo de criação e ocupação das cidades. Sob esse enfoque, compreender e assimilar suas peculiaridades no que se refere aos aspectos físicos é de grande valia para um planejamento urbano adequado, (TUCCI, 2015).

Visando esse entendimento, Veras (2009) caracteriza a gênese de Boa Vista em três momentos. O primeiro deles ocorreu de forma espontânea, a partir da construção do Forte São Joaquim em 1775, e durou até o ano de 1944, com a implantação do Projeto Urbanístico de Darcy Aleixo Derenusson, assinalando o segundo momento, onde ocorreu um crescimento induzido da cidade e, um terceiro momento marcado pelas décadas de 80 e 90 do século XX e início do século XXI, onde o crescimento desordenado foi marcado por ocupações irregulares, próximos aos principais lagos e igarapés que permeiam a cidade, e a margem direita do rio Branco (Figura 7).

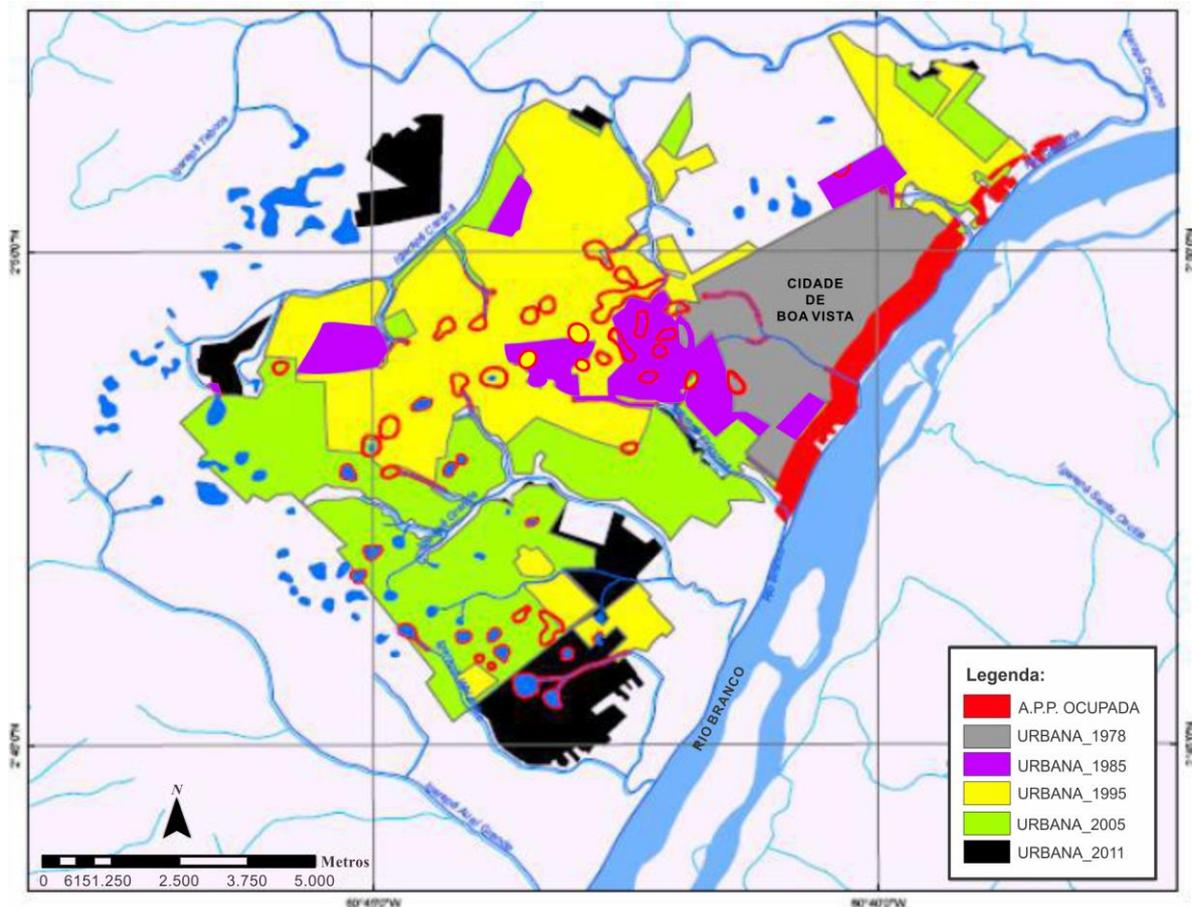
Figura 7 – Gênese de Boa Vista (a) Forte São Joaquim - 1775, (b) Maquete do Projeto Urbanístico - 1944, (c) Conjunto Cidadão - 2002.



Fonte: Adaptado de VERAS (2007); FALCÃO, BURG, COSTA (2015).

Falcão, Burg e Costa (2015) corroboram afirmando que a capital Boa Vista se encontra em uma região vulnerável ambientalmente, destacando a presença de uma superfície muito plana, com a presença de áreas abaciadas, rica em cursos d'água como lagos e igarapés. Porém, ao longo de 33 anos de crescimento urbano, muitos desses elementos da paisagem foram afetados ou desapareceram, sobretudo os que se encontram nas zonas oeste e sudoeste (Figura 8).

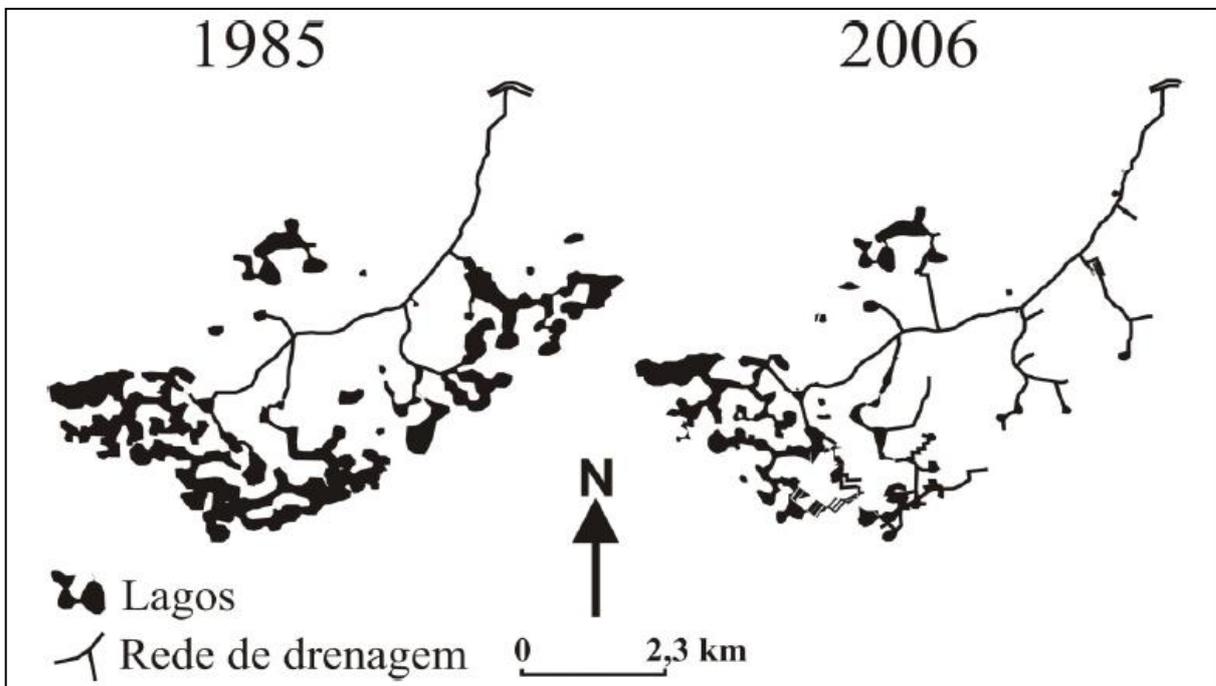
Figura 8 – Mapa de expansão urbana e ocupação irregular de APP (1978 a 2011).



Fonte: Adaptado de FALCÃO; BURG; COSTA (2015).

Nesse sentido, Sander et al. (2012) chamam a atenção para a vulnerabilidade ambiental decorrente das intervenções antrópicas em canais fluviais nas áreas urbanizadas. Para tanto, evidenciam as alterações ocorridas na bacia do Caranã, igarapé situado na região oeste do município de Boa Vista, onde a ocupação do solo nas áreas adjacentes ao curso d'água (Figura 9) ocasionaram mudanças no seu comportamento hidrológico, contribuindo para o aumento da ocorrência e dos níveis de cheias, apresentando vazões muito baixas nos períodos de estiagem, transformando partes do canal perenes em intermitentes, representando risco à manutenção do sistema e à saúde pública.

Figura 9 – Variação espaço temporal da densidade de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista /RR nos anos de 1985 e 2006.



Fonte: Adaptado de SANDER et al. (2012).

Deste modo, Ayach et al. (2012) destaca que as questões concernentes aos aspectos ambientais estão direta ou indiretamente relacionadas à saúde das populações. Esta por sua vez, está vinculada à disponibilidade do fornecimento de serviços básicos como saneamento ambiental, de modo que sua ausência, compromete significativamente a qualidade de vida da população no que diz respeito às condições de moradia, assim como a convivência salubre no espaço urbano.

Assim, entende-se por saneamento ambiental ações socioeconômicas que visem alcançar a salubridade ambiental, através do abastecimento de água potável,

coleta e tratamento dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, manejo das águas pluviais e demais serviços que promovam boas condições de vida no espaço urbano e rural (FUNASA, 2015).

Nesta perspectiva, o sistema de esgotamento sanitário é conceituado como o conjunto de obras de infraestruturas e instalações operacionais que visam coleta, transporte, tratamento e disposição final das águas residuais, de forma adequada do ponto de vista sanitário e ambiental. Esses sistemas são projetados com a finalidade de afastar a possibilidade de contato dos excrementos humanos com as águas utilizadas para o abastecimento, a população e vetores de doenças (BRASIL, 2007).

Nuvolari (2011) aponta que desde a formação dos primeiros assentamentos urbanos, as águas servidas, atualmente denominadas de esgoto sanitário, já despertava preocupação nas antigas civilizações. Porém, a partir do final do século XIX, após amargas experiências com epidemias, é que países como a Inglaterra passaram a relacionar certas doenças à qualidade das águas, investindo em pesquisas e adotando medidas saneadoras, que inicialmente consistiram na coleta e lançamento de seus efluentes em galerias de águas pluviais e evoluíram para sistemas mais modernos como grandes estações de tratamento de esgoto.

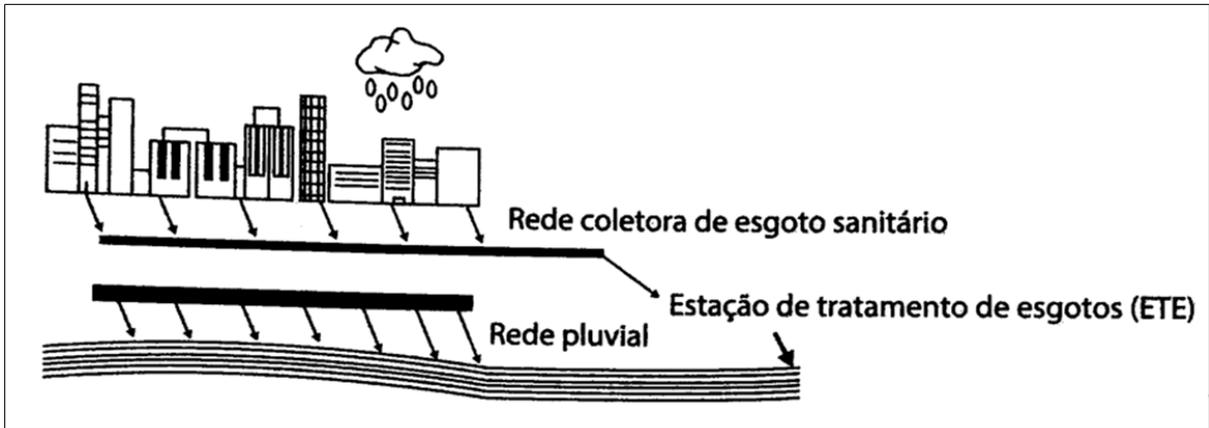
De acordo com a NBR 9648, o termo esgoto sanitário é utilizado para definir um “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária” (ABNT, 1986, p. 1). Esta norma também define individualmente esses constituintes como:

- Esgoto doméstico assinalado como o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- Esgoto industrial apontado como o “despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;
- Água de infiltração designado como “toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;
- Contribuição pluvial parasitária caracterizada como a “parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário”.

Segundo Mendonça e Mendonça (2016), os sistemas de esgotamento podem ser classificados quanto ao tipo de sistema de coleta em:

- Sistema separador absoluto, cujas águas pluviais e os esgotos domésticos são transportados em tubulações independentes (Figura 10);

Figura 10 – Sistema de esgotamento separador absoluto.



Fonte: Adaptado de MENDONÇA; MENDONÇA (2016).

- Sistema único ou combinado, cujas águas pluviais e os esgotos domésticos são transportados pelo mesmo sistema (Figura 11);

Figura 11 – Sistema de esgotamento combinado.



Fonte: Adaptado de MENDONÇA; MENDONÇA (2016).

- Sistema parcialmente separador, onde é acolhida na rede apenas a parcela das águas pluviais oriundas de telhados e pisos dos domicílios.

O sistema de esgotamento separador absoluto é o sistema adotado no Brasil, que por se tratar de um país de clima tropical, concentrando regiões cujas precipitações atmosféricas são mais intensas, torna inviável o uso de sistemas mistos devido ao grande fluxo das águas pluviais. Neste seguimento, o custo de implantação do tipo separador é menor, considerando que as águas pluviais não

oferecem o mesmo risco das águas residuais (que representam um problema de saúde pública), reduzindo o diâmetro dos coletores (FUNASA, 2015).

Araujo (2011) enfatiza que a implantação do sistema de esgotamento sanitário em uma cidade visa três aspectos:

1. Higiénico ou sanitário, cujo objetivo é a prevenção, monitoramento e erradicação das doenças de veiculação hídrica, através da coleta e tratamento do efluente a ser lançado nos corpos receptores (rios, igarapés, oceanos) de forma segura e dentro dos padrões determinados pela legislação vigente;
2. Social, visando a promoção da qualidade de vida da população ao contribuir para um ambiente isento de odores desagradáveis e evitando o comprometimento dos corpos hídricos, incentivando a prática de atividades recreativas;
3. Econômico que envolve o aumento da produtividade, em linhas gerais, em função dos aspectos ecológicos através da conservação dos cursos d'água e suas áreas ripárias, maximizando o uso econômico da água como fonte para o abastecimento, irrigação, dessedentação de animais, navegação e geração de energia elétrica.

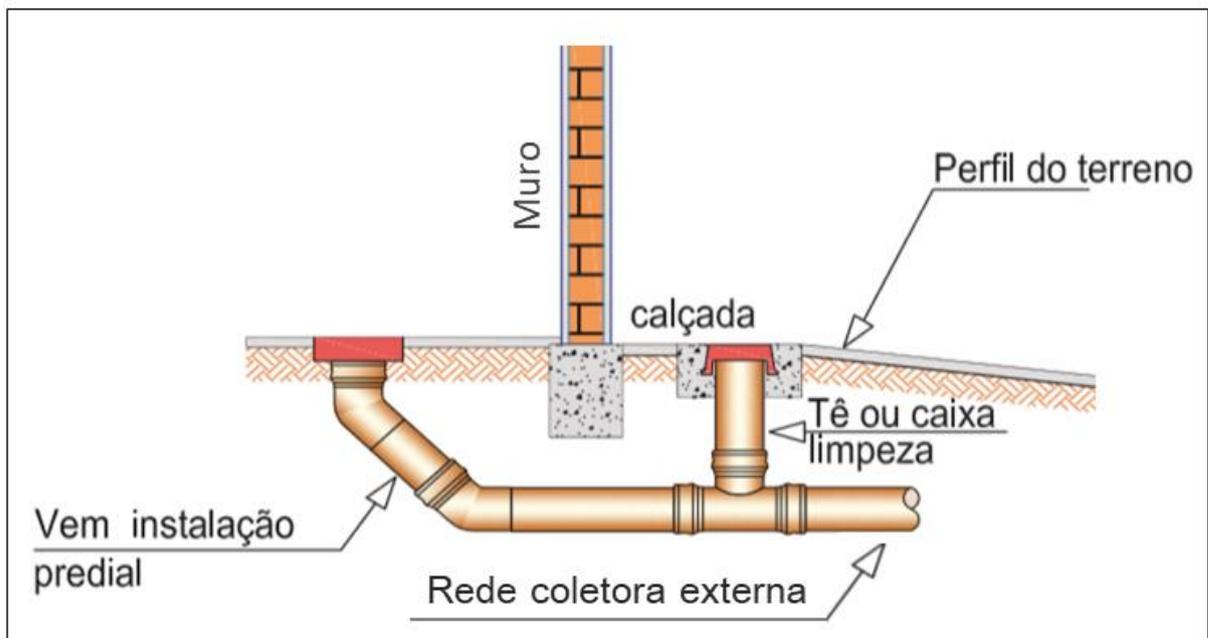
Do ponto de vista técnico, a NBR 9648 (ABNT, 1986) estabelece que para conceber um sistema de esgotamento sanitário, existe a necessidade de um planejamento prévio onde sejam analisados todos os aspectos referentes às condições geográficas, hidrográficas, demográficas, econômicas e do uso do solo, tanto do sistema de esgoto existente, quanto de outros sistemas urbanos. Nessa perspectiva, não deve ser levado em consideração a divisão político administrativa ao se demarcar a área de planejamento, e sim as condições naturais do terreno.

Para promover o afastamento das demandas de esgotos gerados nas residências, edifícios e economias, é projetado um conjunto de tubulações e dispositivos (Figura 12), definidos pela norma NBR 9649 (ABNT, 1986) conforme a seguir:

- Ligação predial - responsável pelo transporte do esgoto produzido nas residências até a rede de coleta pública;
- Coletor de esgoto – tubulação que recebe o esgoto das edificações e encaminha-o aos coletores tronco;

- Coletor tronco – parte da rede coletora que recebe somente contribuições de outros coletores;
- Emissário – tubulação que recebe esgoto somente na extremidade de montante;
- Poço de visita (PV) - espaço visitável através de abertura em sua parte superior, cuja finalidade é permitir trabalhos de manutenção, normalmente é instalado no início da rede e nas mudanças de direção, declividade, diâmetro ou material.

Figura 12 – Tubulações e dispositivos que fazem parte do sistema de esgoto.



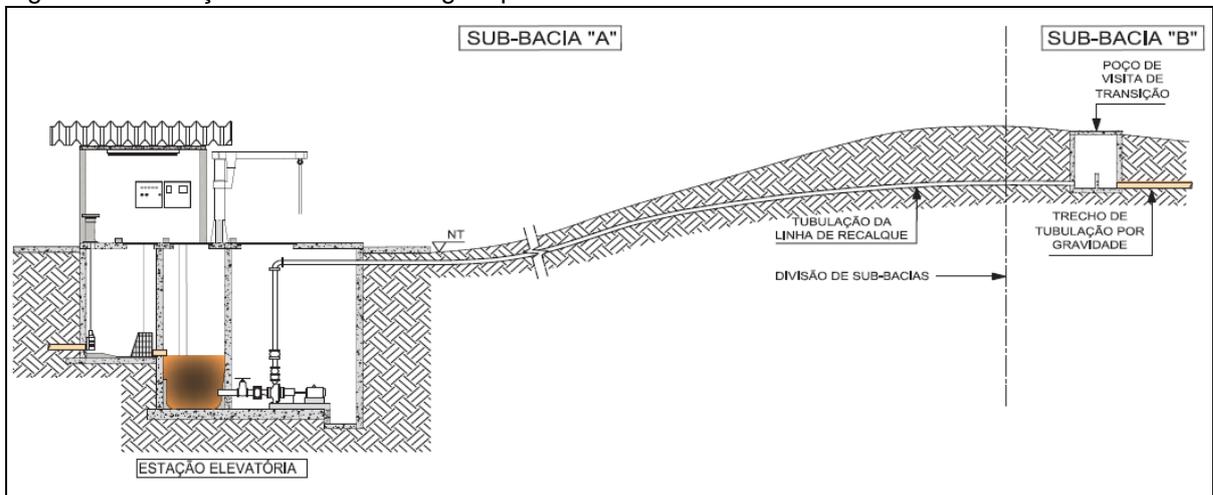
Fonte: Adaptado de FUNASA (2015).

Para Araujo (2011), os interceptores, as estações elevatórias e as estações de tratamento são partes importantes do sistema e o bom desempenho desses elementos é imprescindível para a qualidade dos corpos receptores onde esses efluentes serão lançados em seu estágio final. Isso se deve ao fato dos interceptores estarem geralmente situados às margens de cursos d'água, reunindo e conduzindo os esgotos a um ponto de concentração, evitando descargas diretas nos corpos d'água.

As estações elevatórias de esgoto por sua vez, são projetadas quando as profundidades dos condutos ficam excessivamente elevadas, seja pela baixa declividade do terreno, ou mesmo pela exigência de se transpor uma elevação (Figura 13), sendo necessário bombear os esgotos para um nível mais elevado, a

partir da qual os esgotos podem voltar a fluir por gravidade (MENDONÇA; MENDONÇA, 2016).

