



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO ESCOLA
DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



Caroline Pereira de Carvalho

ESTUDO DE VIABILIDADES PARA O
APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DE ANTÔNIO PEREIRA, OURO PRETO -
MG: DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DE
ALTERNATIVAS

Ouro Preto

2026

Caroline Pereira de Carvalho

Estudo de viabilidades para o aprimoramento do
sistema de esgotamento sanitário de Antônio Pereira,
Ouro Preto - MG: diagnóstico e avaliação de alternativas

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Urbana da Universidade
Federal de Ouro Preto como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheira Urbanista.

Orientador: Dr. Paulo de Castro Vieira

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C331e Carvalho, Caroline Pereira de.

Estudo de viabilidades para o aprimoramento do sistema de esgotamento sanitário de Antônio Pereira, Ouro Preto - MG [manuscrito]: diagnóstico e avaliação de alternativas. / Caroline Pereira de Carvalho. - 2026.

146 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Castro Vieira.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Dimensionamento da Rede Sanitária. 2. Esgotos. 3. Estações de Tratamento de Águas Residuárias. 4. Saneamento Básico. I. Vieira, Paulo de Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza -CRB6/2322



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caroline Pereira de Carvalho

Estudo de viabilidades para o aprimoramento do sistema de esgotamento sanitário de Antônio Pereira, Ouro Preto - MG: diagnóstico e avaliação de alternativas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Urbanista

Aprovada em 24 de fevereiro de 2026

Membros da banca

[Doutor] - Paulo de Castro Vieira - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

[Doutora] - Marina Neves Merlo - Universidade Federal de Ouro Preto

[Mestre] - Ana Luíza Silva Santos Félix - Universidade Federal de Minas Gerais

[Paulo de Castro Vieira], orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Paulo de Castro Vieira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/04/2026, às 17:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1063637** e o código CRC **75FDDEBE**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.002325/2026-61

SEI nº 1063637

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: (31)3559-1471 - www.ufop.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar as viabilidades de melhorias para o sistema de esgotamento sanitário do distrito de Antônio Pereira, contemplando as etapas de coleta e tratamento, por meio de diagnóstico da situação atual, pré-dimensionamento hidráulico, estimativas de custos com base na tabela do SINAPI-MG e análise comparativa de alternativas de tratamento. O diagnóstico evidenciou infraestrutura insuficiente, lançamento de esgoto *in natura* e elevado grau de insatisfação da população, conforme verificado em levantamentos de campo e dados secundários. Diante desse cenário, foram propostas soluções distintas conforme as características locais: para as áreas adensadas, projetou-se uma rede coletora convencional com extensão de 1.445,90 m, estimada em R\$ 173.200,73; já para as áreas rurais, onde a topografia inviabiliza o escoamento por gravidade, indicaram-se sistemas individuais descentralizados compostos por tanque séptico, filtro anaeróbio e sumidouro, com custo estimado de R\$ 4.286,71 por domicílio. Para a escolha da tecnologia de tratamento, foi empregada uma análise multicritério que avaliou três alternativas, resultando na seleção do sistema de Lagoas Anaeróbias + Lagoas Facultativas. As propostas desenvolvidas demonstram a viabilidade técnica, econômica e ambiental de soluções adaptadas para a universalização do saneamento no distrito, confirmando a possibilidade de melhorias na saúde pública e proteção ambiental da região.

Palavras-chave: Dimensionamento da Rede Sanitária, Esgotos, Estações de Tratamento de Águas Residuárias, Saneamento Básico.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the feasibility of improvements to the sewage system in the district of Antônio Pereira, including the stages of collection and treatment, through diagnosis of the current situation, hydraulic pre-sizing, cost estimates based on the SINAPI-MG table and comparative analysis of treatment alternatives. The diagnosis showed insufficient infrastructure, in natura sewage discharge and high degree of dissatisfaction of the population, as verified in field surveys and secondary data. In view of this scenario, different solutions were proposed according to the local characteristics: for the dense areas, a conventional collection network with an extension of 1.445.90 m was designed, estimated at R\$ 173.200.73; for rural areas, where the topography makes the flow by gravity impossible, individual decentralized systems composed of septic tank, anaerobic filter and sink were indicated, with an estimated cost of R\$ 4,286.71 per household. For the choice of treatment technology, a multicriteria analysis was used that evaluated three alternatives, resulting in the selection of the Anaerobic Lagoas Optional Lagoas system. The proposals developed demonstrate the technical, economic and environmental feasibility of adapted solutions for the universalization of sanitation in the district, confirming the possibility of improvements in public health and environmental protection of the region.

Keywords: Design of the Sanitary Network, Sewers, Wastewater Treatment Plants, Basic Sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esgoto despejado no corpo receptor.	15
Figura 2 - Sistema separador absoluto	19
Figura 3 - Sistema unitário	20
Figura 4 - Componentes do Sistema Unitário	21
Figura 5 - Vista de uma estação elevatória.	22
Figura 6 - Emissário em construção – Rio Guaíba/RS	23
Figura 7 - ETE Cerquilha/SP.	23
Figura 8 - Sistema de esgotamento sanitário	23
Figura 9 - Poços de Visita (PV)	25
Figura 10 - Gradeamento da etapa preliminar	31
Figura 11 - Desarenador da etapa preliminar	32
Figura 12 - Calha Parshall da etapa preliminar	32
Figura 13 - Tanques de decantação	33
Figura 14 - Fossa séptica para decantação	34
Figura 15 - Lagoa Facultativa	39
Figura 16 - Lodos ativados convencional (Fluxo Contínuo)	39
Figura 17 - Filtro Biológico de Baixa Carga	39
Figura 18 - Biodisco	40
Figura 19 - Sistema de Fossa Séptica - Filtro Anaeróbio	40
Figura 20 - Sistemas alagados construídos (Wetlands)	41
Figura 21 - Esquema fossa séptica biodigestora	44
Figura 22 - Biodigestor tipo chinês	45
Figura 23 - Corte transversal do Tanque de Evapotranspiração	46

Figura 24 - Círculo das Bananeiras	47
Figura 25 - Etapas de desenvolvimento do trabalho	51
Figura 26 – Mapa do distrito de Antônio Pereira	52
Figura 27 - ETE Samarco.	72
Figura 28 - Imagem de Satélite do Bairro Bela Vista.....	77
Figura 29 - Imagem de Satélite do bairro Bela Vista no distrito.....	78
Figura 30 - Indignação dos moradores em relação à falta de infraestrutura adequada.....	79
Figura 31 -Localidade com imóveis rurais e dispersos.....	79
Figura 32 - Locais visitados no levantamento de campo de campo	81
Figura 33 - Água com a presença de espuma e aspecto turvo	82
Figura 34 - Trecho de curso d'água com lançamento de efluente	83
Figura 35 - Trecho com a presença de resíduos sólidos.....	83
Figura 36 - Água parada com aspecto turvo	84
Figura 37 - Traçado altimétrico do Bairro Bela Vista	87
Figura 38 - Área com os imóveis rurais de Antônio Pereira	88
Figura 39 - Perfil Altimétrico da área em estudo	89
Figura 40 – Exemplo de tanque séptico.....	107
Figura 41- Filtro Anaerobio Comercializado	109
Figura 42 – Exemplo de um sumidouro sugerido.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)	10
Tabela 2 - Número de óbitos por DRSAI e seus grupos, por estados em 2023.	11
Tabela 3 - Estrutura tarifária para as categorias residenciais.....	18
Tabela 4 - Principais órgãos acessórios da rede.	24
Tabela 5 - Parâmetros Gerais para O dimensionamento da rede coletora	26
Tabela 6 - Métodos de tratamento mais comuns com lagoas de estabilização. .	35
Tabela 7 - Métodos de tratamento mais comuns com lodos ativados.	36
Tabela 8 - Métodos de tratamento mais comuns com sistemas aeróbios com biofilmes.....	37
Tabela 9 - Métodos de tratamento mais comuns com sistemas anaeróbios	37
Tabela 10 - Métodos de tratamento mais comuns com disposição no solo.....	38
Tabela 11 - Método de tratamento com sistemas alagados construídos.....	38
Tabela 12 - Alternativas de tratamento em nível terciário	42
Tabela 13 – Padrões de lançamento de esgotos em corpos receptores.	49
Tabela 14 - Checklist de campo.....	54
Tabela 15 - Parâmetros para o dimensionamento da rede coletora.....	57
Tabela 16 - Parâmetros para o pré dimensionamento do tanque séptico	60
Tabela 17 - Profundidade útil mínima e máxima	61
Tabela 18 - Parâmetros para o pré dimensionamento do filtro anaeróbio	62
Tabela 19 - Variação de coeficiente de infiltração.....	63
Tabela 20 - Parâmetros para o pré dimensionamento do sumidouro	64
Tabela 21 – Critérios considerados para seleção de soluções de tratamento de esgoto	66