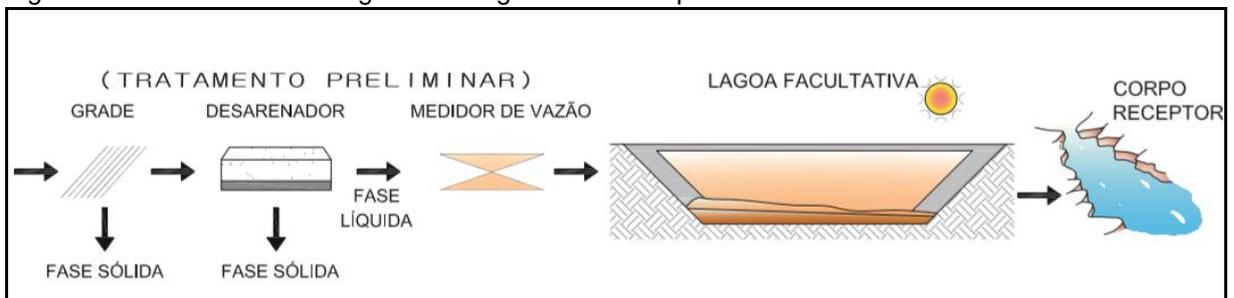
Figura 13 – Estação elevatória de esgoto para reversão de bacias.



Fonte: Adaptado de CRESPO (2001).

A Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.) é definida pela norma NBR 12209 (ABNT 2011) como o conjunto de equipamentos e sistemas de utilidades, projetadas com o objetivo de reduzir as cargas poluidoras presentes no esgoto sanitário, assim como o condicionamento da matéria residual resultante do tratamento. Nessas unidades, são executadas etapas que visam promover a separação dos poluentes em suspensão e dissolvidos e a água a ser encaminhada ao corpo receptor através de tubulações denominadas emissários (Figura 14).

Figura 14 – Tratamento de esgoto com lagoa facultativa primária.

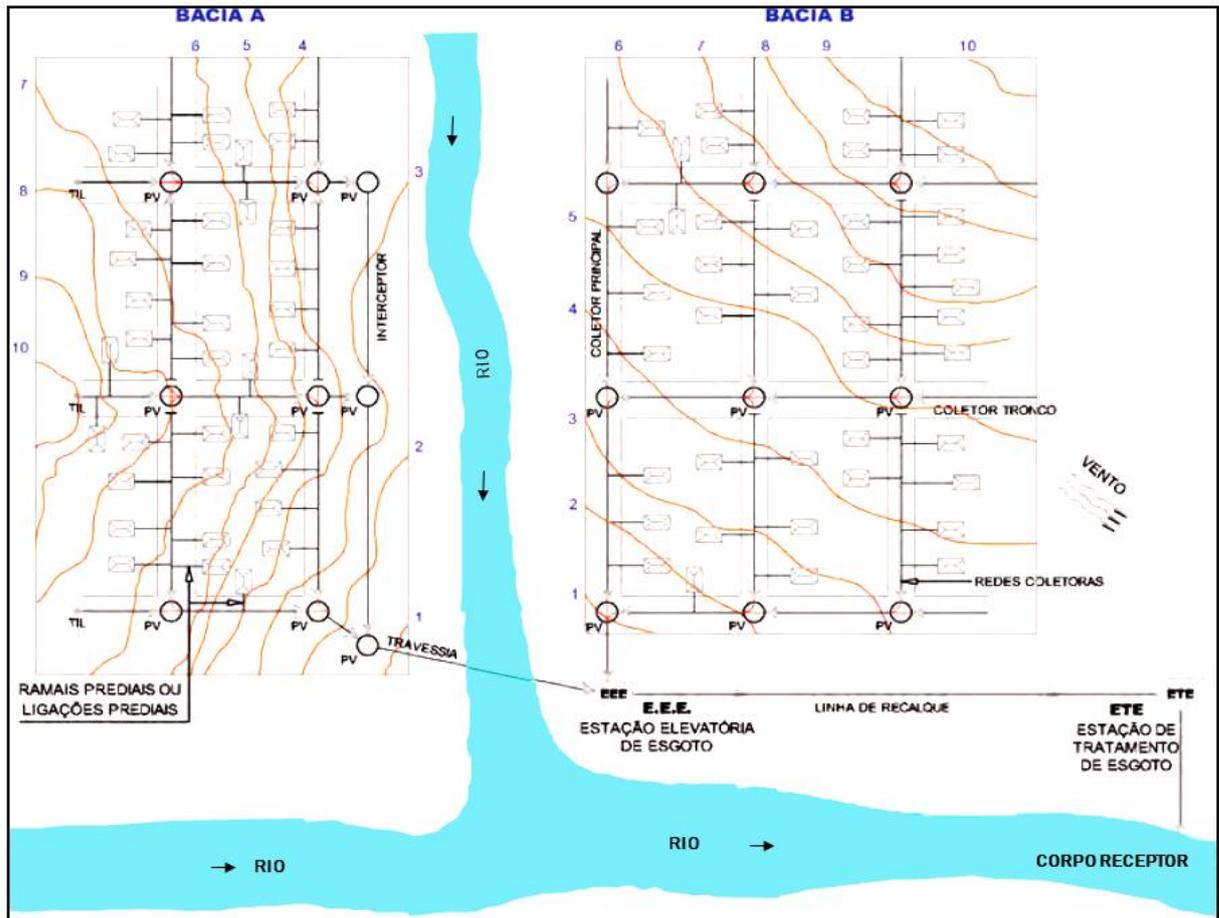


Fonte: Adaptado de FUNASA (2015).

Toda essa infraestrutura física (Figura15) tem como objetivo evitar que o esgoto *in natura* entre em contato direto com o meio ambiente sem um tratamento prévio. Isso se deve ao fato do esgoto sanitário apresentar nutrientes como o

nitrogênio e fósforo, que ao serem lançados em excesso no solo ou cursos de água podem ocasionar sua contaminação. Uma vez lançado nos corpos hídricos, por exemplo, pode provocar o fenômeno de eutrofização, encorajando o crescimento excessivo de algas e cianobactérias, comprometendo a vida aquática, além de contaminar essas fontes de água potável (MANUAL DO SANEAMENTO BÁSICO - TRATA BRASIL, 2012).

Figura 15 – Sistema de coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto sanitário.



Fonte: Adaptado de FUNASA (2015).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Analisar a vulnerabilidade ambiental do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) e sua relação com a expansão do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista – RR.

3.2 ESPECÍFICOS

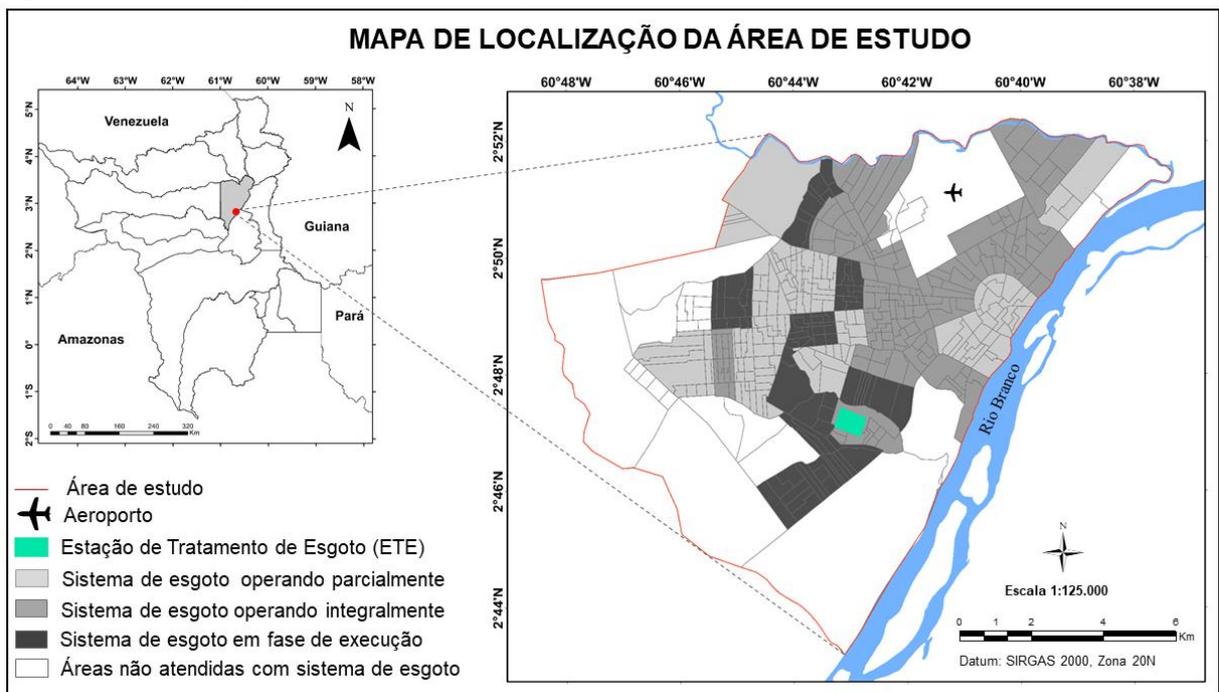
- ✓ Identificar as características fisiográficas do Sistema Aquífero Boa Vista (SABV);
- ✓ Avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do SABV na área de estudo através do método GOD;
- ✓ Analisar o sistema de esgotamento sanitário do município de Boa Vista;
- ✓ Elaborar mapa de vulnerabilidade do SABV e fazer um comparativo em relação à estrutura de esgotamento sanitário na área de estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o perímetro urbano do município de Boa Vista, região centro leste do Estado de Roraima, na Amazônia Setentrional, distribuída entre as coordenadas geográficas 2° 53' 11" a 2° 44' 45" de latitude Norte e 60° 32' 32" a 60° 46' 59" de longitude Oeste (Figura 16). Atualmente o município ocupa uma área de 5.687,037 km², correspondendo a 2,54% do território de Roraima, contabilizando uma população de aproximadamente 332.020 habitantes (IBGE, 2017).

Figura 16 – Localização da área de estudo, perímetro urbano de Boa Vista / RR.



Elaboração: Autora (2018).

De acordo com a classificação de Köppen, Boa Vista possui clima tropical úmido do tipo Aw, qualificado como tropical chuvoso com predomínio de savanas (ou cerrado), com estação chuvosa no verão e inverno seco (BARBOSA, 1997).

Conforme dados da série histórica de Boa Vista (1910 – 2014), foi observada uma pluviosidade média de 1.637,7 mm, com amplitude total de 1.790,2 mm, cujo menor índice anual ocorreu no ano de 1982, registrando 764,4 mm, enquanto que o

ano mais úmido foi 1945, com um volume total precipitado de 2.554,6 mm (SILVA et al., 2015).

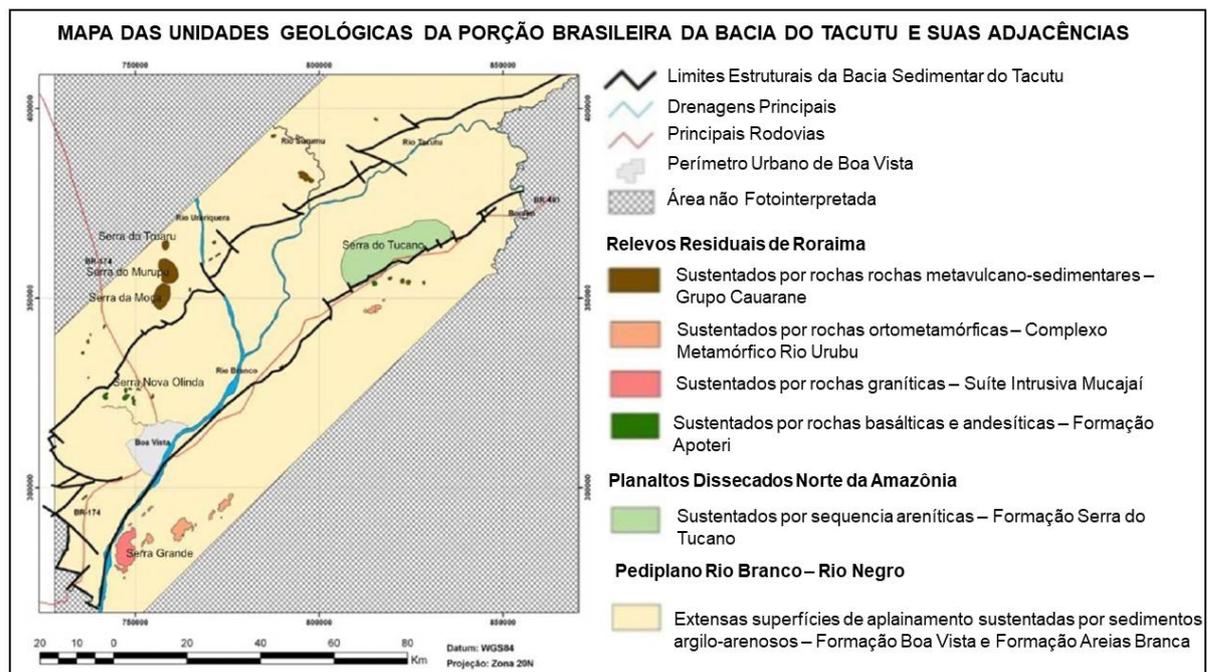
4.1.1 Geologia

O Estado de Roraima está situado ao norte do cráton Amazonas, na porção central do escudo das Guianas, possuindo peculiaridades que lhe conferem aspectos únicos da geodiversidade nesta região do escudo, pois reúnem litologias com idades estabelecidas desde o Paleoproterozoico até o Fanerozoico (REIS; FRAGA; ALMEIDA, 2014).

Segundo Beserra Neta e Tavares Júnior (2008) a composição da paisagem de Roraima é consequência de um complexo arranjo tectônico das unidades geológicas e histórico paleoclimático, resultando em uma diversidade de feições geomorfológicas formadas desde planaltos dissecados a relevos residuais.

Nesta conjuntura, o município de Boa Vista está inserido no Domínio Estrutural Rio Branco – Rio Negro (Figura 17) caracterizado por uma extensa área de superfície de aplainamento, relativamente baixa, com altitudes que variam de 80 a 160 metros, apresentando áreas dissecadas em rochas pré-cambrianas (BRASIL, 1975; BESERRA NETA; TAVARES JÚNIOR, 2008).

Figura 17 – Mapa das unidades geológicas da porção brasileira da Bacia do Tacutu e suas adjacências.



Fonte: Adaptado de HANH et al (2012).

A área de estudo está posicionada na bacia sedimentar do Tacutu, cuja geometria em hemi-graben configura um segmento distensivo correspondente a um rifte intracontinental instituído no período Mesozóico, em uma zona de reativação do Domínio Guiana Central, em que as principais feições estruturais estão orientadas no sentido NE-SW, possuindo uma extensão de aproximadamente 300 km de comprimento e largura variando entre 30 a 50 km, se estendendo até a República Cooperativista da Guiana (COSTA; FALCÃO, 2011; HAHN et al, 2012).

4.1.2 Geomorfologia

Com relação ao aspecto geomorfológico, o IBGE (2005a) classificou a área onde está inserido o município de Boa Vista como Depressão Boa Vista, caracterizada pela presença de bacias sedimentares e coberturas inconsolidadas onde estão contidas as Formações Boa Vista, Areias Branca e Apoteri.

De acordo com Brasil (1975), a designação original ao nome Formação Boa Vista foi dada por Ramos em 1956 para mencionar os sedimentos de idade quaternária, compostas por areias argilosas, argila arenosa e cascalhos.

Melo et al. (1978) e Reis et al. (2002), através de suas pesquisas, apontam que a deposição deste substrato rochoso foi estabelecida em uma bacia rasa, cuja profundidade sofreu variações em função da conformação de seu embasamento. Em termos de extensão, estima-se uma área total de sedimentação de aproximadamente 21.700 km², onde o retrabalhamento dessas camadas originaram depósitos arenosos em superfície, geralmente representados pelos campos de areias da Formação Areias Brancas.

Neste sentido, a denominação Formação Areias Brancas foi proposta inicialmente por Melo et al. (1978) para caracterizar a cobertura arenosa de extensa área entre os rios Surumú e Maú a sudoeste de Normandia.

Essas áreas são caracterizadas como uma fina sedimentação arenosa de cores claras, cimento argilosa, intercaladas por camadas de seixos, com a ocorrência de tesos sustentados por cascalhos, que devido ao seu pouco retrabalhamento, encontram-se de forma irregular, sendo difícil sua separação da Formação Boa Vista, visto que suas características morfológicas são muito semelhantes, correspondendo às atividades eólicas ocorridas no Pleistoceno Superior Holoceno (RAMOS, 1959; MELO et al., 1978 e REIS et al., 2002).

Nesta área também ocorrem derrames de lavas de natureza basálticas e andesítica, como também corpos de diabásio na forma de diques, encaixados em fraturas e falhas, com orientação predominante NE-SW provenientes da Formação Apoteri, cujos referidos derrames vulcânicos estão relacionados à evolução da Bacia Tacutu, correspondendo a um magmatismo instalado no Mesozóico (CPRM, 1999; IBGE, 2005a).

Estudos já realizados no município de Boa Vista evidenciam que essa unidade tem maior expressão na área do conjunto de serras denominadas Nova Olinda, localizada nas imediações da referida sede municipal. Apesar dessa formação está situação em parte, ao extremo sudoeste do hemi-graben do Tacutu, (FALCÃO, 2007).

4.1.3 Pedologia

A região amazônica é caracterizada por sua imensa variedade de solos, reflexo de diversos fatores inerentes aos processos de gênese como geologia, relevo, clima, bióticos e aspectos da paisagem.

Neste cenário, o Estado de Roraima apresenta pedologia bastante heterogênea e contrastante com os padrões atribuídos para Amazônia. Possui características típicas, associadas a um mosaico de relevo movimentado, com ocorrência de diversos ecossistemas, alterando as classes de solos e a vegetação (VALE JÚNIOR et al., 2011).

A maioria das pesquisas sobre os solos nas áreas de Savana em Roraima evidenciaram um grau relativamente avançado de intemperismo, baixa fertilidade natural, reação ácida, além de limitações físicas dos solos para uso agrícola. Assim, as principais classes de solos mapeadas e caracterizadas nas referidas savanas são Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Plintossolos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos, sendo em geral distróficos e ácidos (Embrapa, 1990a, b; Vale Júnior et al., 2007; 2011; Melo et al., 2006).

Rego et al. (2000) em seus estudos sobre a caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental Monte Cristo, da Embrapa Roraima, concluíram que tais solos são desenvolvidos principalmente de sedimentos de idade quaternária, (abrangendo os períodos Holoceno e Pleistoceno) formados por areias, argilas, siltes e cascalho e pelo Jurássico (Formação Apoteri).

Sobre os tipos de solos analisados, os autores fizeram os seguintes apontamentos:

a. Gleissolos e Neossolos – desenvolvidos de sedimentos no período Holoceno, sendo caracterizado por formações recentes de depósitos inconsolidados de cascalhos, areia, argila e silte, representadas pelas faixas estreitas que margeiam os cursos d'água;

b. Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos-Amarelos e Argissolos Amarelos – datados do Pleistoceno, período este que na área estudada está representado pela formação Boa Vista, caracterizada por sedimentos conglomeráticos, arenosos e argilosos, inconsolidados e mal classificados, desenvolvidos em relevo plano e suave ondulado, e Plintossolos e Gleissolos onde ocorrem depressões em relevo plano;

c. Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos-Amarelos Eutróficos – datados do período Jurássico, corresponde à formação Apoteri, que é constituída por basaltos maciços e amigdaloidal e diques de diabásio.

De acordo com o IBGE (2005a) os tipos de solos predominantes no município de Boa Vista são o Latossolo Amarelo Distrófico médio, Argissolo Acinzentado Distrófico, arenoso / médio, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, todos típico, A moderado plano. Já para os solos que margeiam os principais cursos d'água como o Rio Branco destaca-se o Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico, argiloso e muito argiloso, Gleissolo Háptico Tb Distrófico solódico, argiloso, ambos A moderado, Gleissolo Melânico Tb Distrófico solódico, argiloso e muito argiloso, A húmico, Gleissolo Háptico Tb Eutrófico solódico, argiloso e muito argiloso, A moderado, todos planos.

4.1.4 Hidrogeologia

A carência de dados referente ao reservatório hidrogeológico instalado sob o município de Boa Vista é motivo de discussão no meio científico, visto que o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) é complexo, tendo a sua compreensão dificultada pela ausência de informações quanto aos aspectos geológicos, sedimentológicos e hidrogeológicos, que permitam melhor caracterizar as heterogeneidades do referido reservatório.

No entanto, o empenho de pesquisadores na busca por respostas que venham a descrever melhor as feições que constituem o SABV, sobretudo na área urbana de Boa Vista, têm permitido tecer alguns dados preliminares sobre esse reservatório de água subterrânea.

Nesta composição, o Sistema Aquífero Boa Vista é caracterizado por possuir uma área de ocorrência de aproximadamente 14.000 km², sendo um recurso estratégico para o abastecimento público da capital do estado de Roraima, possuindo uma espessura média na área urbana e adjacências de cerca de 40 metros de profundidade, comportando-se em grande parte como um aquífero livre a semiconfinado, cujos valores de transmissividade são da ordem de 1,3 a 3 x 10⁻² m²/s e permeabilidade de 6,7 a 8 x 10⁻⁴ m/s, acreditando-se que sua zona de recarga compreenda toda a sua extensão (EVANGELISTA; WANKLER, 2008).

De acordo com o CPRM (2002), o Sistema Aquífero Boa Vista é composto pela Formação Serra do Tucano (Cretáceo), Formação Boa Vista (Terciário), Formação Areias Brancas (Quaternário) e além de depósitos coluvionares e aluvionares do Quaternário, tendo sua base formada por rochas basálticas e andesíticas provenientes da Formação Apoteri, pertencente à associação de rochas que preencheram o Hemi-gabren Tacutu.

Wankler, Evangelista e Sander (2012) corroboram enfatizando que após um levantamento realizado em 27 poços tubulares perfurados pela CAERR na área urbana de Boa Vista, foi identificado como rochas do substrato, as rochas basálticas e andesíticas pertencentes ao Complexo Vulcânico Apoteri, além de ocorrências isoladas de granitoides, sugerindo que Formação Boa Vista, na referida cidade, recobre não somente as rochas pertencentes ao hemi-graben do Tacutu, mas se estende para as rochas do embasamento da Bacia.