Tabela 22 – Parâmetros para o calculo da população final para 20 anos	67
Tabela 23 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada ao destino do esgoto gerado nas residências.	70
Tabela 24 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) sobre a satisfação com o sistema de esgotamento sanitário.	73
Tabela 25 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada com a separação dos esgotos sanitários e águas pluviais.....	74
Tabela 26 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada à existência de caixa de gordura nas residências.	75
Tabela 27 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada ao pagamento de tarifa pelo serviço de esgotamento sanitário.....	76
Tabela 28 - Pontos críticos relacionados ao sistema de esgotamento sanitário.	77
Tabela 29 - Diagnóstico de Campo do Sistema de Esgotamento Sanitário em Antônio Pereira - MG	85
Tabela 30 - Resultados do dimensionamento da rede coletora de esgoto	91
Tabela 31 - Estimativa de custo da rede coletora de esgoto	95
Tabela 32 - Eficiências típicas e valores esperados no efluente tratado	97
Tabela 33 - Valores médios dos critérios para as tecnologias de tratamento.....	98
Tabela 34 - Critérios calculados para cada alternativa considerada.	100
Tabela 35 - Dimensões do tanque séptico.....	106
Tabela 36 – Dimensões do Filtro Anaerobio	109
Tabela 37 – Dimensões do sumidouro.....	110
Tabela 38 - Estimativa de custo do tanque séptico seguido do filtro anaeróbico e sumidouros	113

LISTA DE SIGLAS

- ARISB – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico
- CESBs – Companhias Estaduais de Saneamento Básico
- CP – Caixa de Passagem
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DRSAI – Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- OD – Oxigênio Dissolvido
- ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PDOP – Plano Diretor de Ouro Preto
- Planasa – Plano Nacional de Saneamento Básico
- PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico
- PV – Poço de Visita
- SAW – Método de ponderação aditiva simples
- SIM – Sistema de Informações sobre Mortalidade
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- TIL – Tubo de Inspeção e Limpeza
- TL – Terminal de Limpeza
- UASB – Reator anaeróbio de fluxo ascendente

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Objetivo	3
2.1	Objetivos Específicos.....	3
3	Justificativa	4
4	Revisão Bibliográfica	8
4.1	Introdução ao saneamento básico	8
4.2	Planejamento urbano e Saneamento Básico	12
4.3	Contextualização dos esgotos sanitários	13
4.4	Serviços públicos de esgotamento sanitário	16
4.5	Sistema de coleta e transporte	18
4.6	Infraestruturas de sistemas de esgotamento sanitários	21
4.7	Dimensionamento da rede coletora de esgoto	25
4.7.1	Vazão Média	26
4.7.2	Vazão Mínima de Projeto	27
4.7.3	Taxa de Contribuição de Infiltração	27
4.7.4	Diâmetro e Declividade	27
4.7.5	Recobrimento Mínimo e Profundidade Mínima	28
4.7.6	Tensão trativa	29
4.7.7	Cálculo de verificação	29
4.8	Sistemas de tratamento de esgotos sanitários no sistema centralizado	30

4.9	Sistemas de tratamento de esgotos sanitários no sistema descentralizado.....	43
4.10	Seleção de alternativas de tratamento	47
4.11	Disposição do esgoto e padrões de lançamento.....	48
5	Metodologia	50
5.1	Caracterização da área de estudo	51
5.2	Caracterização das condições de saneamento do distrito	53
5.3	Melhorias para a etapa de coleta dos esgotos	55
5.3.1	Pré-dimensionamento de rede coletora.....	56
5.3.2	Pré-dimensionamento do tanque séptico	59
5.3.3	Pré-dimensionamento do filtro anaeróbio	61
5.3.4	Pré-dimensionamento do sumidouro	62
5.4	Melhorias para o tratamento de esgotos	65
5.5	Estimativa de custos	67
6	Resultados e Discussão.....	69
6.1	Condições do sistema de esgotamento existente	69
6.2	Propostas de melhorias dos coletores	86
6.2.1	Análise do escoamento do terreno	87
6.2.2	Pré-dimensionamento da rede coletora de esgoto do Bairro Bela Vista 90	
6.3	Pré-seleção de alternativas para o tratamento de esgotos.....	96
6.4	Sistema descentralizado de esgotamento.....	105
6.4.1	Estimativa de custos de implantação.....	111
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	115

Referências	117
ANEXO A – TABELAS DA NBR 17076/2024	131

1 INTRODUÇÃO

Segundo Castro (2022), o crescimento acelerado da população a partir da década de 1960 resultou em um adensamento urbano desordenado, sobrecarregando as cidades e tornando suas infraestruturas insuficientes para atender às novas demandas. Dessa forma, muitas cidades necessitaram ampliar suas infraestruturas básicas, como os sistemas de esgotamento sanitário.

Diante desse cenário, em 1971 foi criado o Plano Nacional de Saneamento Básico (Planasa), o primeiro programa com o objetivo de transformar o setor de saneamento no Brasil, conforme aponta Britto *et al.* (2012). Ainda segundo esses autores, para cumprir esses objetivos, foram consolidadas as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs), que passaram a assumir a responsabilidade pela operação dos serviços básicos nos municípios, que na época tiveram resultados satisfatórios em relação ao abastecimento de água e insuficientes em relação ao esgotamento sanitário. De acordo com Britto *et al.* (2012), os resultados alcançados não foram distribuídos de forma equitativa, uma vez que grupos socialmente mais vulneráveis, com menor poder econômico e baixa representação política, acabaram marginalizados desse processo.

Nas áreas rurais brasileiras, o acesso aos sistemas de esgotamento sanitário é limitado, tornando-se um dos maiores desafios do saneamento básico (Martelli, 2013). Segundo Lira *et al.* (2013), ao contrário das áreas urbanas, onde se tem sistemas centralizados de coleta e tratamento, as áreas rurais apresentam características específicas, como menor densidade populacional, dispersão geográfica e menor infraestrutura instalada, o que dificulta a implementação de soluções centralizadas. Entretanto, há exceções como os distritos que possuem núcleos urbanos mais adensados, como é o caso do distrito de Antônio Pereira, que por ter uma concentração populacional permite o aprimoramento dos sistemas coletivos de esgotamento sanitário. Além disso, a ausência dos sistemas de esgoto nessas regiões acarreta impactos significativos à saúde pública, à qualidade dos recursos hídricos e ao meio ambiente, o que mostra a necessidade de tecnologias alternativas e adaptadas à realidade local, conforme aponta Dias e Pereira (2021).

Tendo em vista que 36,8% da população brasileira vive sem acesso à coleta e ao tratamento de esgoto (IBGE, 2022), busca-se compreender o contexto atual dos sistemas de esgotamento sanitário no Brasil, com ênfase nas áreas periurbanas, a fim de propor soluções para a universalização do saneamento. Neste sentido, este trabalho buscou levantar propostas de melhorias para o sistema de esgotamento sanitário do núcleo urbano do distrito de Antônio Pereira, situado em Ouro Preto-MG, com o propósito de melhorar as etapas de coleta e tratamento dos esgotos sanitários.

2 OBJETIVO

Avaliar as viabilidades de melhorias para o sistema de esgotamento sanitário do distrito de Antônio Pereira, contemplando as etapas de coleta e tratamento, por meio de diagnóstico da situação atual, pré-dimensionamento hidráulico, estimativas de custos e avaliação de alternativas.

2.1 Objetivos Específicos

- i. Caracterizar a situação atual do sistema de esgotamento sanitário do distrito, quanto às condições de infraestrutura de coleta e tratamento, por meio de levantamento de dados secundários e levantamentos de campo.
- ii. Analisar a viabilidade técnica de melhorias de rede coletora do sistema de esgotamento sanitário do distrito contemplando o estudo de traçado do escoamento, pré-dimensionamento hidráulico dos condutos e estimativa de custos.
- iii. Avaliar alternativas tecnológicas para o tratamento dos esgotos sanitários, selecionando a mais adequada com base em critérios de eficiência, área requerida, simplicidade operacional e conformidade com a legislação ambiental.
- iv. Avaliar a implementação de sistemas alternativos descentralizados contemplando o pré-dimensionamento hidráulico dos condutos e estimativa de custos.

3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que saneamento básico é um direito assegurado pela Lei Federal nº 11.445/2007, atualizada pela Lei Federal 14.026/2020 que constitui o Marco Legal do Saneamento, é de suma importância que esses direitos sejam cumpridos (Brasil, 2020). Segundo essa Lei, até 31 de dezembro de 2033, 90% da população deve ter acesso à coleta e tratamento adequado, sendo proibido o lançamento de esgoto *in natura* em corpos hídricos e o tratamento deve atender aos parâmetros ambientais previstos na Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 para serem lançados em corpos hídricos.

Além disso, o guia *A regionalização do saneamento básico na Lei 14.026/2020*, publicado pelo Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento (Ondas), reforça que água e saneamento devem ser tratados como direitos fundamentais, e não como mercadorias, e que o saneamento é uma responsabilidade do Estado, não um negócio. Essa publicação enfatiza a obrigação do poder público em promover o acesso igualitário aos serviços de saneamento, incluindo o esgotamento.