Após estudar 37 análises físico-químicas de amostras das águas subterrâneas provenientes de poços tubulares utilizados pela CAERR no abastecimento público, Mello e Wankler (2015) constataram através dos resultados de caracterização física e de análise estatística dos dados do reservatório, que:

- a. A qualidade das águas subterrâneas do município de Boa Vista possui relação direta com as litologias atravessadas, composição da água de recarga e do tempo de residência do aquífero;
- b. Os baixos valores de cálcio, magnésio, alcalinidade, dureza e sólidos dissolvidos identificados, se devem ao fato da rocha reservatório ser formada

por sedimentos arenosos inconsolidados composicionalmente muito maduros, apresentando ainda camadas siltosas/argilosas que funcionam como superfícies de adsorção/absorção de substâncias pré-existentes;

c. Os valores de pH ácido e acidez carbônica identificados nas análises, são provenientes da presença de gás carbônico livre, devido ao CO₂ absorvido da atmosfera e a alcalinidade é devido aos bicarbonatos;

d. Os resultados bacteriológicos foram negativos, possivelmente resultado da grande profundidade dos filtros ou do período de coleta das amostras.

Souza e Carvalho (2017) por sua vez, estudaram as zonas permoporosas pertencentes à porção sudoeste do SABV na área do *campus* Paricarana da Universidade Federal de Roraima-UFRR, a partir de sondagens elétricas verticais rasas, identificando sete padrões geoeletricos descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização de zonas permoporosas na porção sudoeste do SABV, Campus Paricarana / UFRR

Padrões	Descrição
1 e 3	Melhores zonas permoporosas da área (orientação SW e WNW) em função dos indícios de concentrações lateríticas porosas, que são circundadas por materiais argilosos
2, 4 e 6	Configuraram as zonas de moderada expressividade (orientação NW, centro-oeste, N e NE), indicando a presença de materiais areno-argilosos com até 10 m de profundidade.
5 e 7	Configuraram zonas permoporosas (orientação NW, NE, SE e SW), com pouco potencial aquífero, apontando predominância de materiais argilosos.

Fonte: Adaptado de SOUZA; CARVALHO (2017).

Em geral, os autores distinguiram eletricamente através de 20 sondagens elétricas verticais, o comportamento do conteúdo litológico da Formação Boa Vista, amplamente distribuído na área (argilitos com $\rho_a < 1.000 \Omega.m$, arenitos com $1.000 < \rho_a < 20.000 \Omega.m$ e concreções lateríticas ferruginosas com $\rho_a > 50.000 \Omega.m$).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento da dissertação foi pautado na análise de aspectos fisiográficos da área de estudo, onde estão inseridos o Sistema Aquífero Boa Vista e o Sistema de Esgotamento Sanitário.

Nesta perspectiva, a pesquisa foi embasada em levantamento documental junto a instituições públicas e estudos existentes sobre a temática; aplicação do Método GOD, a fim de gerar um diagnóstico das áreas mais vulnerável naturalmente e promover uma correlação entre o SABV e o sistema público de coleta, transporte e tratamento do esgoto doméstico gerado no perímetro urbano de Boa Vista - RR. Para tanto, os procedimentos metodológicos foram concretizados através de atividades de pré-campo, campo e pós-campo que consistiram nas etapas a seguir:

4.2.1 Caracterização fisiográfica

Esta etapa consistiu no levantamento de informações fisiográficas do perímetro urbano de Boa Vista-RR, onde está situado o SABV e foi realizada em duas fases: a primeira compreendeu coleta de dados secundários baseadas em pesquisas já desenvolvidas em dissertações, teses, artigos científicos e demais publicações, de forma a obter contribuições sobre os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrogeológicos visando fundamentar a metodologia.

Na segunda fase foram realizadas a coleta de dados secundários junto ao setor técnico da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAERR), com o objetivo de colher informações dos poços tubulares utilizados no abastecimento público na área de estudo, bem como suas propriedades hidrodinâmicas e litológicas examinadas a partir dos relatórios conclusivos de poços tubulares.

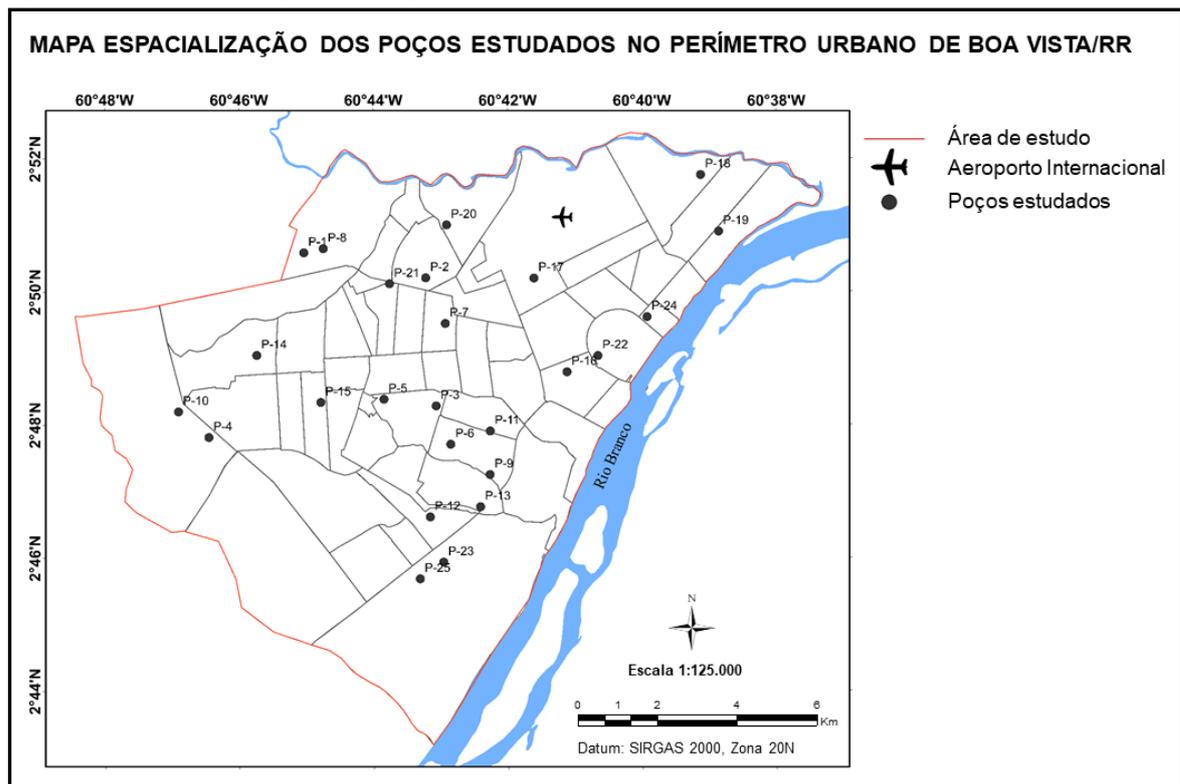
Visando complementar informações obtidas na CAERR, proporcionando uma melhor consistência e espacialização dos dados na área estudada, foram utilizadas informações secundárias de poços tubulares situados no perímetro urbano de Boa Vista, através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas / SIAGAS, que consiste em um sistema desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com informações de águas subterrâneas, composto por uma base de dados de poços perfurados no território brasileiro, disponível para consulta via online.

4.2.2 Avaliação da vulnerabilidade natural e o risco à contaminação do aquífero na área de estudo

Esta etapa se destinou a elaboração de uma base de dados a partir de informações contidas nos perfis litológicos fornecidos pela CAERR. Para tanto, foram considerados 11 poços ativos que injetam a água captada (através de motobombas submersas) diretamente na rede de distribuição de água, após passarem por um processo de desinfecção, e 5 poços que no momento do levantamento dos dados se encontravam desativados, totalizando 16 poços.

Através do SIAGAS foram analisados 9 poços, dos quais 8 estão cadastrados como uso particular e 1 destinado a monitoramento, situado na UFRR, somando ao todo 25 poços (Figura 18).

Figura 18 – Espacialização dos poços analisados no perímetro urbano de Boa Vista/RR.



Elaboração: Autora (2018).

Esse critério foi estabelecido em função do acesso às informações mais completas, visto que tanto os poços cadastrados no referido sistema (SIAGAS), quanto os poços mais antigos em operação pela CAERR não apresentaram o nível

de detalhamento requerido ao cumprimento da pesquisa, sobretudo no que se refere aos dados geológicos.

Em seguida, foram realizadas visitas em campo, onde foi executado um percurso até os poços tubulares destinados ao abastecimento público. Nestas ocasiões, foi utilizado um aparelho GPS (Sistema de Posicionamento Global), modelo GPSMAP 64s para a coleta das coordenadas dos referidos poços, informações estas utilizadas para a espacialização dos poços na área estudada. Para a espacialização dos poços de uso particular foram utilizadas as coordenadas geográficas informadas no SIAGAS.

Para efeito dessa pesquisa não foi considerado o bairro Said Salomão, visto que o mesmo apesar de utilizar dois poços tubulares profundos na composição de seu sistema isolado de abastecimento de água, o mesmo ainda não havia sido repassado à CAERR para sua operação, de modo que até o momento do levantamento dos dados, não existiam registros dos referidos poços na concessionária. A disposição dos efluentes gerados pela população ali residente é feita através de fossas sépticas.

De posse dos dados, se procedeu à sistematização desses elementos com o auxílio do software *Microsoft Excel 2013*, através de uma tabela na qual consta a identificação do poço através de um código próprio (estabelecido para o controle dos mesmos), coordenadas, bairro onde o poço está situado, nível estático (distância da superfície do terreno ao nível da água dentro do poço antes de iniciar o bombeamento) e os parâmetros analisados após a aplicação do método GOD, visando obter o índice de vulnerabilidade natural de cada poço analisado.

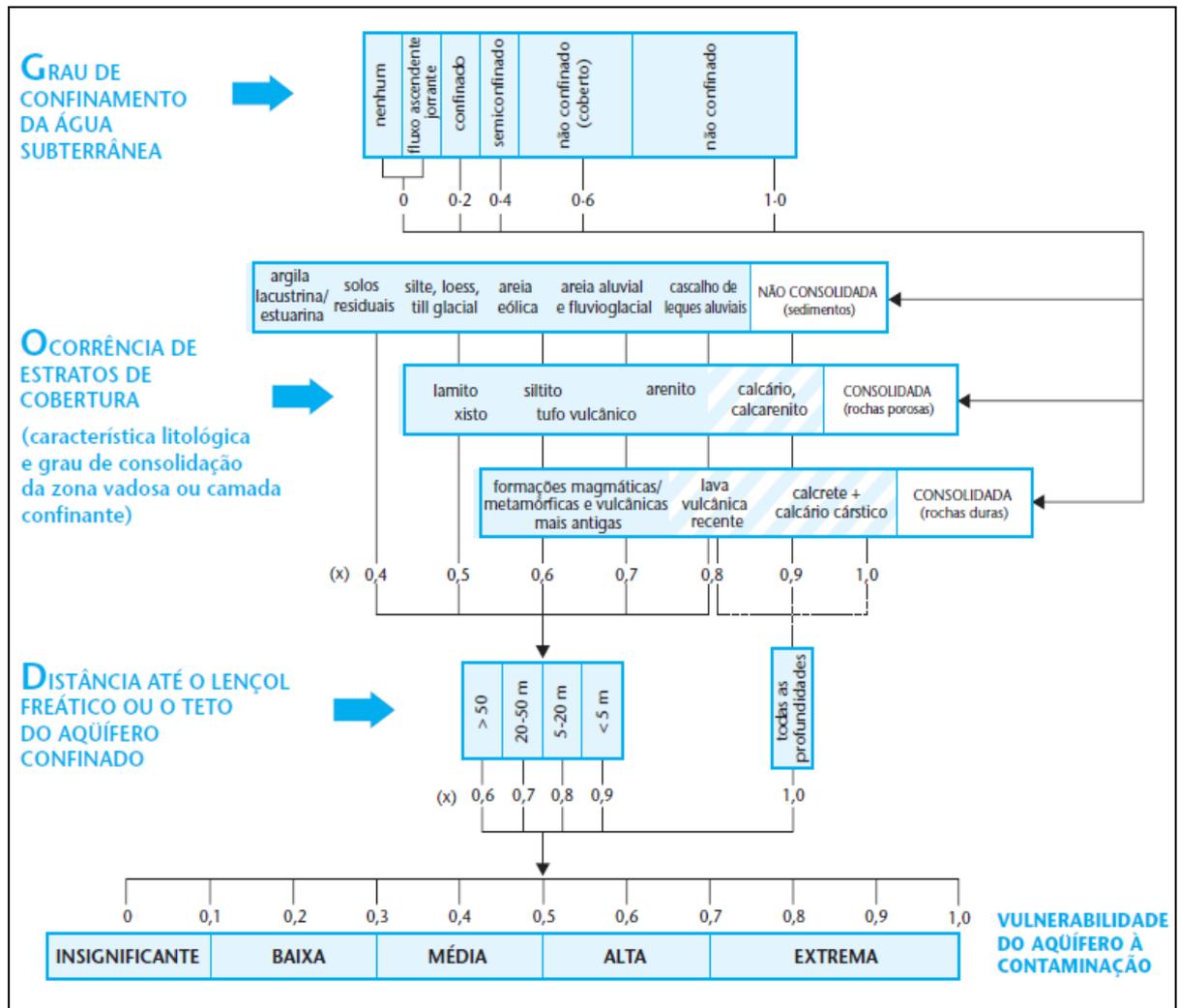
Após a sistematização das informações, foi aplicado o método de análise GOD, que avalia três parâmetros, os quais são: **G**roundwater occurrence, **O**verall lithology of the unsaturated zone e **D**epth to the water table, proposto por Foster et al. (2002, 2006).

Trata-se de um método bastante empregado a partir dos anos 90 do século XX não só no Brasil, como também em vários países da América Latina e Caribe, devido a sua aplicação simples e sistemática frente a outros métodos, visto que os dados necessários a este procedimento estão voltados aos estudos básicos de hidrogeologia regional, quase sempre disponível (ZANETT, 2014).

Este método foi adotado para esta pesquisa devido ao seu bom desempenho, baixo custo e facilidade na obtenção dos critérios hidrodinâmicos

necessários à sua aplicação. Neste sentido, o método GOD avalia a vulnerabilidade do aquífero a partir do tipo de aquífero - G, a litologia e o grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes - O e a profundidade da água no aquífero - D, conforme Figura 19.

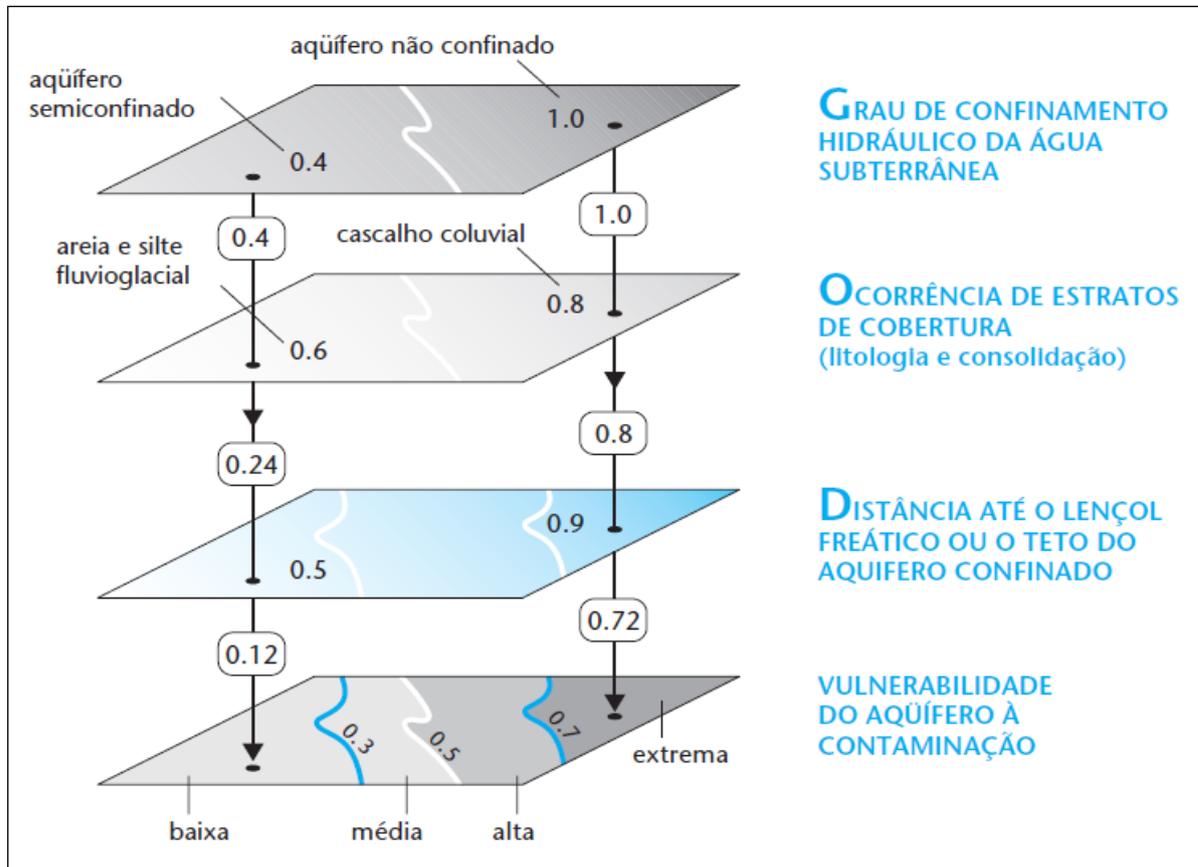
Figura 19 – Método GOD para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.



Fonte: Adaptado de FOSTER et al. (2006)

Nesta metodologia foi conferido um índice a cada tipo de informação, sendo o valor 1, atribuído ao maior caso de vulnerabilidade. Estes índices foram multiplicados entre si ($G \times O \times D$). O produto desta operação evidenciou a classe de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, sendo que esta pode ser de acordo com o referido método: desprezível (0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0), segundo mostra a Figura 20.

Figura 20 – Critérios utilizados para a produção de mapa de vulnerabilidade utilizado no método GOD.



Fonte: Adaptado de FOSTER et al. (2006)

Para Cutrim e Campos (2010a) as contribuições desses parâmetros ao índice GOD consistem em:

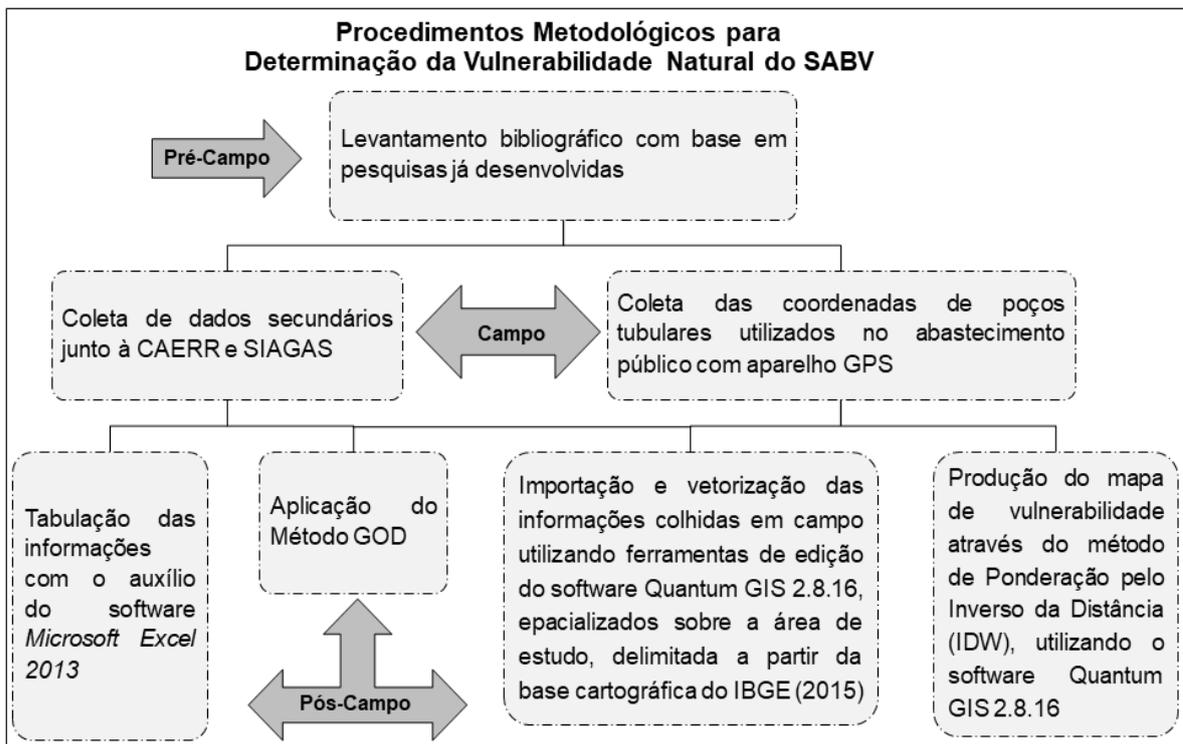
- Tipo de Aquífero – este parâmetro reflete o nível de contato do aquífero com a superfície do terreno, possuindo grande correlação com o seu grau de vulnerabilidade natural;
- Litologia e o Grau de Consolidação da Zona Vadosa ou Camadas Confinantes – esses aspectos condicionam o tempo de deslocamento dos contaminantes, de modo que um solo predominantemente arenoso tem menor capacidade de atenuação do que um solo argiloso. Da mesma forma, uma rocha de granulometria grossa tem menor capacidade de atenuação do que uma rocha de granulometria fina.
- Profundidade da Água no Aquífero - neste indicador, a profundidade da água no aquífero está relacionada à profundidade que o contaminante terá que percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero.