Ainda que o Marco Legal do Saneamento não mencione os Direitos Humanos à Água e ao Saneamento, esses são reconhecidos pela Resolução 64/292 de 2010 que declara que todos têm o direito ao acesso a esses serviços básicos de forma igualitária (United Nations, 2010). Além do mais, o Brasil faz parte da Agenda 2030 que tem como um dos objetivos, o ODS 6 - Água Potável e Saneamento, que visa garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos (IPEA, 2019).

A falta de um tratamento adequado de esgoto pode acarretar na proliferação de doenças. Segundo Freitas e Magnabosco (2025), essas doenças se originam devido a água poluída pelos dejetos lançados nos cursos hídricos. Além das doenças relacionadas, há também a poluição dos corpos receptores por poluentes oriundos dos esgotos domésticos que trazem como consequência mortandade dos peixes, crescimento excessivo de algas, patógenos e entre outros, como destaca Von Sperling (2005).

Essa situação é preocupante em todo o município de Ouro Preto-MG, uma vez que o sistema de esgotamento sanitário na bacia é ineficiente, já que não há redes coletoras e interceptores de esgoto suficientes (Sinisa, 2024). Estudos também confirmam o impacto da ausência de tratamento, como é mostrado em um estudo de qualidade de água realizado por Pereira *et al.* (2022) no Córrego do Sobreira, localizado na sede do município, com a nascente nas Lajes e a jusante no córrego do Funil próximo a ponto da barra, onde foram analisados os níveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD) e presença de *E. coli*, resultando em uma forte influência de esgoto doméstico e classificando o rio na Classe 4.

Nesse contexto, a proposição de melhorias no sistema de esgotamento sanitário no distrito de Antônio Pereira, deve fazer parte do planejamento urbano, pois a infraestrutura de saneamento influencia diretamente a organização do espaço urbano, o controle ambiental e a qualidade de vida da população. A expansão urbana desassociada a esses serviços essenciais, como o de esgotamento, pode gerar impactos socioambientais, especialmente em distritos que enfrentam deficiências nesses serviços. Assim, integrar as ações de esgotamento sanitário ao planejamento urbano contribui para o desenvolvimento sustentável do local, garantindo que o crescimento urbano ocorra de forma equilibrada em relação às necessidades básicas da população (Magalhães; Moraes, 2022).

Por isso, como instrumento de planejamento, há em Ouro Preto o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2013) em processo de revisão que estabelece diretrizes e metas para os serviços de saneamento, visando à proteção ambiental, à preservação dos recursos hídricos e à promoção da saúde pública. No que se refere ao esgotamento sanitário, conforme relata Pereira (2018), entre 1889 e 1890, Ouro Preto foi pioneira no país com a implantação dos tanques de desinfecção do bairro Barra, uma das primeiras estações de tratamento de esgoto. Contudo, o sistema foi interrompido em 1930 por razões não esclarecidas. Segundo a autora, uma possível explicação seria a perda de importância político-administrativa da cidade após a transferência da capital para Belo Horizonte em 1897, junto à crise econômica mundial de 1929, que exigiu cortes de gastos públicos.

Décadas mais tarde, iniciou-se a construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Osso de Boi, cujo a obra também foi interrompida (Pereira, 2018). Em 2008, entrou em operação a ETE São Bartolomeu (Saneouro, 2024). Há ainda o registro de uma ETE denominada ETE Samarco, com lagoa facultativa, que atendia à Vila Residencial de Antônio Pereira, mas que conforme Pereira (2018), encontra-se desativada e não é mencionada no Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto (2013).

Mesmo com estas iniciativas no passado, os índices de atendimento por rede coletora de esgoto em Ouro Preto são preocupantes. De acordo com dados do Sinisa (2024), apenas 76,57% da população urbana do município é atendida por rede coletora de esgoto e na zona rural a cobertura é inexistente ou baseada em soluções individuais precárias, como fossas rudimentares e valas a céu aberto. A porcentagem da população atendida por rede coletora é bem próxima ao dado oficial do Panorama IBGE 2022 (77,4%). Em relação ao índice de tratamento, segundo o Sinisa (2024), apenas 1,85% de todo o esgoto coletado no município é tratado.

Além do PMSB, há o Plano Diretor do Município que tem como objetivo orientar o uso e a ocupação do solo, definindo diretrizes para o crescimento populacional, proteção ambiental, de forma a evitar a ocupação de áreas sem cobertura ou com redes e equipamentos urbanos insuficientes. Nesse contexto, o esgotamento sanitário é compreendido no Plano Diretor como elemento estruturante para a ordenação territorial e para a melhoria das condições ambientais e de saúde pública.

Antônio Pereira, distrito de Ouro Preto/MG, foi um dos objetos de análise durante o processo de revisão do Plano Diretor. Na Leitura Comunitária, uma etapa inicial participativa, realizada no distrito, na qual moradores e representantes da sociedade identificam problemas críticos no bairro, nesse caso sobre o esgotamento sanitário. Os moradores relataram a falta de rede de esgoto adequada e a ausência de tratamento de esgoto (Ouro Preto, 2024). Em certos locais, como nas ruas Timbopeba e Benedito Xavier, há relatos de lançamento de esgoto a céu aberto (Ouro Preto, 2024).

A Leitura Técnica confirma que em Antônio Pereira ocorre somente a coleta do esgoto, o qual é lançado nos cursos hídricos do distrito. A análise técnica feita pela leitura também identificou que a rede de esgoto é mista em alguns trechos, recebendo esgoto e drenagem pluvial, caracterizando um sistema unitário. O esgoto *in natura* tem sido lançado nos cursos d'água (Ouro Preto, 2024), o que acarreta em poluição hídrica.

Diante do cenário diagnosticado, a adequação do sistema de esgotamento sanitário é uma demanda crucial a ser analisada e incluída como diretriz de Saneamento Básico na revisão do Plano Diretor. A necessidade de aprimoramento do sistema é urgente para o cumprimento do Marco Legal do Saneamento Básico, a Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020) que estabelece a meta de garantir o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033 (Brasil, 2020).

Por isso, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de propor melhorias para o sistema de esgotamento sanitário do distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto-MG. Apesar de sua relevância histórica e riqueza natural, a localidade ainda sofre com a carência de infraestrutura adequada, realidade que se repete em grande parte das áreas do Brasil.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Introdução ao saneamento básico

Segundo Ferreira e Garcia (2017), com o intuito de promover uma melhor qualidade de vida e saúde pública, em consequência da diminuição da proliferação das doenças, o saneamento traz um conjunto de práticas que permitem a conservação ambiental para que esses objetivos sejam cumpridos. Dentre as suas principais atuações, de acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), e sua atualização, Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), estão o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas e o manejo de resíduos sólidos. Apesar de mencionar esses quatro termos como princípios do saneamento básico, Ferreira e Garcia (2017) destacam que, a coleta e o tratamento do esgoto e o acesso à água potável são os principais preceitos quando se trata do saneamento.

Ainda que um deles receba maior atenção, segundo Pimentel e Mitherhof (2022), os dois tipos de serviços são essenciais para a vida humana, embora a coleta e o tratamento de esgoto trazem benefícios coletivos, o abastecimento de água traz benefícios diretos e imediatamente percebidos no dia a dia das pessoas e por isso recebe maior atenção. Além disso, segundo Volquid (2014) os investimentos em infraestrutura dos esgotos são maiores e muito mais complexos que os de abastecimento de água, por isso não são prioridades.

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da Resolução 64/292, reconhece o acesso à água e saneamento como elemento básico para garantir uma vida plena e o cumprimento dos demais direitos humanos. Segundo Heller (2015), além dos princípios como igualdade, participação, transparência e acesso à informação, o direito à água e saneamento deve incluir a disponibilidade, acessibilidade, qualidade, segurança, privacidade e dignidade.

Para assegurar que esse e outros direitos sejam cumpridos, foi criada em 2015, a Agenda 2030 que contempla um plano de ação internacional para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram criados pelos membros da ONU, a serem contempladas até 2030. Dentre elas, está a ODS-6, que visa garantir o acesso

universal e a administração responsável e sustentável da água e do saneamento para todas as pessoas, com 8 metas e 11 indicadores (IPEA, 2019).

Além disso, é importante mencionar que os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 3 (Saúde e Bem-Estar) também são atingidos com a universalização do saneamento básico, tendo em vista a melhoria do planejamento urbano, da qualidade de vida da população e a redução das doenças de veiculação hídrica (IPEA, 2019).