4.2.3 Elaboração do mapa de vulnerabilidade

Após o diagnóstico das informações dos poços que são abastecidos pelo Sistema Aquífero Boa Vista, bem como os seus pontos de vulnerabilidade, foi utilizado o software Quantum GIS 2.8.16, para a produção do mapa de vulnerabilidade, por meio da interpolação nas áreas em que não foi calculado o índice, através dos pontos com índice conhecido (método de Ponderação pelo Inverso da Distância - IDW), permitindo estimar a vulnerabilidade natural do aquífero em toda a área de estudo.

Posteriormente, foram avaliados os possíveis riscos de contaminação ao referido sistema aquífero, através de sobreposições das informações obtidas através da pesquisa, gerando um diagnóstico da área estudada. Neste sentido, as etapas da pesquisa foram sintetizadas na Figura 21.

Figura 21 – Etapas executadas para avaliação da vulnerabilidade natural do SABV.



Elaboração: Autora (2018).

4.2.4 Análise do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista – RR

Visando a compreensão dos conceitos concernentes a concepção e operação, assim como os componentes do sistema de esgotamento sanitário, foram

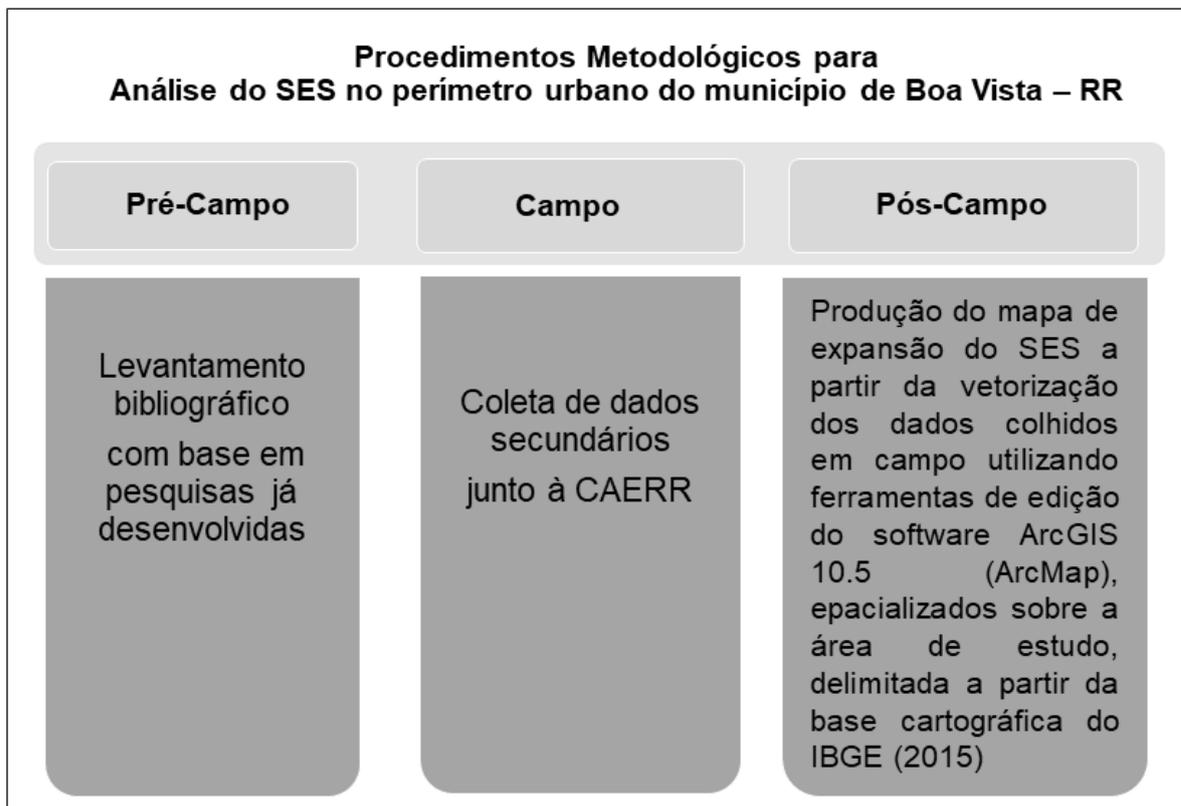
realizadas consultas às normas e legislação vigentes, livros, manuais e artigos técnicos.

Após a revisão bibliográfica, foi realizado um levantamento junto a CAERR, visando obter informações a respeito do sistema de esgotamento sanitário (SES) locado no perímetro urbano de Boa Vista – RR.

Para tanto, foram analisados dados como mapas cadastrais das redes de esgotamento sanitário da capital, a fim de verificar a atual abrangência do sistema na capital, bem como a evolução de sua expansão; os projetos executivos do sistema, evidenciando seus componentes, como profundidade dos poços de visita do sistema, localização das estações elevatórias de esgoto e estação de tratamento, características dos materiais empregados, topografia do terreno e as perspectivas de expansão do SES no município de Boa Vista - RR.

Com o objetivo de permitir uma melhor caracterização do sistema de esgotamento sanitário foram utilizados os softwares ArcGIS 10.5 para a espacialização, visualização e produção de mapas temáticos a partir das informações obtidas, conforme mostra a Figura 22.

Figura 22– Etapas executadas para análise do Sistema de Esgotamento Sanitário.



Elaboração: Autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD

Os resultados alcançados através da pesquisa foram obtidos a partir da análise de dados de captações de água subterrânea realizada por meio de poços tubulares empregados no abastecimento público, uso particular e para fins de monitoramento, cujas observações estão descritas a seguir:

5.1.1 Grau de confinamento da água subterrânea

O parâmetro G foi definido com base na interpretação dos perfis litológicos, sendo o valor 1,0 atribuído a todos os poços examinados (aquífero não confinado), tendo em vista que o nível do lençol freático na área estudada se mostrou muito superficial, variando de 1,20m a 13,00m de profundidade (Tabela 2).

Esse valor também foi atribuído aos casos onde houve o predomínio de camadas argilosas situadas na zona insaturada, que em ocasiões normais poderia funcionar como um obstáculo a um possível contaminante, através de suas características selantes. Porém, observou-se na área estudada, que esses estratos se mostraram muito delgados frente às demais camadas permeáveis que compõe o reservatório e ao raso nível do lençol freático, justificando o valor adotado para esse parâmetro.

5.1.2 Ocorrência de estratos de cobertura

Em relação ao parâmetro O (Tabela 3), foi possível verificar que os estratos de cobertura do aquífero são compostos predominantemente por camadas areníticas e pelíticas, sendo lhes atribuído os índices 0,40 (valores que englobam tanto argilas como siltes) e 0,70 (limite máximo que compreende areias eólicas a areias aluviais e fluvioglaciais).

É importante ressaltar que em determinados poços, as características litológicas observadas na zona vadosa se diferenciam das encontradas no reservatório como um todo, que além de apresentar os estratos acima mencionados, apresentaram em menores proporções, pacotes de cascalhos e a ocorrência de rocha basáltica no substrato.

Tal fato tem certa implicação (conforme mencionado anteriormente) sobre as características de vulnerabilidade do aquífero, uma vez que, ao se analisar apenas uma fina camada de argila situada na zona vadosa, em comparação às demais intercalações de camadas arenosas que constituem o perfil litológico, poderia ocasionar uma classificação incorreta, visto que, dependendo das características do contaminante, bem como sua intensidade, o mesmo poderia percolar de uma forma mais lenta na zona vadosa (fina camada de argila) e se difundir rapidamente pelo aquífero, dada às características das demais camadas (camadas arenosas).

Para os casos em que houve essas particularidades, foram consideradas as camadas predominantes nos perfis litológicos dos poços.

5.1.3 Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado

No parâmetro D foram identificadas variações de profundidade, tendo como referência o nível estático da água no poço após sua perfuração, permitindo atribuir dois índices: 0,8 (para os poços classificados entre 5 a 20m de nível da água) contabilizando 15 poços e 0,9 (para os poços cujo nível da água está situado a menos de 5m de profundidade em relação à superfície do solo) contabilizando 10 poços, conforme a Tabela 3.

5.1.4 Índice de vulnerabilidade natural à contaminação

O índice de vulnerabilidade natural à contaminação do SABV foi obtido após a multiplicação dos parâmetros ($G \times O \times D$), onde se verificou que o SABV apresenta no perímetro urbano de Boa Vista um grau de vulnerabilidade natural que varia de médio (representando 32% dos poços) a alto (correspondendo a 68% dos poços), como mostra a Tabela 3.

As áreas classificadas como vulnerabilidade natural média compreendem os pontos dispostos nas zonas urbana: norte, leste, oeste, como também a área que envolve o bairro Centro do município de Boa Vista (Tabela 3).

Essa categorização se deve, em parte, às camadas de sedimentos inconsolidados compostos por frações de argilas (42%), areias (21%) e cascalhos (7%). Outro fator importante está vinculado à profundidade da água subterrânea, que nessas zonas variaram de 3 a 12 metros (Tabela 3). Essa condição faz com que

a acessibilidade hidráulica de um possível contaminante ao aquífero seja retardada, porém, não impede esse contato, caso esse contaminante seja continuamente lançado ou lixiviado.

Já as áreas classificadas como vulnerabilidade natural alta, se distribuíram em toda a área de estudo (Tabela 3), estando difundidas entre as zonas norte, sul, leste e oeste, caracterizadas por frações de areias (55%), argilas (20%), siltes (2%) e cascalhos (2%). A altura da superfície freática em relação ao nível do solo também contribuiu para a alta vulnerabilidade nestas regiões do aquífero, uma vez que o nível estático (N.E.) da água nos poços pesquisados variou de 1,20 a 13 metros de profundidade. Tais especificidades expõe essas áreas a uma variedade maior de contaminantes.

Através da Tabela 3, foi possível observar a existência de poços que, embora estejam situados no mesmo bairro, apresentaram classificação diferentes (bairros Cidade Satélite, Centenário e Laura Moreira), tendo nestes casos, as características litológicas (alternância entre material argiloso e arenoso) como fator determinante para tal classificação. Foi observado ainda que além das propriedades litológicas, o nível da água também contribuiu para essa diferenciação de classes (bairro Jóquei Clube), evidenciando a heterogeneidade do SABV na área de estudo.

Deste modo, os resultados apresentados tanto na classe de vulnerabilidade natural média, quanto na classe alta se mostraram consonantes com a litologia da área de estudo, posto que a região onde Boa Vista está edificada é constituída pela Formação Boa Vista, composta por sedimentos inconsolidados arenosos com alternância de níveis conglomeráticos e argila com concreções lateríticas e a ocorrência de diatomito argilito, assim como areias eólicas inconsolidadas provenientes da Formação Areias Brancas e a ocorrência de rocha basáltica no substrato, característico da Formação Apoteri (IBGE, 2005a).

Neste aspecto Manoel Filho (1997) corrobora pontuando que por serem pouco consolidados, esses depósitos (siltes, areias, argilas e cascalhos) possuem uma distribuição complexa, apresentando características texturais bastante variadas, podendo ocasionar muita heterogeneidade na distribuição das propriedades hidráulicas do reservatório.

Tabela 3 – Índice de Vulnerabilidade natural do aquífero SABV

Cód.	Bairro	Latitude	Longitude	N. E. * (m)	G	O	D	Índice Vuln.	Classe
P-1	Cidade Satélite	314491,90	750048,774	6,00	1,00	0,4	0,8	0,32	Média
P-2	Caraná	313798,38	753413,181	8,30	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-3	Jóquei Clube	310252,21	753702,99	4,30	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-4	Laura Moreira	309374,78	747432,22	13,00	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-5	Jóquei Clube	310434,48	752261,86	5,50	1,00	0,4	0,8	0,32	Média
P-6	Centenário	309189,05	754108,61	4,50	1,00	0,4	0,9	0,36	Média
P-7	Caimbé	312536,37	753954,90	9,50	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-8	Cidade Satélite	314606,00	750586,33	6,80	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-9	Centenário	308351,00	755191,00	2,00	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-10	Laura Moreira	310085,09	746592,72	12,00	1,00	0,4	0,8	0,32	Média
P-11	Cinturão Verde	309557,86	755195,21	8,00	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-12	Raiar do Sol	307175,00	753540,00	7,20	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-13	São Bento	307457,84	754928,39	5,50	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-14	J. Equatorial	311648,32	748752,05	8,00	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-15	Pintolândia	310345,00	750521,00	4,00	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-16	São Vicente	311196,00	757315,00	10,50	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-17	Aeroporto	313794,97	756400,35	1,20	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-18	Paraviana	316662,06	760998,27	6,30	1,00	0,4	0,8	0,32	Média
P-19	Caçari	315095,87	761495,83	8,00	1,00	0,7	0,8	0,56	Alta
P-20	Cauamé	315265,13	753987,47	9,30	1,00	0,4	0,8	0,32	Média
P-21	Santa Tereza	313633,44	752414,96	3,00	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-22	Centro	311647,47	758165,80	5,00	1,00	0,4	0,9	0,36	Média
P-23	Aquilino M. Duarte	305923,00	753913,00	2,50	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta
P-24	São Pedro	312725,71	759523,16	3,00	1,00	0,4	0,9	0,36	Média
P-25	Aquilino M. Duarte	305461,47	753265,04	3,60	1,00	0,7	0,9	0,63	Alta

*NE = Nível Estático

Elaboração: Autora (2018).

5.2 MAPA DE VULNERABILIDADE

De acordo com o mapa de vulnerabilidade apresentado na Figura 23, foi possível observar através da espacialização dos pontos analisados, que as regiões cujos índices se apresentaram como médio, estão inseridas na área onde a cidade de Boa Vista teve sua gênese; nos extremos leste (bairro Paraviana), noroeste

(bairro Cauamé, parte do bairro Cidade Satélite e Laura Moreira) e sudoeste (bairro Jôquei Clube e parte do bairro Centenário).

Enquanto que as regiões com indicadores de vulnerabilidade natural alta (Figura 23), estão concentrados nas porções noroeste (bairros Santa Tereza, Caranã, Caimbé, Jardim Equatorial, parte dos bairros Laura Moreira e Cidade Satélite) e sudoeste (Raiar do Sol, São Bento, Gov. Aquilino M. Duarte, Cinturão Verde, Pintolândia e parte dos bairros Centenário e Jôquei Clube) e de forma menos expressiva na porção nordeste (bairro Aeroporto) e sudeste (bairro Caçari).

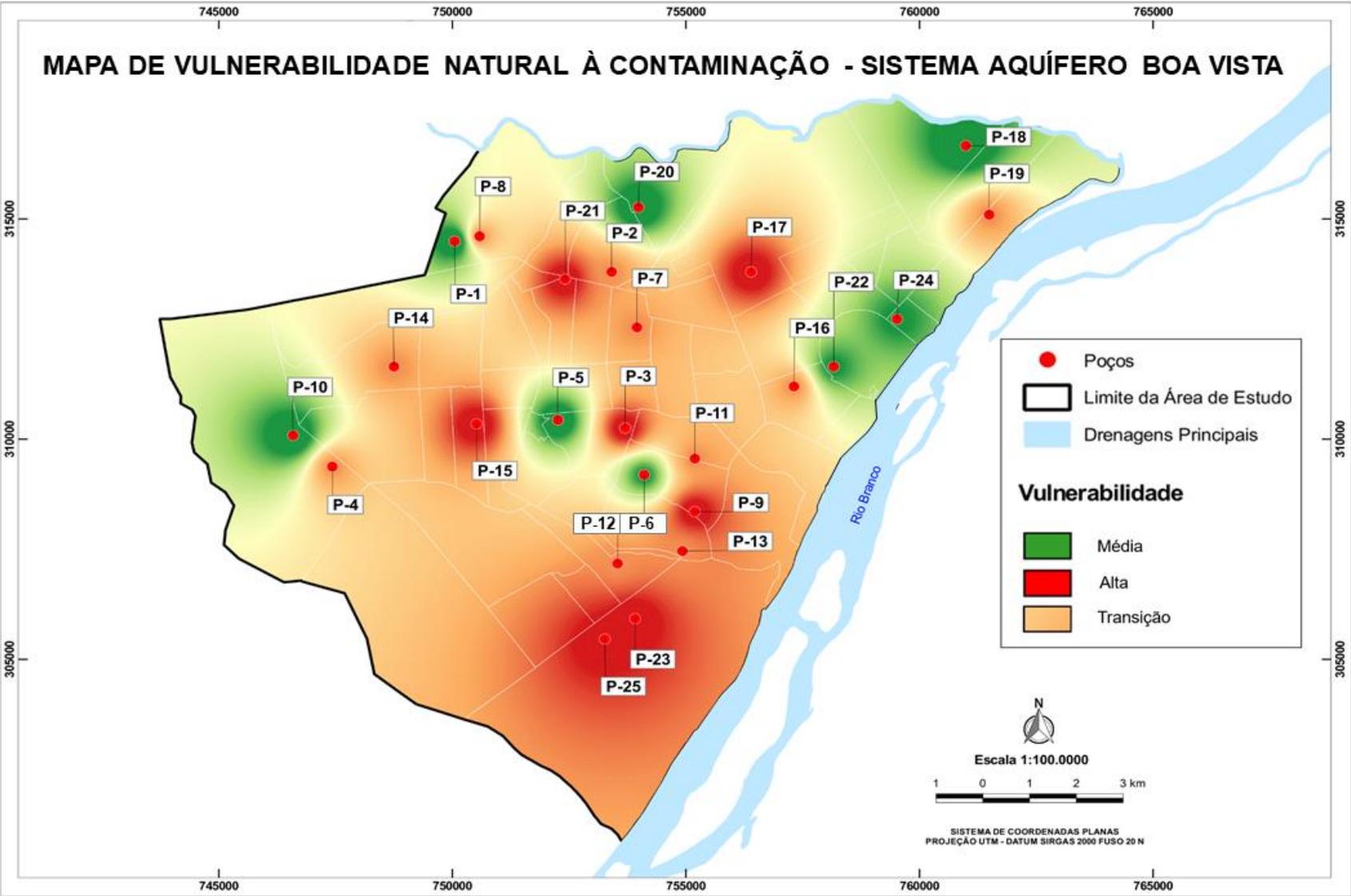
Neste aspecto, Avila (2007) ao investigar a vulnerabilidade à poluição na área urbana de Boa Vista por meio de sondagens a percussão (ensaio SPT), encontrou resultados semelhantes ao concluir que as áreas mais suscetíveis à poluição estão situadas nas zonas sul e sudoeste da cidade em função das propriedades do subsolo que nesses locais se apresentam permeáveis e com nível do lençol freático oscilando de 1,35 a 4,00 metros de profundidade no período de estiagem.

Neres, Wankler e Gama (2015) por outro lado, ao observarem poços e afloramentos situados no perímetro urbano de Boa Vista, constataram heterogeneidades e anisotropias no sistema Aquífero Boa Vista. As heterogeneidades estavam relacionadas a estratificação (alternância de estratos areníticos, pelíticos e conglomeráticos) e de trending, movida por variações litofaciológicas. Já as principais anisotropias estavam relacionadas à presença de lentes síltico-argilosas, que segundo os autores podem funcionar como defletores e selantes dentro do reservatório, apresentando condições favoráveis à formação de aquíferos com intervalos semiconfinados e confinados em alguns bairros da cidade de Boa Vista.

Assim, tanto as áreas qualificadas como vulnerabilidade natural média, quanto às de alta vulnerabilidade, apresentam propriedades que podem contribuir substancialmente para o deslocamento de um eventual contaminantes até o lençol freático, visto que no perímetro urbano de Boa Vista, a profundidade média do Nível de Água (NA) é de 6,3m no período de estiagem, chegando a aflorar em algumas regiões (AVILA, 2007; EVANGELISTA; WANKLER, 2008).

Neste sentido, são necessárias ações que venham a monitorar as atividades antrópicas que ocorrem no espaço urbano de Boa Vista, visto que ambas as classificações para o SABV são preocupantes, requerendo ações que fiscalizem o uso e a ocupação do solo, de forma a proteger o referido sistema aquífero.

Figura 23 – Mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas que compõe o SABV no perímetro urbano de Boa Vista / RR.



Fonte: Autora e Jorge Pereira Santos (2018).

6 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DE BOA VISTA – RR

6.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A evolução do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano de Boa Vista está representada através da Figura 24, produzida com base em dados levantados junto à CAERR, onde observou-se que os primeiros bairros providos com rede coletora de esgoto doméstico foram os bairros Centro, São Pedro e São Francisco (cobertura parcial), de modo que até o final da década de 1970, apenas três bairros situados na área central da capital eram beneficiados por este tipo de serviço.