No Brasil foi sancionada a Lei Federal nº 11.445, em 2007 que institui a Política Federal de Saneamento Básico, compondo o Marco Legal do Saneamento que visa trazer uma estrutura regulatória para os órgãos da administração pública através de políticas públicas para a universalização da coleta e tratamento dos esgotos e a oferta de água potável para todos, sendo atualizada pela Lei Federal nº 14.026 de 2020 (Brasil, 2020). Um dos princípios utilizados nessa legislação para que esses objetivos sejam alcançados é a estipulação de metas até o ano de 2033. Segundo o Art. 11-B da lei, os contratos de prestação dos serviços de saneamento básico devem conter metas que assegurem, até 31 de dezembro de 2033, o fornecimento de água potável para 99% da população e a coleta e tratamento de esgoto para 90%, além de objetivos voltados à regularidade no abastecimento, à diminuição das perdas e um aprimoramento nos processos de tratamento.

Nesse contexto, no Art. 30 da Constituição Federal de 1988 os municípios são os responsáveis por prestar e organizar os serviços públicos (Brasil, 1988). O que inclui os serviços de saneamento básico, como o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, reforçando o papel central dos municípios.

A ausência de um sistema de esgotamento sanitário eficiente está diretamente associada à proliferação de diversas doenças infecciosas. Conforme Costa *et al.* (2010), doenças como dengue, diarreias, cólera, hepatite A, febre amarela, esquistossomose e leptospirose são exemplos recorrentes de problemas de saúde pública que se agravam em contextos de saneamento precário. Na Tabela 1 estão descritos alguns tipos de transmissões e as possíveis doenças.

Tabela 1 - Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)

CATEGORIA	DOENÇAS
1- Doenças de transmissão feco-oral	Diarreias
	Febres Entéricas
	Hepatite A
2 - Doenças transmitidas por inseto vetor	Dengue
	Febre Amarela
	Leishmanioses
	Filariose Linfática
	Malária
3 - Doenças transmitidas através do contato com a água	Doenças de Chagas
	Esquistossomose
4- Doenças relacionadas com a higiene	Leptospirose
	Doenças dos olhos
	Tracoma
	Conjuntivite
	Doenças da pele
5- Geo-helminhos e teníases	Micoses Superficiais
	Helmintíases
	Teníases

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2010, p. 65).

Segundo dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Ministério da Saúde de 2023, foram registradas cerca de 11 mil mortes no Brasil, devido a fatores relacionados aos riscos ambientais, como o uso de água não tratada e da deficiência dos serviços básicos, como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Número de óbitos por DRSAL e seus grupos, por regiões em 2023.

UF	Doenças de transmissão feco-oral	Doenças transmitidas por inseto vetor	Doenças transmitidas através do contato com a água	Doenças relacionadas com a higiene	Geo-helmintos e teníases	Total
Norte	525	179	2	-	11	717
Nordeste	1.834	1.183	254	1	33	3.305
Sudeste	2.146	2.519	131	-	32	4.828
Sul	778	432	1	-	15	1.226
Centro-Oeste	390	1.081	3	-	4	1.478
Brasil	5.673	5.394	391	1	95	11.554

Fonte: Adaptado do SIM, Ministério da Saúde (2023).

A ausência dessas infraestruturas de acordo com Peixoto, Ahmed e Sales (2021), pode resultar em um aumento da desigualdade social, visto que pode acarretar principalmente entre a população mais vulnerável economicamente, o crescimento de diversas doenças, já que para a garantia dos direitos fundamentais do ser humano é necessário um ambiente que tenha uma infraestrutura adequada.

Além dos problemas relacionados à saúde pública, há também problemas ambientais, como a poluição e contaminação de mananciais utilizados para o abastecimento humano, de rios, lagoas e aquíferos, além da ocorrência de doenças, erosão acelerada, assoreamento e inundações que resultam em perdas humanas e materiais (IBGE, 2011).

Junto a isso, o crescente aumento da população e as diversas mudanças que ocorrem nas cidades, como a expansão urbana desordenada são fatores que também contribuem com impactos significativos no meio ambiente. Pires (2012), afirma que, no Brasil, os investimentos relacionados ao saneamento básico sempre estiveram concentrados nas grandes cidades, deixando os pequenos municípios com um déficit de atenção e recursos referentes a esses serviços básicos.

Embora o saneamento básico seja um conceito amplo que abrange o abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e resíduos sólidos, este trabalho irá se

concentrar no esgotamento sanitário. Os próximos tópicos abordarão, a estrutura atual e propostas de melhoria para o sistema de esgoto na localidade em estudo.

4.2 Planejamento urbano e Saneamento Básico

Segundo Mota (2003), o planejamento urbano é fundamental para ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e assegurar o bem-estar da população, buscando solucionar os problemas vindos de assentamentos urbanos consolidados. Segundo o mesmo autor, a falha na implementação de um planejamento urbano eficaz, que não acompanha o crescimento populacional, resulta em consequências negativas, como a ausência de condições sanitárias básicas e a poluição do meio ambiente.