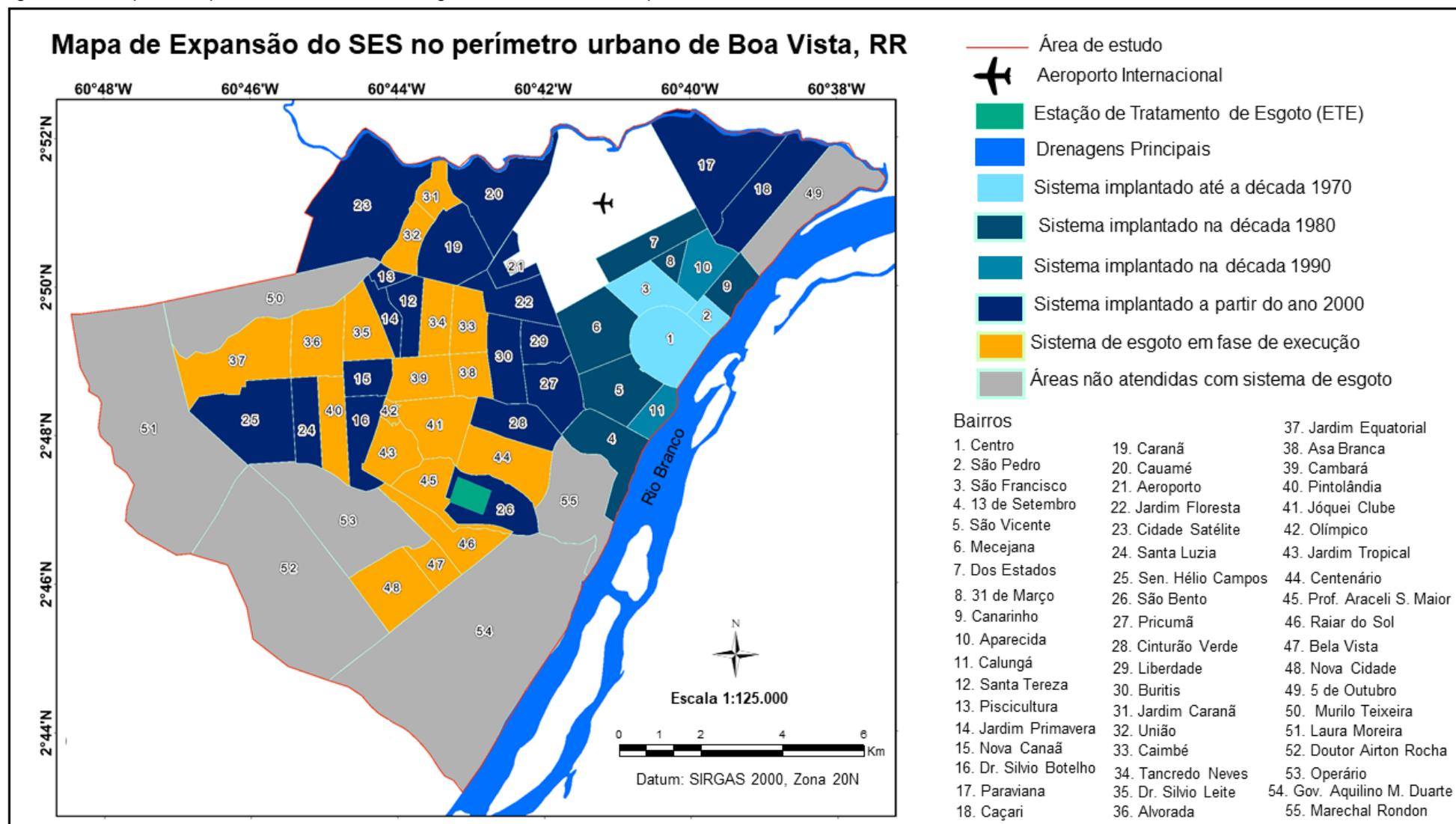
Posteriormente, na década de 1980 (Figura 24), mais seis bairros receberam os serviços de coleta de esgoto sanitário (os quais também estavam situados nas adjacências da área onde a referida capital se originou); um número significativo, quando comparado à década de 1990, que segundo os registros, contemplou apenas dois bairros.

O início do século XXI, no entanto, foi assinalado pela significativa expansão desse sistema, principalmente em direção à zona Oeste da cidade, visto que desde o ano 2000, cerca de trinta e seis bairros receberam ou estão passando por obras para implantação dos dispositivos que compõe o sistema, a fim de disponibilizar esse tipo de serviço à população que reside nessas áreas (Figura 24).

Neste contexto, a partir de uma análise espaço-temporal, constatou-se que ao final do século XX, somente os bairros situados na mancha urbana consolidada (que compreendia as imediações da área onde Boa Vista foi criada) eram dotadas de obras de infraestrutura necessárias à coleta, transporte e tratamento final do esgoto doméstico recolhido nos domicílios dos boavistenses.

Em contrapartida, os bairros criados no período que compreende os anos de 1980 a 2000, caracterizados na maior parte por ocupações irregulares, situados em grande parte na zona Oeste da cidade, não eram assistidos por esse tipo de serviço de saneamento ambiental (VERAS, 2009).

Figura 24 – Mapa de expansão do Sistema de Esgotamento Sanitário no perímetro urbano de Boa Vista / RR.



Fonte: Autora (2018).

Nessa perspectiva, o que se observa no espaço urbano de Boa Vista nesse período, é um cenário característico das cidades brasileiras, onde segundo Oliveira et al. (2016) os locais mais afastados das regiões centrais, sobretudo, as áreas conhecidas como irregulares foram marcadas por uma grande desigualdade em relação ao acesso a coleta e tratamento de esgoto, contribuindo não só para a contaminação do meio ambiente, como também para a vulnerabilidade da população residente nessas áreas.

Esse panorama está relacionado ao acelerado processo de urbanização das cidades brasileiras, que sem o devido planejamento, culminou em sérios déficits de infraestrutura, agravados pelo fato dos investimentos em saneamento no Brasil terem ocorrido de forma pontual e em períodos específicos, sobretudo nas décadas de 1970 e 1980 através da consolidação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que contribuiu para elevar os índices de atendimento por sistemas de abastecimento de água, mas que, pouco colaborou para diminuir o déficit de coleta e tratamento de esgoto (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Deste modo, a expansão do SES rumo à periferia urbana de Boa Vista, observada no início do século XXI, foi impulsionada pela retomada dos investimentos em infraestrutura, o qual se pode citar o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, lançado pelo governo federal com o objetivo de promover o crescimento econômico investindo nos setores de infraestrutura, bem como viabilizar recursos financeiros para apoio à implantação da Lei nº. 11.445 (Lei que estabelece as diretrizes para o saneamento básico) e sua regulamentação, pelo Decreto nº 7217/2010 promulgada em 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007; OLIVEIRA et al. 2016).

Neste âmbito, no ano de 2008 foi firmado um convênio entre o governo federal e estadual, que prevê até o final das obras um investimento de R\$ 628.875.580,11 (seiscentos e vinte e oito milhões, oitocentos e setenta e cinco mil, quinhentos e oitenta reais e onze centavos) por meio do PAC, com recursos alocados através da Caixa Econômica Federal. Tal convênio teve como objeto a implantação do projeto de modernização e ampliação do sistema de esgoto sanitário na capital de Roraima, justificando o avanço da cobertura do SES em diversos bairros a partir deste período (ASCOM/CAERR, 2018).

Esse avanço tem ocorrido em etapas, de acordo com o cronograma de execução de obras das empresas que estão realizando os serviços, sob a

fiscalização do governo do Estado e Caixa Econômica Federal. Foi previsto inicialmente seis etapas, onde cada etapa contemplaria vários lotes, que por sua vez abrangeria diferentes bairros, de acordo com os critérios técnicos estabelecidos no projeto.

Ao término de cada etapa, o governo do Estado então repassa a estrutura física à CAERR, que por intermédio de seus técnicos realiza uma vistoria no sistema, recebe a obra e procede à operação do mesmo. Atualmente, estão sendo implantados dispositivos e acessórios referentes aos lotes da quarta e quinta etapa (Figura 25).

Figura 25 – Recebimento dos lotes da 4ª etapa: (A) Abrigo dos quadros de comando e grupo gerador da EEE Raiar do Sol (B) Poço de sucção com guindaste da EEE Raiar do Sol (C) Poço de Visita no bairro Nova Cidade (D) Poço de Visita no Bairro Bela Vista.



Fonte: Relatório técnico CAERR (2017).

Segundo a ASCOM/CAERR (2018) atualmente 64% da área urbana da capital possui cobertura de esgoto, e os demais bairros que ainda não foram contemplados pela expansão do SES, estão previstos para serem atendidos na sexta etapa.

Neste contexto, cabe ressaltar a elaboração do PDSI - Plano Diretor de Saneamento Integrado de Boa Vista criado no ano de 2011, com a finalidade de elaborar um estudo completo sobre o saneamento no referido município, com

análise da situação atual e proposição de soluções estruturadas dentro do horizonte de curto, médio e longo prazo para sua universalização, bem como tendências futuras nesta área.

O PDSI foi elaborado a partir de audiências públicas com a participação de entidades públicas e a sociedade civil organizada, abrangendo os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e manejo de resíduos sólidos (PDSI, 2011).

A formulação do PDSI segue uma determinação da Lei nº. 11.445/2007 e seu Decreto regulamentador que vincula o acesso de recursos financeiros pelos municípios à aprovação de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), de modo que a elaboração deste plano diretor para o saneamento ambiental propicia a continuidade das políticas públicas neste segmento, visto que o plano contempla soluções para um horizonte de 20 anos, e devido à delimitação clara das ações ao longo de tempo evita, por exemplo, que o poder executivo federal, estadual e municipal realizem ações separadas para solucionar o mesmo problema (BRASIL, 2007).

De acordo com Brasil (2017), essa evolução do SES nos últimos anos tem contribuído para elevar o percentual de atendimento urbano por rede coletora de esgotos na capital, posicionando o estado de Roraima entre os estados brasileiros que possuem índice médio na faixa de 40% a 70%, ao lado de estados como Rio de Janeiro, se destacando como o único estado da região norte a apresentar esse percentual, tendo em vista que os demais estados que compõe essa região apresentam índices médios entre 20% a 40% (Tocantins), 10% a 20% (Acre) e faixa inferior a 10% (Amazonas, Pará, Rondônia e Amapá).

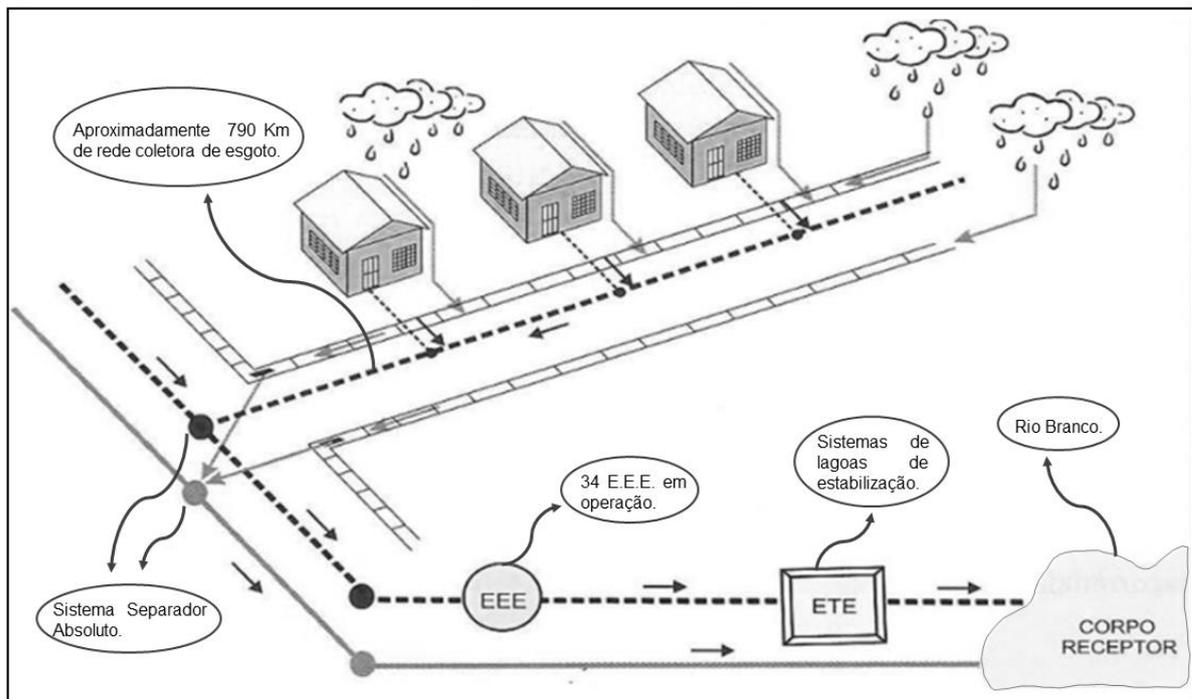
6.2 ESTRUTURA, OPERAÇÃO E CONTROLE AMBIENTAL DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A operação do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) no município de Boa Vista é realizada sob regime de concessão pela Companhia de Água e Esgoto de Roraima - CAERR, empresa de economia mista, fundada em 04 de março de 1969, com o objetivo de universalizar a prestação de serviços de abastecimento de água tratada e coleta e tratamento de esgoto sanitário em todo o Estado de Roraima (CAERR, 2017).

O referido sistema foi implantado em 1975, contabilizando na época 52 km de rede coletora e posteriormente, no ano de 1994 foi inaugurada a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), que na ocasião, possuía uma capacidade para tratamento de 1.260 m³/h, através de um processo natural, formado por cinco lagoas de estabilização (CAERR, 2017).

O sistema no perímetro urbano do município de Boa Vista foi concebido para coletar, transportar e tratar o esgoto doméstico produzido pela população local, levando em consideração as condições econômicas e estruturais da cidade (Figura 26).

Figura 26 – Sistema convencional de esgoto sanitário adotado pela CAERR.



Fonte: Adaptado de TSUTYIA; SOBRINHO (2000).

Nesse sentido, possui características de um sistema público convencional de esgotamento sanitário (separador absoluto), sendo projetado visando entre outros aspectos à topografia local, de modo a permitir o escoamento das águas residuárias por gravidade (das cotas mais altas para as cotas mais baixas) e nos locais onde não é possível tal escoamento, essas águas residuárias são então conduzidas através de bombas até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) para serem tratados e posteriormente encaminhados ao corpo receptor (CAERR, 2017).

Para tanto, o SES está dividido em duas grandes bacias de drenagem:

- a) Bacia da Margem Direita do Rio Branco - compreende o perímetro urbano localizado na parte Sul, Sudoeste, Sudeste e parcialmente a parte Leste, representando aproximadamente 60% da população urbana da cidade de Boa Vista.
- b) Bacia da Margem Direita do Cauamé - compreende o perímetro urbano localizado na porção Norte, Nordeste, Noroeste e parcialmente a parte Leste, representando aproximadamente 40% da população urbana da cidade de Boa Vista.

Estas duas grandes bacias por sua vez, comportam sub-bacias menores, cuja prestação dos serviços de esgotamento sanitário está sendo realizada de forma integral (nos bairros onde as obras já foram totalmente concluídas) e parcial, (nos bairros onde as obras de implantação dos dispositivos ainda estão em andamento) conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Cobertura dos bairros de Boa Vista atendidos pelo SES

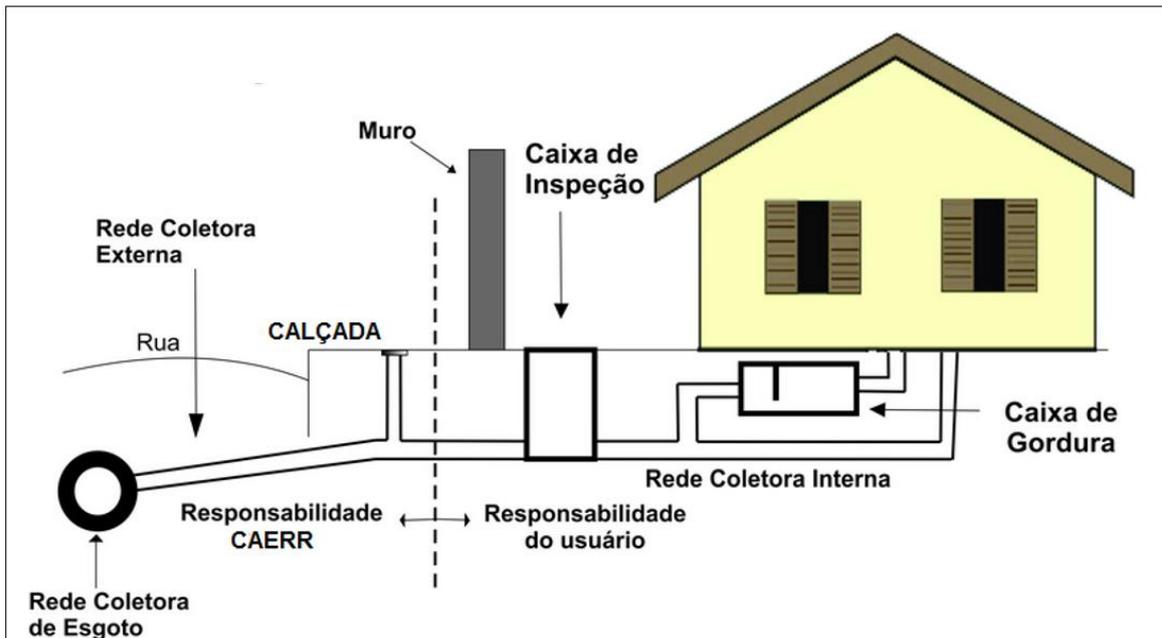
Atendimento integral	Atendimento parcial
31 de Março, Aeroporto, Aparecida, Estados, Paraviana, São Francisco, 13 de Setembro, Canarinho, São Pedro, Bunitis, Caraná, Canarinho, Cauamé, Cinturão Verde, Jardim Floresta, Liberdade, Mecejana, Pricumã, Santa Luzia, São Bento.	Centro, Calungá, São Vicente, Jardim Primavera, Jóquei Clube, Nova Canaã, Pintolândia, Piscicultura, Dr. Sílvio Botelho, Dr. Sílvio Leite, Santa Tereza, Asa Branca, Senador Hélio Campos, Cidade Satélite, Caçari, Tancredo Neves.

Fonte: CAERR (2017).

Nos bairros cujo SES já está sendo operado pela CAERR, o esgoto gerado é coletado através da rede coletora interna (ligação intradomiciliar) e conduzido por gravidade até a rede coletora de esgoto (ligação domiciliar), que possui nível de decaimento abaixo do nível das edificações, facilitando o escoamento (Figura 27).

Uma vez lançado na rede coletora de esgoto (secundária), o esgoto é encaminhado às redes coletoras terciárias (coletores tronco), auxiliada por Poços de Visitas (PV's), permitindo mudanças de direção do caminhamento da rede, interligações e a manutenção da mesma no caso de eventuais desobstruções.

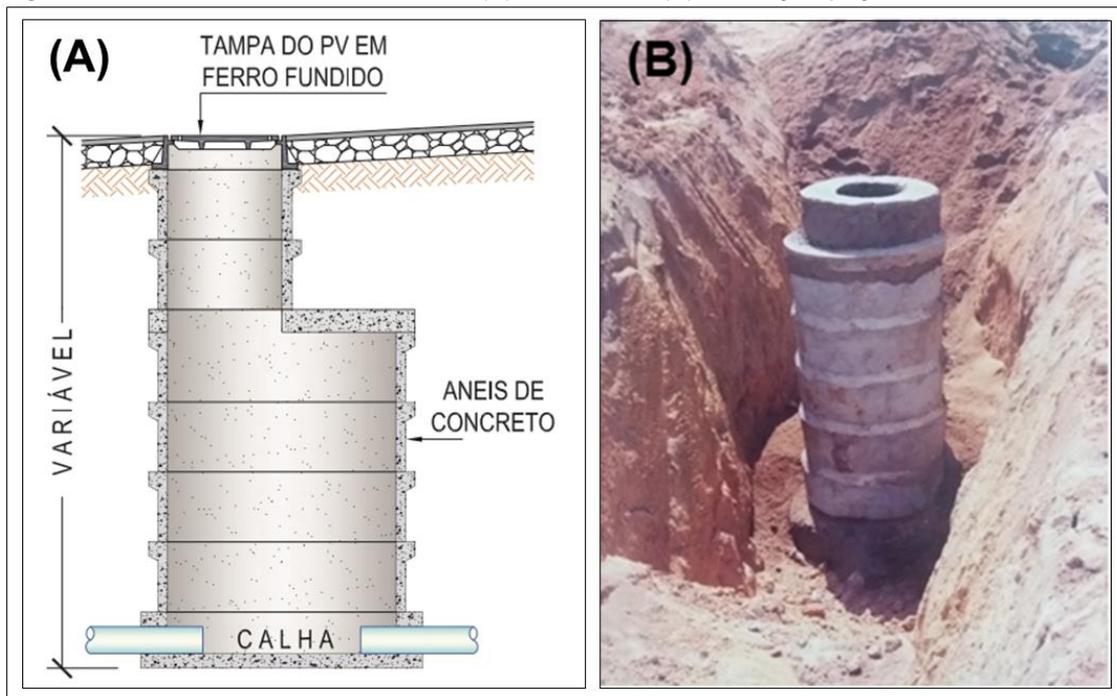
Figura 27 – Ligação domiciliar de esgoto sanitário.



Fonte: Adaptado de SAAE (2016).

De acordo com a CAERR (2017) essas estruturas estão dispostas no SES em alvenaria e em anéis pré-moldados de concreto (Figura 28) e devido ao fato da área de estudo ser caracterizada como plana, os mesmos possuem profundidades nominais que variam em média de 0,82m a 6,58 m, a fim de proporcionar a inclinação necessária para o escoamento por gravidade do efluente.

Figura 28 – PV's em anéis de concreto (A) Estrutura e (B) Execução poço visita da CAERR.



Fonte: Adaptado FUNASA (2015); Acervo técnico CAERR (1993).

Segundo a CAERR (2017) as tubulações que integram o sistema são constituídas de diversos materiais como PVC rígido (utilizado em grande parte das redes coletoras) e concreto armado (coletores troncos, linhas de recalque e emissário). Os diâmetros variam de acordo com os trechos e finalidade da tubulação, variando de 150 mm a 600 mm.

Neste seguimento, os efluentes recolhidos pelos coletores troncos são transportados até as Estações Elevatórias de Esgotos – EEE's, localizadas nos pontos geograficamente mais baixos das bacias coletoras, tendo como função, recalcar os esgotos oriundos de todas as residências conectadas ao sistema sanitário, impulsionando-o para outras EEE's ou à Estação de Tratamento de Esgotos – ETE existente.

Essas estações elevatórias geralmente são compostas por três unidades, a saber:

- a. Unidade de pré-tratamento - que consiste em um canal situado na entrada do poço de sucção (a montante) dotado de grades com a finalidade de reter materiais mais grosseiros como sacos plásticos e outros objetos flutuantes que podem comprometer o conjunto de bombas submersas; caixa de areia que retêm a maior parte dos sólidos sedimentáveis (areia e outros detritos); dispositivos de medição denominado medidor Parshall, utilizado para medir vazão em canais abertos e em alguns casos extravasor ou canal de desvio, para facilitar o extravasamento do esgoto em condições de eventuais paralisações dos conjuntos elevatórios (Figura 29).

Figura 29 – Unidade de pré-tratamento da EEE do Mirandinha: gradeamento e caixa de areia.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2016).

- b. Poço de sucção - que recebe as contribuições dos esgotos e mantém o líquido armazenado de forma adequada para que ocorra o bombeamento (Figura 30).

Figura 30 – Poço de sucção da EEE do Mirandinha.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2017).

- c. Casa de comando - cuja finalidade é abrigar os painéis de comando e elementos de montagem complementares (Figura 31).

Figura 31 – Casa de comando situada ao fundo (EEE Mirandinha), situada no bairro Canarinho.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2017).

Os sólidos retidos na caixa de areia são acondicionados em contêineres, (Figura 30) permanecendo nas imediações das elevatórias por um período de três dias para que o líquido em excesso evapore. Em seguida o material seco é encaminhado até o Aterro Sanitário de Boa Vista, localizado a margem esquerda da BR 174, sentido Manaus, onde é procedido o seu descarte final.

Cada EEE possui capacidade para receber e bombear entre 30 a 1.550 m³/h de efluente líquido em seu limite máximo, que pode ocorrer durante o período de chuvas. Em dias normais, operam com vazão em entre 30 a 700 m³/h, bombeadas por até três conjuntos de bombas de sucção submersas (dependendo das características das bombas, tais como capacidade, fabricante e o modelo).

Atualmente o SES da capital de Roraima possui 34 EEE's em operação, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Localização das Estações Elevatórias de Esgoto do SES de Boa Vista – RR.

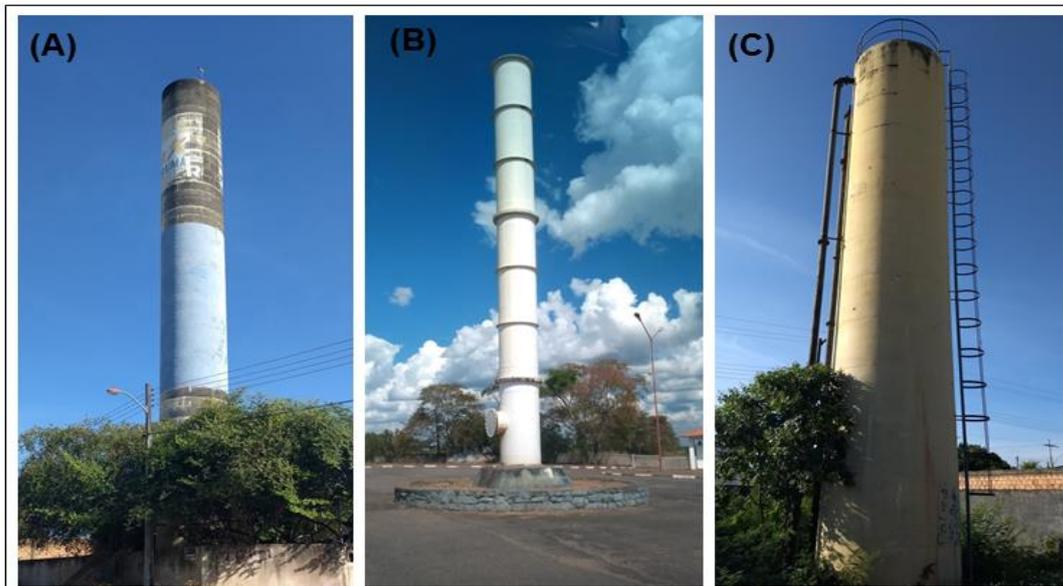
Nº.	NOME DA ELEVATÓRIA	ENDEREÇO
EEE-1	EEE São Pedro	Rua Bento Brasil, bairro São Pedro
EEE-2	EEE Mirandinha	Rua Casimiro de Abreu, bairro Canarinho
EEE-3	EEE Caçari	Av. Vile Roy, bairro Caçari
EEE-4	EEE River Park	Rua Darôra c/ Av. Olavo Brasil, bairro Paraviana
EEE-5	EEE Paraviana	Rua Augusto Luitgards Moura, Paraviana
EEE-6	EEE Parque Anauá	Av. Brig. Eduardo Gomes, bairro dos Estados
EEE-7	EEE São Francisco	Rua Agnelo Bitencourt, bairro São Francisco
EEE-8	EEE Calungá	Rua Castelo Branco, bairro Caetano Filho
EEE-9	EEE Caxangá	Rua Francisco Sampaio Thomás, bairro Calungá
EEE-10	EEE 13 de Setembro	Rua Madre Silvestre, bairro 13 de Setembro
EEE-11	EEE Portal do Sol	Rua Provérbio, bairro Cinturão Verde
EEE-12	EEE Brigadeiro	Rua José Renato Hadad, bairro São Bento
EEE-13	EEE Igarapé Grande	Lagoas de Estabilização, bairro Aracelis S. Maior
EEE-14	EEE N – 14	Rua N – 14, bairro Drº. Silvio Botelho
EEE-15	EEE Canaã	Rua Eufrates c/ Noemi - Canaã
EEE-16	EEE N – 06	Rua N 06, bairro Pintolândia
EEE-17	EEE N – 09 c/ S – 14	Av. S -14 c/ S – 02, bairro Pintolândia
EEE-18	EEE Senador Hélio Campos	Av. Abel Monteiro Reis, bairro Senador Hélio Campos
EEE-19	EEE S – 15	Rua Benjamim Pereira de Melo, bairro Senador Hélio Campos
EEE-20	EEE N – 09	Rua José Casimiro da Silva, Senador Hélio Campos

EEE-21	EEE C-56	Rua Julieta Pereira de Melo, bairro J. Equatorial
EEE-22	EEE Francisco Sales	Rua Francisco Sales Vieira, bairro Santa Luzia
EEE-23	EEE Santa Tereza	Rua das Acácias, bairro Santa Tereza
EEE-24	EEE Tancredo	Rua Francisco I. de Souza, bairro Tancredo Neves
EEE-25	EEE Caranã	Av. Hitler Lucena, bairro Caranã
EEE-26	EEE Cauamé	Rua Itália, bairro Cauamé
EEE-27	EEE Jardim Floresta	Rua Sócrates Peixoto, bairro Jardim Floresta
EEE-28	EEE Satélite I	Rua Josemar Batista, bairro Cidade Satélite
EEE-29	EEE Satélite II	Rua Órion, bairro Cidade Satélite
EEE-30	EEE Capela	Rua Capela, bairro Cidade Satélite III
EEE-31	EEE Sol	Av. Sol, bairro Cidade Satélite IV
EEE-32	EEE C – 46	Rua C – 46, bairro Alvorada
EEE-33	EEE Vila Jardim – Cidade Satélite	Conjunto habitacional Vila Jardim, bairro Cidade Satélite
EEE-34	EEE Libra	Rua Libra, bairro Cidade Satélite

Fonte: Relatório técnico CAERR (2017).

Na condução do esgoto das elevatórias até a ETE existe a presença de chaminés de equilíbrio (Figura 32), acessórios instalados para a proteção do sistema, no sentido de que as pressões transitórias não atinjam a pressão de vapor do fluido. Este dispositivo é o mais indicado tanto pelas características topográficas da adutora, como também pelo fato do sistema se destinar ao recalque de esgotos sanitários.

Figura 32 – Chaminés de equilíbrio situadas nos bairros (A) São Vicente (B) Canarinho (C) Jardim Primavera.



Fonte: Acervo da autora (2017).

Atualmente existem três dessas unidades situadas na Avenida Getúlio Vargas, bairro Canarinho, Avenida Bento Brasil com Avenida Tacutú, bairro São Vicente e Rua dos Tamanduás com Rua das Acácias, bairro Jardim Primavera

Ao sair das EEE's, o efluente líquido é direcionado por meio de tubulações denominadas linhas de recalques ou coletores troncos até a Estação de Tratamento de Esgoto situada no Bairro Aracelis, sob as coordenadas geográficas: 02°47'03.1" N e 60°42'43.7" W, que possui capacidade para tratar 100% do esgoto coletado no perímetro urbano de Boa Vista, e de acordo com os técnicos da CAERR, prevê o atendimento das projeções demográficas no decorrer de 20 anos, contados a partir de sua readequação.

Segundo consta nos registros da CAERR, no final da década de 1980, a empresa responsável pela concepção do estudo para a expansão do SES da cidade de Boa Vista, concluiu por meio de seu relatório de concepção que o tipo de tratamento de esgoto mais indicado seria o de lagoas de estabilização, face ao clima, disponibilidade de áreas, além do baixo custo operacional.

Posteriormente foram estudadas pela CAERR, três alternativas locais para implantação do sistema Lagoas de Estabilização, os quais eram:

- I. Na área da cidade, onde se localizavam instalações militares;
- II. Na área onde se encontra a ETE atualmente (na época denominada bairro Operário);
- III. Na área determinada pela Lei do Uso do solo (Zona Especial 3B), próximo ao distrito industrial.

A primeira alternativa exigiria permissão militar e a terceira foi descartada devido ao aumento de custos que se incorreria, em função do acréscimo de tubulações, prevalecendo à segunda opção (Figura 33).

Os estudos desenvolvidos por técnicos na época defendiam que diferentes lagoas com dimensões semelhantes e recebendo a mesma carga orgânica, teriam a qualidade de seus efluentes afetada não só pela variação do tempo de detenção hidráulica, como também pelos fatores ambientais, como temperatura, insolação e ventos. De modo que uma série de lagoas produziria um efluente final de melhor qualidade do que aquele produzido por uma única lagoa de área equivalente, aspecto esse importante na remoção de coliformes fecais e patógenos existentes nos esgotos.

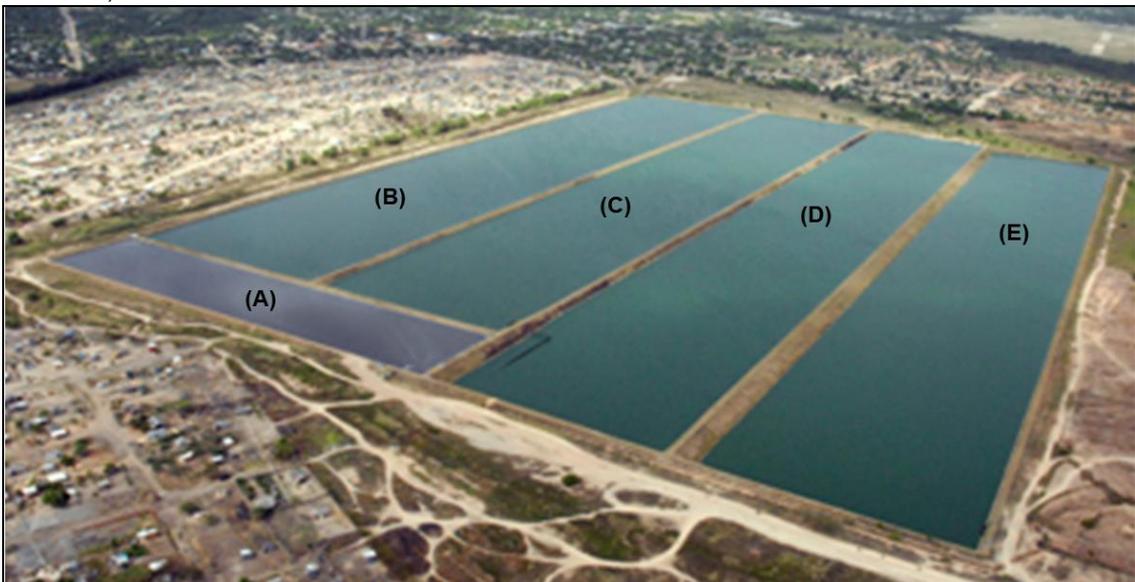
Figura 33 – Área selecionada para a instalação do sistema de lagoas de estabilização, próximo ao Igarapé Grande.



Fonte: Acervo técnico CAERR (1992).

Assim, no início da década de 1990, foi construído o sistema de lagoas de estabilização para tratamento das águas residuárias domésticas na referida cidade, composto por um conjunto de 05 (cinco) lagoas em série: Anaeróbia, Facultativa, Maturação Primária, Maturação Secundária e Maturação Terciária (Figura 34). Segundo os técnicos da CAERR, para a impermeabilização das lagoas foi utilizado material argiloso compactados em camadas de 20cm, a fim de evitar a percolação do efluente e comprometer a qualidade do lençol freático.

Figura 34 – Sistema de lagoas de estabilização composto por um conjunto de cinco lagoas em série: (A) Anaeróbia, (B) Facultativa, (C) Maturação Primária, (D) Maturação Secundária e (E) Maturação Terciária, antes da reforma.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2009).

Em 2009 a ETE teve sua estrutura modificada e aprofundada, objetivando entre outros aspectos, aumentar a permanência do esgoto em tratamento e quadruplicar a sua capacidade de tratamento, passando a tratar uma vazão de até 5.100 m³/h (DALL' AGNOL, 2014).

Conforme a CAERR (2017), atualmente são tratados mais de 1.000 m³/h de esgoto doméstico, havendo potencial para receber e tratar uma vazão maior, sem comprometer a qualidade final dos efluentes tratados lançados no rio Branco.

Após esse processo de reforma, todo o esgoto coletado nas sub-bacias chega até a EEE Igarapé Grande (Figura 35), situada a margem direita do igarapé Grande, dentro da área que abriga a ETE.

Figura 35 – Estação Elevatória de Esgoto Igarapé Grande, situada no bairro Aracelis S. Maior.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2016).

Ao sair da EEE Igarapé Grande, o efluente é encaminhado para uma unidade de pré-tratamento (Figura 36) onde é realizada a remoção dos sólidos mais grosseiros. Após a remoção dos mesmos, o efluente passa por uma calha Parshall, onde é medida a vazão, para então ser despejado nas lagoas. Esta etapa prepara o efluente para o tratamento futuro, evitando abrasões, obstruções em tubulações, danos aos equipamentos eletromecânicos e redução do volume útil das unidades a jusante. Os rejeitos coletados por meio de esteiras são dispostos em contêineres para serem transportados ao aterro sanitário.

Uma vez removidos os sólidos mais nocivos à operação do sistema, o esgoto prossegue até o conjunto de lagoas de estabilização que, segundo técnicos da CAERR, promove um tratamento à base de micro-organismos presentes no

ambiente (bactérias aeróbias, anaeróbias e microalgas), onde a matéria orgânica é estabilizada através de processos de mineralização, com retirada de Demanda Biológica de Oxigênio – DBO, Fósforos, Nitrogênios orgânicos, Ferro, Amônia e patógenos, utilizando a disponibilidade de espaço associado a excelente luminosidade da região.

Figura 36 – Unidade de pré-tratamento que antecede o tratamento nas lagoas de estabilização.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2016).

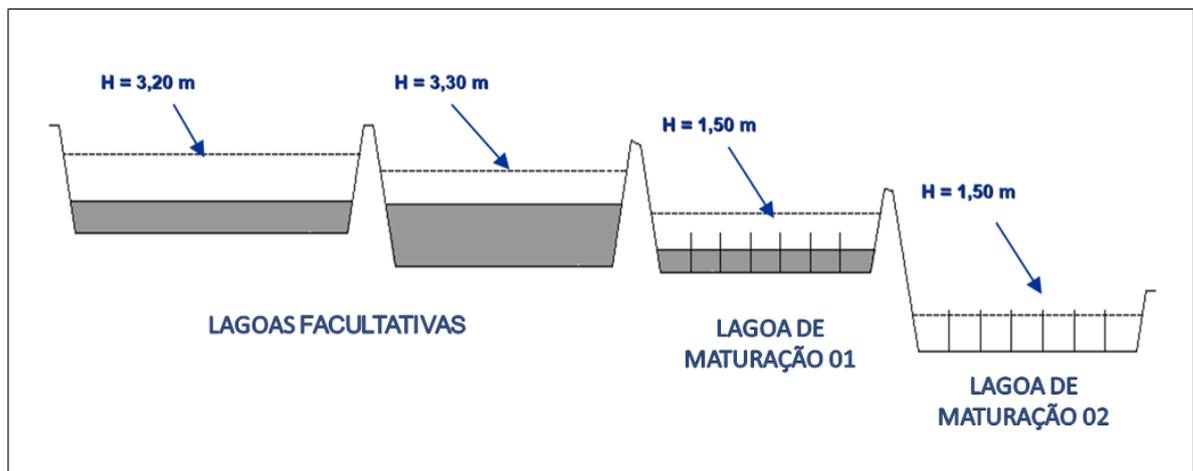
Para tanto, o esgoto doméstico passa pelas seguintes etapas:

- I. Lagoas Facultativas - sistema composto inicialmente por duas lagoas facultativas em paralelo, (que se encontram atualmente unificadas) cuja finalidade é a remoção de matéria carbonácea por meio da estabilização aeróbia na zona fótica, (onde a penetração da luz é efetiva) e fermentação anaeróbia na camada inferior, onde uma grande parte da biomassa e dos sólidos em suspensão do esgoto bruto tende a sedimentar e constituir a camada de lodo no fundo, a ser decomposta anaerobiamente;
- II. Lagoas de Maturação - sistema composto por duas lagoas de maturação em série, cada qual contendo cinco chicanas ao longo de seu comprimento, com altura ao nível dos taludes para condução do efluente desde sua entrada até a saída do tratamento. Estes dispositivos consistem em placas de concreto

que aumentam o tempo de retenção hidráulica, (27 dias em média) tornando assim o processo de estabilização mais eficiente, melhorando desta forma a eficácia na redução de DBO, DQO, P, Fe e outros.

Conforme relato dos técnicos da CAERR (2017), o projeto de reforma da ETE contemplou a inclusão de aeradores para auxiliarem no tratamento do efluente, porém os mesmos apesar de terem sido instalados, não estão em operação, sob a justificativa de que o funcionamento desses equipamentos oneraria a operação do sistema, visto que seria necessário o uso de energia elétrica para movimentar essas estruturas, contrariando um dos princípios desse tipo de tratamento, que é operação a baixo custo. Segundo a concessionária, atualmente as lagoas possuem as profundidades descritas na Figura 37.

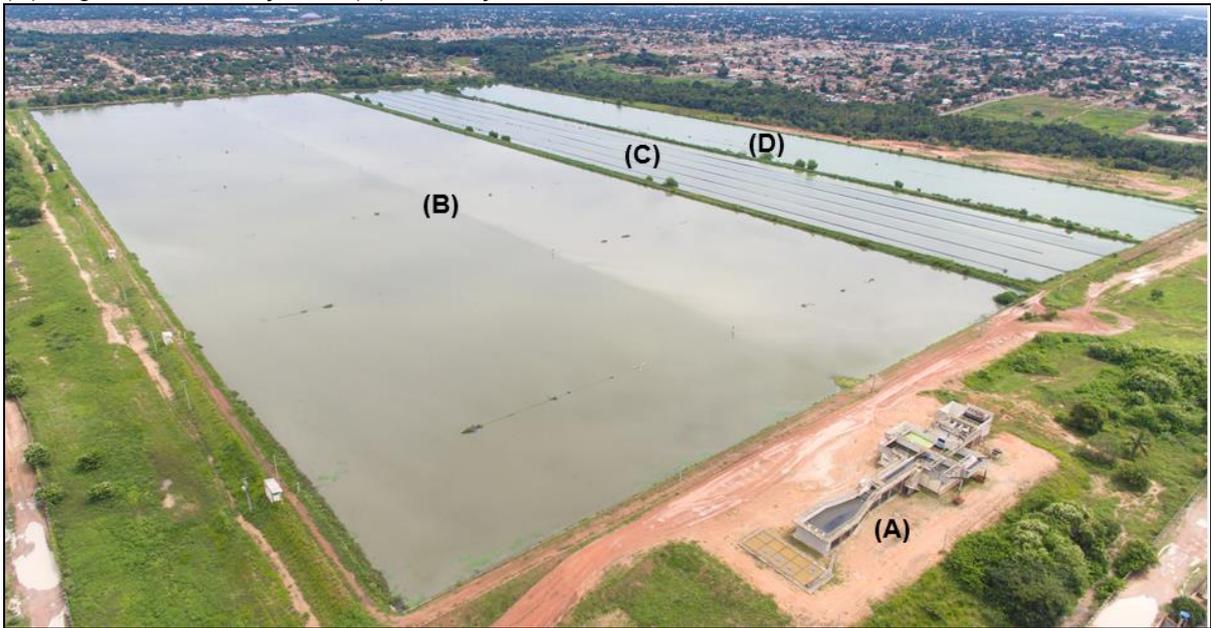
Figura 37 – Sistema de lagoas de estabilização com suas respectivas profundidades.



Fonte: CAERR (2018).

Apesar disso, os técnicos da concessionária afirmam que os efluentes nas lagoas em série (Figura 38), passam pelo processo de remoção de DBO (quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica no meio aquático por processos biológicos, expresso em miligramas por litro) e coliformes em torno de 95% e demais estabilização da matéria orgânica, em torno de 99%.

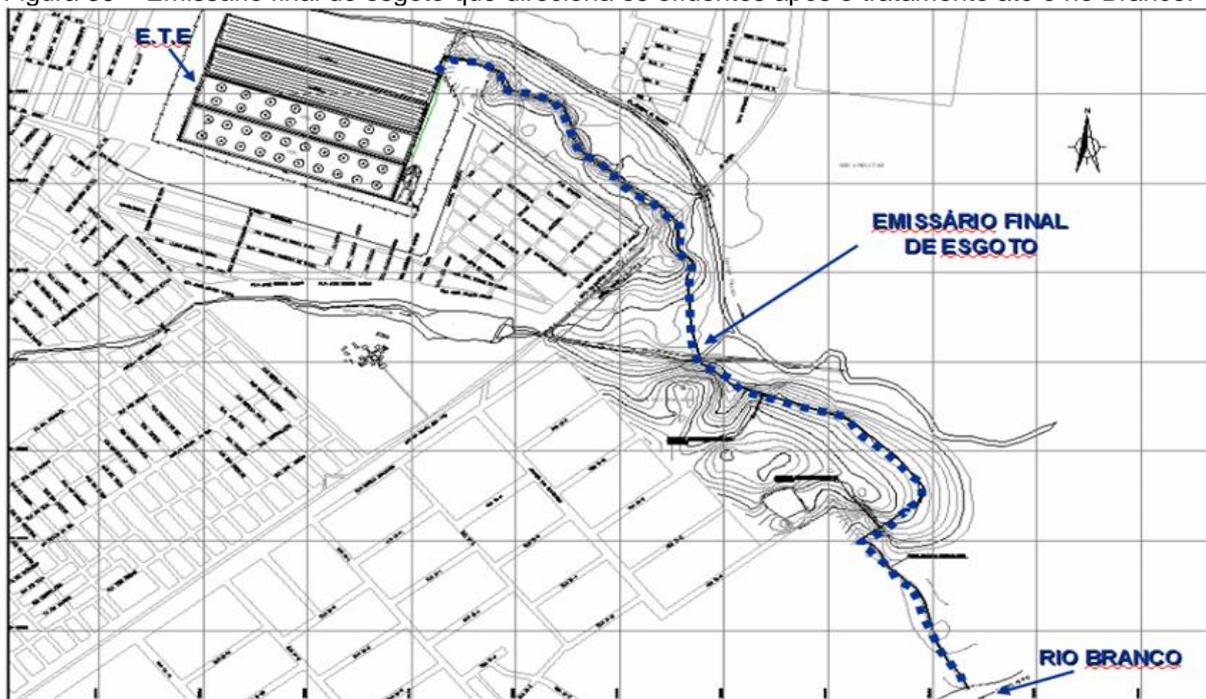
Figura 38 – Sistema de lagoas de estabilização (A) Unidade de pré-tratamento (B) Lagoa facultativa (C) Lagoas de maturação I e (D) maturação II, localizada no bairro Aracelis Souto Maior.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2016).

Após a estabilização do esgoto doméstico, o efluente tratado é direcionado através de uma tubulação denominada emissário até o corpo receptor que neste caso é o rio Branco, situado à jusante do Distrito Industrial, sob as coordenadas geográficas: 02°45'43.3" N e 60°41'31.2" W (Figura 39).

Figura 39 – Emissário final de esgoto que direciona os efluentes após o tratamento até o rio Branco.



Fonte: Acervo técnico CAERR (2016).

De acordo com a Resolução CONAMA nº. 237/1997, o sistema de esgotamento sanitário, classificado como um serviço de utilidade possui componentes (interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgoto sanitário) sujeitos a licenciamento ambiental, conceituado pela referida resolução como “procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais [...]” (BRASIL, 1997, p. 644).

Segundo Sánchez (2008), cabe ao órgão licenciador a definição dos estudos técnicos necessários ao licenciamento, sendo o Estudo de Impacto ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) exigido nos casos em que o empreendimento ou atividade tenha o potencial de causar expressiva degradação. Neste sentido, foram criados por meio de instrumentos legais (federais, estaduais e municipais), diferentes tipos de estudos ambientais como plano e relatório de controle ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada, entre outros.

Atualmente a CAERR possui uma licença de operação concedida pelo órgão ambiental mediante apresentação de um Plano de Controle Ambiental (PCA) onde descreve as atividades realizadas, seus impactos ambientais (positivos e negativos) e para o caso de impactos negativos sobre o meio ambiente, existe um plano de contingência onde são apresentadas propostas de ações corretivas, preventivas e/ou mitigadoras em instalações e equipamentos com riscos e possibilidades de ocorrências, eventuais extravasamentos de esgotos domésticos em Poços de Visitas (PV's), vias públicas e Estações Elevatórias de Esgotos (EEE), para que se possa minimizá-los e/ou eliminá-los.

Assim, o plano de contingência prevê para o caso de eventuais extravasamentos em estações elevatórias de esgoto e poços de visitas, por algum motivo, como rompimento de rede adutora de esgoto em via pública, falha em equipamento de sucção, pane elétrica no sistema, ação de vândalos, lixo acumulado em PV's, o envio de equipes especializadas em desobstrução e limpeza (Figura 40), eletricidade industrial e mecânico de bombas de sucção, para que detectem o problema e o resolvam o mais rápido possível, evitando, assim, maiores danos ao meio ambiente.

Figura 40 – Procedimento para desobstrução de PV em via pública (A) Análise do local pela equipe de campo (B) retirada de equipamentos (C) Introdução de equipamento no PV.



Fonte: Acervo Técnico CAERR (2016).

Caso haja ruptura de alguma tubulação, o referido plano de contingência prevê a realização de manobras na rede adutora da cidade a fim de interromper o fluxo de efluente no ponto de ruptura, com o desligamento da EEE correspondente ao trecho. Os órgãos ambientais são comunicados sobre o ocorrido, como o incidente será sanado e o tempo de trabalho.

Segundo a CAERR, o monitoramento do efluente é realizado periodicamente (semanalmente na ETE e quinzenalmente nos corpos receptores) conforme as condicionantes definidas na Licença de Operação (L.O.) do empreendimento. Neste segmento, a Concessionária possui em sua sede um laboratório de esgoto com equipamentos específicos, através dos quais monitora a ETE e o corpo receptor onde o efluente tratado é lançado.

Paralelamente a essas ações, a CAERR possui programas socioambientais que visam instruir a população sobre o processo de tratamento da água, a correta utilização dos dispositivos que compõe o SES e a conservação dos principais cursos d'água dos quais a mesma capta água para o tratamento e distribuição à população.

7 A VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA FRENTE À EXPANSÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

De acordo com os resultados obtidos no capítulo 5, que qualifica o SABV como vulnerável a contaminação e o capítulo 6, que descreve a evolução, estrutura e operação do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano de Boa Vista / RR, foi possível estabelecer algumas relações a partir da sobreposição das informações alcançadas.

Neste seguimento, constatou-se que o município de Boa Vista está edificado sobre o Sistema Aquífero Boa Vista, que em todo o perímetro urbano apresenta índices de vulnerabilidade natural a contaminação que variam de médio a alto em função de suas características litológicas intrínsecas às formações Boa Vista, Areias Brancas e Apoteri, apresentando um lençol freático raso que se estende a toda a área de estudo, caracterizada por ser muito plana, inerente ao domínio estrutural Rio Branco – Rio Negro.

Tais peculiaridades fisiográficas interferiram não somente na concepção do sistema de esgotamento sanitário, mas de toda cidade, uma vez que a área onde a capital de Roraima teve sua origem (atual bairro Centro) coincide com uma das regiões apontadas com os menores índices de vulnerabilidade natural, o que para Avila (2007), está relacionado com o fato das autoridades da época já terem vislumbrado este espaço com as características mais propícias e estratégicas para a sede da fazenda Boa Vista, que deu origem à cidade de mesmo nome.

Através do histórico de expansão do SES, observou-se que a área embrionária, foi a primeira porção da cidade a ser contemplada pelos serviços de esgotamento sanitário, sugerindo que nestes bairros (Centro e São Pedro) a probabilidade de haver contaminação por efluente doméstico é menor, tanto por suas características físicas (menos vulnerável em relação a outros locais), quanto pelo fato de estarem servidos pelo sistema público de esgoto sanitário a mais tempo.

Outro ponto que chamou a atenção foi a concentração de áreas com alta vulnerabilidade na zona oeste da cidade (porções noroeste e sudoeste), onde ficou evidente duas situações que podem impactar negativamente a qualidade dessas águas subterrâneas.

A primeira delas consiste na aglomeração de bairros que se estabeleceram nessa zona a partir das décadas de 1980, 1990 e início do século XXI, marcadas por

ocupações irregulares conhecidas como “invasões” que, sem obedecer aos parâmetros urbanísticos e ambientais impostos pelo plano diretor e legislações ambientais vigentes, se estabeleceram próximo aos inúmeros igarapés e lagos que permeiam a cidade, sob precárias condições sanitárias, representadas em sua maioria por fossas sépticas e fossas “negras” (VERAS, 2009).

A segunda situação está relacionada à cobertura dos serviços de esgotamento sanitário nessa porção da cidade, que não ocorreu concomitantemente à criação dos bairros, de modo que, houve um longo período desde o estabelecimento de alguns bairros até os mesmos serem servidos pelo referido serviço de saneamento, ressaltando-se que muitos ainda estão recebendo a estrutura física para posterior operação do sistema.

Esse cenário acaba por trazer implicações tanto no aspecto ambiental, quanto no sanitário, visto que a degradação dos lagos e igarapés que drenam essas áreas, se refletem na qualidade das águas que compõem o aquífero, uma vez que os mananciais superficiais e subterrâneos se interligam de diversas formas, de modo que as águas superficiais podem tornar-se subterrânea através de infiltrações, percolações provenientes dos rios, lagos e igarapés ou ainda por recarga artificial; e as águas subterrâneas podem tornar-se superficial por meio de descargas de bases de rios, escoamento em fontes e drenagem agrícola (CABRAL, 1997).

Assim, a ocupação dos leitos desses corpos hídricos acaba por gerar e lançar uma carga excessiva de nutrientes nos lagos e igarapés que se interagem com o lençol freático, que se mostrou muito superficial na região estudada. Paralelo a essa condição, existe a grande quantidade de fossas sépticas e até fossas “negras” (escavação no solo que recebem as excretas humanas, sem nenhum tratamento) reunidas em uma área ambientalmente frágil.

Nesse contexto, merece destaque o distrito industrial Governador Aquilino Mota Duarte, onde está inserido o polo industrial de Boa Vista, abrigando diversas empresas que para desempenhar suas atividades utilizam poços tubulares particulares, já que segundo a CAERR, o mesmo não é abastecido pelo sistema público de distribuição de água tratada.

Conforme os resultados demonstrados nessa pesquisa, esta região também não é contemplada pela coleta e tratamento de esgoto sanitário, aspectos estes que merecem atenção redobrada, pois além do risco a contaminação pelos efluentes (domésticos e industriais), existe a possibilidade de superexploração dos poços

perfurados, situação já observada na área do Distrito Industrial da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, que devido à grande quantidade de poços perfurados, registrou nos últimos 30 anos um expressivo rebaixamento dos níveis da água, obrigando os perfuradores a explorarem cada vez mais fundo o aquífero existente (MONTEIRO, 2010).

No que se refere às áreas classificadas com vulnerabilidade média, somente os bairros Laura Moreira (previsto para ter suas obras iniciadas na sexta etapa), Jóquei Clube e parte do Centenário (em fase de implantação da estrutura física de coleta de esgotos) ainda não têm seus esgotos recolhidos pelo sistema público, prevalecendo o uso de fossas sépticas. As demais áreas com este índice de vulnerabilidade já contemplam esse serviço.

Tendo em vista que todo o município de Boa Vista é beneficiado pelas águas subterrâneas provenientes do Sistema Aquífero Boa Vista, diagnosticado como vulnerável naturalmente, fica evidente a importância de serviços de utilidade pública que visem a proteção desse recurso natural, e que possam contribuir para um ambiente salubre, através do afastando de vetores que possa vir a transmitir doenças à população, gerados a partir dos rejeitos e efluentes provenientes das atividades humanas.

Nesse aspecto, o esgoto doméstico é classificado como um resíduo líquido capaz de gerar poluição, termo este utilizado por Manoel Filho (1997) para designar uma alteração artificial da qualidade físico-química de um corpo hídrico, por exemplo, suficiente para exceder os limites ou padrões para um determinado fim, de modo que, esse mesmo corpo hídrico pode ser considerado poluído para uma finalidade e não para outra. Diferentemente de um aquífero contaminado, que pode conter organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou radioativas, em níveis prejudiciais à saúde do homem.

Esse efluente líquido, como também pode ser denominado o esgoto, resulta de diversos fatores como o crescimento urbano e o desenvolvimento tecnológico, que trazem consigo o aumento no consumo de água e o acréscimo constante do volume de águas residuárias, sendo de suma importância às devidas precauções para o seu correto afastamento, tratamento e disposição final, a fim de evitar, ou minimizar, os efeitos deletérios sobre a saúde, o ambiente, o desenvolvimento econômico e social de uma localidade (FUNASA, 2015).

A correta destinação final desses efluentes se deve à sua composição química e biológica, que em média apresenta 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que aproximadamente 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em decomposição, nos quais proliferam microrganismos, muito deles patogênicos. Deste modo, quando o esgoto sanitário em estado bruto entra em contato com corpos d'água (superficiais ou subterrâneos), dependendo da relação entre as vazões do esgoto lançado e do corpo receptor, pode gerar sérios prejuízos à qualidade desse corpo hídrico (NUVOLARI, 2011).

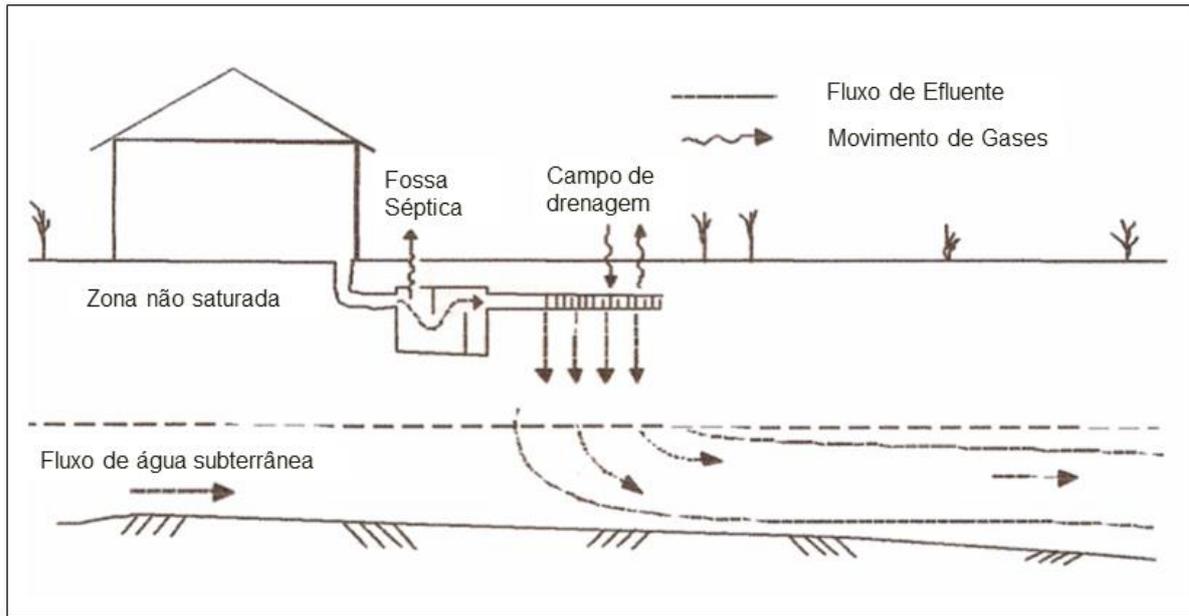
Nos seres humanos a contaminação por esgoto doméstico pode ser causada por bactérias (com destaque as bactérias coliformes fecais ou coliformes termotolerantes, indicadores de contaminação), vírus (representados pelos vírus entéricos, causadores de gastroenterites e diarreias) ou parasitas intestinais como protozoários (representados por cistos que além de se reproduzirem no trato intestinal dos hospedeiros, apresentam sobrevivência moderada no ambiente) e helmintos (microrganismos altamente especializados para viver como parasitas humanos, se apresentando sob as formas de ovos e larvas), sendo sua diversidade e quantidade determinadas em função da saúde da população contribuinte (BASTOS; BEVILACQUA; KELLER, 2003).

Neste contexto, Nascimento Filho e Castro (2005) destacam que os sistemas mais usuais para a disposição final do esgoto doméstico nas áreas urbanas são o individual, representado por fossas sépticas e o público, caracterizado pelas tubulações da rede pública até uma estação de tratamento e disposição final adequada.

Contudo, os autores apontam que as formas individuais, apesar oferecerem níveis adequados de serviço para a disposição de excretas, estes são indicados para pequenas comunidades, visto que em grandes áreas urbanas, sob certas condições hidrogeológicas, várias fossas sépticas oferecem um risco de migração direta de bactérias, vírus e nutrientes para os sistemas aquíferos (Figura 41).

Devido aos riscos relacionados às altas concentrações de nitrato associadas à falta de sistema de esgotamento sanitário, ou a má operação e conservação das estruturas existentes, a Resolução nº. 396/2008 do CONAMA, prevê que a máxima concentração permitida de nitrato para consumo humano em águas subterrâneas é de 10 mg / L (BRASIL, 2008).

Figura 41 – Seção transversal esquemática de uma fossa séptica.



Adaptado de CABRAL; LIMA (2005).

Visando estabelecer a relação entre águas subterrâneas e ausência de serviços públicos de esgoto, Costa et al. (2012) coletaram 230 amostras de poços amazonas e tubulares profundos provenientes das cinco macrorregiões do Estado do Ceará. Os resultados revelaram que 40% das amostras apresentaram níveis de coliformes totais e 12,2% de *E. coli*. Além de matéria orgânica em cerca de 10% das amostras, chegando-se a conclusão de que a qualidade microbiológica da água subterrânea das áreas estudadas estava diretamente relacionada ao índice de esgotamento sanitário, pois as regiões que tinham o menor índice de esgotamento apresentaram as maiores taxas de contaminação.

Brum et al. (2016) por sua vez, fizeram um comparativo entre a qualidade das águas de dezessete poços rasos e o destino do esgoto doméstico, em sua maioria realizado por meio de fossas rudimentares, situadas no bairro Pedra Noventa, região sudeste do município de Cuiabá/MT.

Após encontrarem evidências de contaminação por *Escherichia coli* e outras bactérias heterotróficas nas águas dos referidos poços (utilizados pela população local para o consumo e higiene pessoal), constataram que as mesmas estavam impróprias para consumo humano, tendo como principal causa para sua contaminação, a precária destinação final do esgoto doméstico produzido na região, causando sérios riscos à saúde daquela população.

Diante dos estudos apresentados, é inquestionável que a ausência de serviços de coleta pública e tratamento de esgotos, ou mesmos a existência de sistemas individuais como fossas sépticas, contribuem para a contaminação das águas subterrâneas. Porém as más condições de operação e estruturas físicas que compõem os sistemas de esgotamento sanitário, assim como a construção e operação de poços e sua posterior desativação de forma incorreta também se constituem em meios de contaminação dos sistemas aquíferos.

Neste sentido, Sradioto et al. (2011) constataram duas situações ao examinarem as amostras de águas de poços do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Sistema Aquífero Bauru (SAB), ambos situados na área urbana do município de Bauru, porção central do Estado de São Paulo.

A primeira delas foi verificada a partir do diagnóstico de 28 amostras colhidas de poços de água do SAG, responsável por 58% do abastecimento público da cidade. E a segunda situação averiguada a partir de 19 amostras do SAB, que possui apenas um poço destinado ao abastecimento público. Em ambos os casos, foi constatado valores substanciais de nitratos, sendo a primeira ocorrência relacionada aos aspectos construtivos dos poços e o segundo evento, relacionado a indícios de vazamentos em tubulações antigas de esgoto e de fossas sépticas.

Quanto à identificação de teores de nitrato relacionados a fossas sépticas, foram encontrados pela CPRM (2002), valores elevados de condutividade elétrica (teor de sais dissolvidos) e nitrato (com valores acima de 2 mg/L) na área mais povoada do espaço urbano de Boa Vista/RR, todavia, o último parâmetro analisado não excedeu ao estabelecido pela legislação vigente (10 mg / L) no período analisado.

Neste aspecto, praticamente toda a estrutura física que compõe o SES está posicionada no subsolo, de modo que rupturas, extravasamentos e vazamentos em redes coletoras, poços de visitas, estações elevatórias e ETE podem comprometer seriamente a qualidade das águas do SABV, que desde a implantação dos primeiros dispositivos, evidencia o lençol freático superficial, observado através do sistema de bombeamento utilizado em diferentes estágios das obras para drenar as valas escavadas, Figuras 42 (a) e (b) e a lamina d'água aparente na Figura 42 (c).

Figura 42 – (a) Controle topográfico na implantação do coletor-tronco Caxangá (b) Execução de PV em alvenaria (c) Escavação no solo para implantação da estação elevatória de esgoto Caxangá.



Fonte: Acervo Técnico CAERR (1990).

Diante deste panorama, a ampliação do sistema de esgotamento sanitário no perímetro urbano do município de Boa Vista, se mostra um fator positivo frente às características da rocha reservatório do SABV, contribuindo não só para a preservação dos recursos hídricos, como também para a saúde pública nessa área. Entretanto, é necessário o acompanhamento constante de todo o SES, sobretudo na zona oeste da cidade, onde se apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos sistemas aquíferos a partir de suas características litológicas e hidrogeológicas são primordiais para a realização de diagnósticos do meio físico, sobretudo em áreas urbanas, onde estão situadas inúmeras fontes potenciais de poluição.

Assim, os métodos utilizados para identificar a vulnerabilidade dos aquíferos se constituem em ferramentas eficazes na gestão desses recursos hídricos. Neste aspecto, foram examinados três planos de informação: a condição de ocorrência da água subterrânea, a ocorrência de estratos de cobertura e a distância do nível da água em relação à superfície, segundo os parâmetros instituídos através do método GOD.

O grau de ocorrência da água subterrânea foi identificado como não confinando, referente ao aquífero livre; a ocorrência de estratos de cobertura manteve-se no intervalo correspondente às camadas representada em sua maioria por areias, argilas e siltes; a distância do lençol freático em relação à superfície terrestre apresentou níveis variando entre 1,20 a 13 metros de profundidade.

A integração dos parâmetros GOD, resultou em um modelo de vulnerabilidade natural à contaminação com duas categorias: média vulnerabilidade, correspondendo a 32% dos poços pesquisados e alta vulnerabilidade, representando 68% dos demais poços, demonstrando a eficiência da metodologia aplicada, que de uma forma preliminar, gerou um diagnóstico da área estudada a partir de dados elementares concernentes aos aspectos físicos da área estudada.

Esse diagnóstico possibilitou uma análise espacial da área de estudo, através da elaboração de um mapa de vulnerabilidade do SABV, o qual identificou o perímetro urbano de Boa Vista – RR com vulnerabilidade natural a contaminação, de modo que as áreas menos vulneráveis estão distribuídas na porção que deu origem à cidade, onde está situado o bairro Centro e no extremo leste e noroeste do perímetro urbano. Já as áreas mais vulneráveis estão concentradas nas porções noroeste e sudoeste, e de forma menos expressiva nas porções nordeste e sudeste.

O sistema público de esgotamento sanitário na área de estudo foi implantado no final da década de 1970, na área que corresponde ao bairro Centro, se expandindo de forma gradual em direção à zona oeste da cidade, atendendo

atualmente 64% da área urbana da capital, conferindo ao Estado de Roraima uma posição de destaque no cenário nacional nesse quesito.

O sistema utilizado é do tipo separador absoluto, projetado para coletar somente o esgoto doméstico gerado, no qual não estão inclusos os efluentes industriais e as águas pluviais. Sua estrutura é composta atualmente por aproximadamente oitocentos metros de redes que coletam os esgotos gerados nos domicílios, os encaminhando até a estação de tratamento de esgoto através de trinta e quatro estações elevatórias posicionadas nas sub-bacias. Depois de tratado, são encaminhados ao rio Branco.

Ao fazer a sobreposição dos resultados obtidos durante a pesquisa, averiguou-se que a primeira porção da cidade a ser atendida pelos serviços de esgotamento sanitário foi a região que deu origem ao município de Boa Vista, situada no bairro Centro, que juntamente com os bairros São Pedro, Paraviana, Cauamé e parte do bairro Cidade Satélite, apresentaram vulnerabilidade média.

A exceção foi o bairro Jóquei Clube e parte do Centenário, que também apresentaram o mesmo índice, porém a estrutura física nesses bairros ainda está em fase de execução. Esse panorama demonstra que as áreas menos vulneráveis da cidade já possuem ou estão em fase de implantação do sistema de esgoto.

Por outro lado, as áreas qualificadas com alta vulnerabilidade se concentram na zona oeste da cidade (porções noroeste e sudoeste), evidenciando que a maioria dos bairros edificados nesta zona ainda está recebendo a infraestrutura necessária para a operação do SES, requerendo um monitoramento constante.

Observou-se nessa faixa de vulnerabilidade a ocorrência de bairros que possuem peculiaridades, como é o caso do Distrito Industrial, que além da vulnerabilidade inerente aos aspectos físicos, reúne uma grande quantidade de poços perfurados por empresários que exploram as águas subterrâneas deste local para realizarem suas atividades, correndo o risco de rebaixar consideravelmente o nível do lençol freático ao longo do tempo, fato esse agravado pela falta de serviços de coleta e tratamento dos efluentes ali produzidos.

Esses dados refletem que a área onde o SABV se encontra mais vulnerável, coincide com os locais que ainda estão sendo equipados com o sistema público de coleta e tratamento dos efluentes, predominando o uso de fossas sépticas e/ou “negras”, que por estarem localizadas em áreas ambientalmente frágeis (não só pelo nível do lençol freático, que registrou uma profundidade mínima de 1,20 metros de

profundidade, mas também por serem estas áreas drenadas por lagos e igarapés), podendo comprometer a qualidade deste sistema aquífero.

Contudo, de uma forma geral, observa-se que a expansão do sistema de esgotamento sanitário na área estudada se mostrou um fator positivo frente à vulnerabilidade das águas subterrâneas, uma vez que eliminará as formas mais rudimentares de disposição dos efluentes gerados pela população, considerando para tal, o correto funcionamento de toda a estrutura pública de afastamento e tratamento do esgoto doméstico de acordo com os padrões técnicos e sanitários.

O mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação no perímetro urbano do município de Boa Vista-RR se mostrou uma ferramenta importante para a adequada gestão dos recursos hídricos subterrâneos, destacando-se a necessidade de trabalhos que detalhem e monitorem a qualidade do SABV, visando à quantificação da interação entre as águas subterrâneas e as fontes potenciais de contaminação nesta unidade, já que parte do abastecimento urbano e industrial no município é feito por meio de poços tubulares perfurados pela comunidade, concessionária estadual de água e empresários.

Também é importante destacar a necessidade de atualização dos dados e dos poços cadastrados junto ao SIAGAS (CPRM), já que os mesmos se constituem em valiosas fontes de informações sobre os aspectos hidrogeológicos da região.

No que se refere ao sistema de esgotamento sanitário, recomenda-se estudos que examine a eficiência do sistema como um todo, uma vez que essas estruturas são projetadas para coletar, conduzir e tratar adequadamente os efluentes domésticos e conseqüentemente manter a qualidade de vida nas áreas urbanas, porém se o mesmo não possuir os equipamentos necessários e operar de maneira correta, pode acarretar sérios prejuízos ao meio ambiente, sobretudo aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.M.; MATTA, M.A.S.; DIAS, E.R.F.; SILVA, D.P.B.; FIGUEIREDO, A.B. Qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras na bacia hidrográfica do Tucunduba – Belém/PA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA. 2007. 124p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ARAUJO, R. As unidades do sistema. In: NUVOLARI, A. (coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

ASCOM / CAERR – Companhia de Águas e Esgotos de Roraima. **Obras de esgotamento sanitário ocorrem simultaneamente em 16 pontos da cidade**. Disponível em: < <http://www.caer.com.br/noticia.jsp?id=847>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

AVILA, I.C. de S. e S. **Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista-RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Roraima-UFRR, Boa Vista, 2007.

AYACH, L. R. et al. **Saúde, saneamento e percepção de riscos ambientais urbanos**. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/viewFile/3021/3865>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. **Rios e cidades: uma longa e sinuosa história.** Disponível em: < <https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/05-rios-e-cidades-marcio-baptista-adriana-cardoso.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2016.

BARBOSA, R. I., FERREIRA, E. J. G & Castellón. **Distribuição das chuvas em Roraima.** Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. INPA, p. 325-335, 1997.

BASTOS, R. K. X; BEVILACQUA, P. D.; KELLER, R. Organismos patogênicos e efeitos sobre a saúde humana. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003. 438p.

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia do Estado de Roraima por Imagens de Sensores Remotos. In: SILVA, P. R. F. e OLIVEIRA, R. S. (org.). **Roraima 20 Anos: As Geografias de um Novo Estado.** Ed. UFRR. Boa Vista, p. 168-192. 2008.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: Guerra, A. J. T. (org.) **Geomorfologia urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 277 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 396, de 3 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 01 jan. 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 01 jun. 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997.** Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Disponível em: <

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>.>. Acesso em: 03 jan. 2018.

BRASIL. **Projeto Radambrasil: Levantamento dos Recursos Naturais. Folha NA 20 Boa Vista e parte das Folhas NA 21 Tumucumaque, NB 20 Roraima e NB 21.** IBGE, Rio de Janeiro, 1975. 2003. CD-ROM.

BRUM, B. R. et al. Qualidade das águas de poços rasos em área com déficit de saneamento básico em Cuiabá, MT: avaliação microbiológica, físico-química e fatores de risco à saúde. **Holos**, v. 2., ano 32, p. 179-188, jan. – fev. de 2016.

CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento dos indicadores de contaminação por efluentes domésticos nas águas do aquífero barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém–PA. **Águas Subterrâneas**, Belém, v. 19, n. 2, p.1-19, 2005.

CABRAL, C. Movimento das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p.

CAERR – Companhia de Águas e Esgotos de Roraima. **Estação de Tratamento de Esgoto – ETE**. Disponível em: < <http://www.caer.com.br/static/ete.jsp>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

CECH, T. F. **Recursos Hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 428p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo – 2001 – 2003. CETESB, 2004a. 106 p.

CHAMBEL, A. **Águas subterrâneas em ambientes urbanos: problemática, riscos e soluções** (2013). Disponível <<http://www.reaplp.uevora.pt/content/download/268/1161/file/Ant%C3%B3nio%20Chambel.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2018.

CRESPO, P. G. **Elevatória nos sistemas de esgoto**. UFMG. Belo Horizonte. 290p., 2001.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução a geografia física. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 728p.

COSTA, C. L. et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Semina**: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 33, n. 2, p. 171-180, jul.- dez. 2012.

COSTA, J. A. V.; FALCÃO, M. T. Compartimentação morfotectônica e implicações de evolução do relevo do hemigráben do tacutu no estado de Roraima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V.12, n.1, p.85-94, jan. – jun. 2011.

COSTA, A.B.; LOBO, E.A.; KIRST, A.; SOARES, J.; GOETTEMS, C.H. Estudo comparativo da concentração de flúor, pH e condutividade elétrica da água subterrânea dos municípios de Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires e Vera Cruz, RS, Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (inteiras), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21VC (parciais)**. Escala 1:500.000. Estado do Amazonas. Brasília:CPRM, CD-ROM. 1999.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Zoneamento Ecológico Econômico da Região Central do Estado de Roraima**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. 2002.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**: relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E.G. **Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH**. Geociências, UNESP, São Paulo. v.39, p. 401-411, 2010a.

DALL'AGNOL, C. Esgotamento sanitário de Boa Vista tem capacidade de atendimento quadruplicada. **Revista Sanear**. Ano VI, nº. 23, p. 45, jan. 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento semidetalhado dos solos e aptidão agrícola das terras do**

campo experimental Água Boa do CPAFRR, estado de Roraima. Rio de Janeiro, Comitê de Publicações do SNLCS, 1990a. (Boletim de Pesquisa).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento semidetalhado dos solos e aptidão agrícola das terras do campo experimental Monte Cristo do CPAF-RR, estado de Roraima.** Rio de Janeiro, Comitê de Publicações do SNLCS, 1990b. (Boletim de Pesquisa).

EVANGELISTA, R. A. de O; WANKLER, F. L. **O problema da escassez de informações para a gestão das águas subterrâneas no extremo norte do Brasil: o caso do Sistema Aquífero Boa Vista em Roraima** (2008). Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23796/15861>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

FALCÃO, M. T; BURG, I. P.; COSTA, J. A. V. **Expansão urbana de Boa Vista / RR e os reflexos sobre os recursos hídricos** (2015). Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/download/3208/2068>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

FALCÃO, M. T. **Compartimentação do relevo no hemigráben do Tacutu, Estado de Roraima**, 2007. 104p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Roraima, 2007.

FITTS, C. R. **Águas subterrâneas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 577p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Ground water quality protections: a guide for Waters service companies, municipal authorities and environment agencies**. Word Bank, GWMATE. Washington, 2002, 101p. Disponível em:<<http://documents.worldbank.org/curated/en/913221468028147970/pdf/250710PUB00BOX334116B01PUBLIC1.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2016.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea. Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial, Servmar & Engenharia. Versão em Português, 2006. 106 p. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/GroundwaterQualityProtectionGuide_Portuguese.pdf>. Acesso em 10 ago. 2016.

FRISCHKORN, H.; HORN, P.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONÇA, L.A.R. Origem da água no lençol de Fortaleza. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 12. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). **Manual de saneamento**. 4 ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. 642 p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 291p.

GIUDICE, S. L.; MENDES, A. R. M. Ações antrópicas e seus impactos nos cursos de água. In: TELLES, D. D'A. (org.) **Ciclo ambiental da água**: da chuva à gestão. São Paulo: Blucher, 2013. 501 p.

GUERRANTE, R. Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, ISSN 0103-5134, n. 58, p. 28-31, jan.- mar. 2011.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M. W. **Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos** (2002). Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:z2WXVx_GqQgJ:https://a.guassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22314+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 01 out. 2016.

HAHN, P. Y. S. et al. Caracterização das unidades morfoestruturais do hemigraben tacutu, norte de Roraima. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.1378 – 1383, jun. 2012.

HELLER, L. Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In: Heller, L.; PÁDUA, V. L. (org.) **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada 2017**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=140010&search=roraima|boa-vista>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente** (2004). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/vocabulario.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro, 1ª Ed, 2005a. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/files/2013/04/01-aguas-subterraneas-2012.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2016.

LAGES, A. da S.; SANTANA, G. P. Contaminação de aquíferos no mundo por compostos nitrogenados: Nitrato – problema Global. **Scientia Amazonia**, v. 6, n. 1, 71-78, 2017.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. do; OLIVEIRA, S. V. W. B. de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **RAP** — Rio de Janeiro 45(2):331- 48, mar.- abr. de 2011.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.

MANOEL FILHO, J. Água subterrânea: histórico e importância. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p.

MANUAL DO SANEAMENTO BÁSICO - TRATA BRASIL. **Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**. Disponível em: < <http://www1.eesc.usp.br/ppgsea/files/manual-imprensa.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2016.

MELLO, A. M. de; WANKLER, F. L. **Caracterização físico-química do aquífero Boa Vista, cidade de Boa Vista, RR (2015)**. Disponível em:< [ufrr.br/siearr/index.php/anais-do-evento/atual?download=477:vol-01-2015-i...>](http://ufrr.br/siearr/index.php/anais-do-evento/atual?download=477:vol-01-2015-i...). Acesso em: 15 nov. 2017.

MELO, J.G.; QUEIROZ, J.A.; HUNZIKER, J. Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal/RN por nitrato. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 10. São Paulo: ABAS, 1998. CD-ROM.

MELO, V. F. et al. Caracterização física, química e mineralógica de solos da Colônia Agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia) sob diferentes usos e após queima. **Revista brasileira de ciência do solo**, 30:1039-1050, 2006.

MELO, A.F.F. et al. **Projeto Molibdênio em Roraima**. Relatório Final. v. 6. Manaus DNPM/CPRM, 1978.

MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN,H.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J. Qualidade da água subterrânea na Chapada do Araripe e sua vulnerabilidade. In: **CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 1., e **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 11. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas sustentáveis de esgoto: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura**. São Paulo: Blucher, 2016. 348p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido** (2007). Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MONTEIRO, I. Águas turbulentas. **Revista água e meio ambiente subterrâneo**. Nº 18, Ano 3, p.16-23, Out. – Nov. de 2010.

NASCIMENTO FILHO, D. G.; CASTRO, D. A. de. **Influência das fossas sépticas na contaminação do manancial subterrâneo por nitratos e os riscos para os que optam pelo autoabastecimento como alternativa dos sistemas públicos de distribuição de água** (2005). Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-376.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

NERES, W. C. B.; WANKLER, F. L.; GAMA, C. **Caracterização preliminar da rocha reservatório do aquífero Boa Vista na cidade de Boa Vista-RR**. II Seminário de pós-graduação e pesquisa em geografia – UFRR (2015). CD-ROM.

NUVOLARI, A. Um pouco de história. In: NUVOLARI, A. (coord.) **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

OLIVEIRA, F. et al. **Efetividade dos investimentos em saneamento no Brasil da disponibilidade dos recursos financeiros à implantação dos sistemas de abastecimento de água e de esgoto sanitário**. Centro de estudos em regulação e infraestrutura (FGV/CERI). 2016. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/17806>>. Acesso em: 10 out. 2017.

OLIVEIRA, C. P. de. **Águas Subterrâneas: fontes legais e seguras de abastecimento** (2012). Disponível em:<<http://www.abas.org/arquivos/caderno5.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2016.

PDSI - Plano Diretor de Saneamento Integrado da Cidade de Boa Vista/RR. Relatório Final. ARCHITECH Consultoria e Planejamento Ltda, Boa Vista, 2011. CD-ROM.

PHILIPPI JUNIOR, A.; MARTINS, G. Águas de abastecimento. In: PHILIPPI JUNIOR, A. (ed.) **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 841p.

QUEIROZ, J.A. A integração de dados hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e de contaminação das águas subterrâneas da região de Natal/RN como indicador dos recursos hídricos exploráveis. In: **CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 1., e **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 11. Fortaleza: ABAS/ AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

RAMOS, A.J.R. **Reconhecimento geológico no Território do Rio Branco**. Rel. Anual da Div. Geol. Mineral. Dep. Nac. Prod. Mineral. Rio de Janeiro, 1956.
REBOUÇAS, A. da C. Águas subterrâneas. In: GIAMPÁ, C. E. Q., GONÇALES. (org.) **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 496 p.

REBOUÇAS, A. da C.; FEITOSA, F. A. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. Elementos de hidrologia subterrânea. In: GIAMPÁ, C. E. Q., GONÇALES. (Org.) **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 496 p.

REBOUÇAS, A. da C. Águas subterrâneas. In: BRAGA, B., TUNDISI, J. G., TUNDISI, T. M., CIMINELLI, V. S.T. (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2015. 729 p.

REGO, R. S. et al. **Caracterização e classificação dos solos do campo Experimental Monte Cristo, da EMBRAPA Roraima, Boa Vista-Estado de Roraima**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 42p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 58).

REIS, N. J.; FRAGA, L. M. B.; ALMEIDA, M. E. Arcabouço geológico. In: HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MAIA, M. A. M. (Org.). **Geodiversidade do estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2014. p. 17-30.

REIS, N. J.; FARIA, M. S.G; MAIA, M.A.M.O quadro Cenozóico da porção norte – oriental do Estado de Roraima. In: Klein, E.L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA, C. L.T. (Eds). **Contribuições a Geologia da Amazônia**. Belém: SBG – Núcleo Norte, v.3, p. 259-271, 2002.

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Gabriel do Oeste. **SAAE inicia no próximo mês cobrança de tarifa em residências contempladas com rede de esgoto em São Gabriel**. Disponível em: <<http://vejafolha.com.br/saneamento-basico/saae-inicia-no-proximo-mes-cobranca-da-tarifa-de-esgoto-em-sao-gabriel/>>. Acesso em: 10 out. 2017.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

SANDER et al. **Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista - RR**. Disponível em: <<http://revista.ufrb.br/actageo/article/view/900>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

SILVA, D. A. et al. **Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista - RR nos anos de 1910 a 2014**. Rev. Geográfica Acadêmica v.9, n.2 (2015). Disponível em: <<https://revista.ufrb.br/rga/article/view/3145/1815>>. Acesso em 20 set. 2016.

SILVA, M. R. F. da; DIAS, N. da S; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de. **ÁGUA: recurso natural finito**. In: DIAS, N. da S; SILVA, M. R. F. da; GHEYI, H.R. (org.) **Recursos hídricos: uso e manejos**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 152 p.

SOUZA, L. S. B.; CARVALHO, F. W. S. de. Contextualização geológica da porção sudoeste do Sistema Aquífero Boa Vista, estado de Roraima, Brasil, a partir de sondagens elétricas verticais rasas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 12, n. 1, p. 91-107, jan. - abr. de 2017.

SOUZA, N. A. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas: um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Uberlândia, Minas Gérias. 2009.

SOUZA, S.B. Sistema aquífero da Ilha do Maranhão (MA). In: congresso mundial integrado de águas subterrâneas, 1, e Congresso brasileiro de águas subterrâneas, 11. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/ IAH, 2000. CD-ROM.

SRADIOTO, M. R. et al. **Nitrato nas águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani, área urbana de Bauru-SP** (2011). Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28062/18187> >. Acesso em: 05 jan. 2018.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e transporte e esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

TUCCI, C. E. M.. Água no meio urbano. In: BRAGA, B., TUNDISI, J. G., TUNDISI, T. M., CIMINELLI, V. S.T. (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2015. 729 p.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. da S. P. **Qualidade da Água Subterrânea** (2003). Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/a2b_agua_sub.pdf>. Acesso em: 29 out. 2016.

UEHARA, K. Elementos de hidrologia de superfície. In: GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. (org.) **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 496p.

VALE JÚNIOR, J. F. do. et al. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p.158-165, mai-ago de 2011. Disponível em: < <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/download/562/546> >. Acesso em: 5 set. 2017.

VALE JUNIOR J. F.; SCHAEFER, C. E. R.; COSTA, J. A. V. Etnopedologia e transferência de conhecimento: diálogos entre os saberes indígena e técnico na terra indígena malacacheta, Roraima. **Revista brasileira de ciência do solo**, 31:403-412, 2007.

VERAS, A. T. de R. **A produção do espaço urbano de Boa Vista – Roraima**. 2009. 235p. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana. Área de concentração: Geografia Humana) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. DE O.; SANDER, C. Sistema Aquífero Boa Vista: estado de arte do conhecimento e perspectivas. **Acta Geografica**, v.6, n.12, p.21-39, mai. - ago. de 2012.

ZANETTI, N. **Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero livre no município de Rio Caro/SP** (2014). Disponível em: < http://www.abge.org.br/uploads/imgfck/file/Artigo_Estimativa_daVulnerabilidade.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2018.

ZHOU, Z. **A Global Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater** (2015). Disponível em: < <https://www.un-igrac.org/file/1079/download?token=CY-L6nWX>>. Acesso em: 5 fev. 2018.