O esgotamento sanitário inadequado é uma das principais fontes de poluição em ambientes urbanos. O lançamento de resíduos derivados de atividades humanas provoca alterações no meio ambiente. Para que o desenvolvimento urbano seja sustentável e preserve os recursos ambientais, a aplicação das leis de um Plano Diretor, como a lei de zoneamento e controle do parcelamento do solo, torna-se essencial (Mota, 2003).

A integração entre o planejamento urbano e o saneamento básico é uma exigência legal formada por um conjunto de instrumentos:

- Plano Diretor: É o instrumento básico da política urbana que estabelece as diretrizes gerais para o ordenamento territorial. O Plano Diretor define o zoneamento e os índices urbanísticos, influenciando o dimensionamento futuro das redes e garantindo que o crescimento da cidade seja compatível com a capacidade de suporte da infraestrutura (Lei nº 10.257/2001).
- Lei de Uso e Ocupação do Solo e Parcelamento do Solo: A Lei Federal nº 6.766/1979 exige às infraestruturas básicas, como os equipamentos urbanos de águas pluviais, iluminação, esgotamento sanitário, abastecimento de água, energia elétrica e vias de circulação (Brasil, 1979).
- Plano Municipal de Saneamento Básico: É o instrumento de planejamento, acompanhamento e ações de saneamento básico, visando melhorar os

serviços prestados à população. Ele planeja as ações, programas e projetos necessários para atingir a universalização dos serviços, com metas de cobertura e qualidade (Arsae-MG).

- Leis Orçamentárias: Os instrumentos orçamentários são essenciais para transformar as diretrizes do Plano Diretor e as metas do PMSB em realidade. O Plano Plurianual (PPA) define as grandes prioridades e os programas de investimento em saneamento básico para um período de quatro anos, e a Lei Orçamentária da União (LOA) aloca os recursos financeiros anuais para a execução dessas ações (Economia-DF, 2020).

4.3 Contextualização dos esgotos sanitários

Assim como aconteceu durante a pandemia do Covid-19, onde houve a propagação de doenças infecciosas, o Brasil nos séculos passados passou por situações parecidas. De acordo com a Funasa (2016), nos meados do século XVIII foi cogitado a exclusão do Brasil das rotas comerciais das nações europeias, devido aos grandes riscos de propagação de enfermidades, isso traria prejuízos econômicos ao Brasil, portanto, o imperador D. Pedro II investiu na construção de sistemas de esgotos e de águas pluviais que foram instalados no Rio de Janeiro e em Santos. Além disso, a construção dos sistemas teria menos impactos econômicos do que a exclusão das suas rotas (Funasa, 2016).

Dada a sua grande importância na promoção da saúde pública e preservação ambiental, o esgotamento sanitário como um conjunto de atividade relacionadas com a implantação, operação e manutenção das infraestruturas de coleta, transporte, tratamento e despejo final dos resíduos sanitários (Brasil, 2020).

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto sanitário é um líquido residual despejado correspondente à junção dos esgotos domiciliares, industriais, água de infiltração, e contribuição pluvial parasitária. Cada uma dessas contribuições com a sua definição, segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), sendo o esgoto doméstico a água de higiene pessoal e necessidades fisiológicas humanas; o esgoto industrial corresponde ao despejo líquido proveniente de processos industriais, de acordo com

os padrões de lançamento estabelecidos; a água de infiltração proveniente do subsolo que penetra nas canalizações; e a contribuição pluvial parasitária refere-se à parcela do escoamento superficial absorvida pela rede.

Segundo Nuvolari (2021), os esgotos constituem 99,87% de água, 0,04% de compostos sedimentares, 0,02% de não sedimentares e 0,07% de substâncias dissolvidas, por isso devido a maior parte da sua composição ser de água, o esgoto em tubulações e canais acaba se comportando como água, dito isso, as suas propriedades físicas também são consideradas as mesmas. A composição desses sólidos varia, segundo Funasa (2014) como impurezas químicas como substâncias orgânicas e inorgânicas, compostas por proteínas, óleos, carboidratos e diversos compostos presentes nos detergentes e agrotóxicos; impurezas biológicas como bactéria e vírus; e impurezas físicas que correspondem a substâncias que interferem na água independentemente de sua composição química ou biológica.

Silva (2017) destaca que o esgoto doméstico é composto por efluentes classificados como águas negras e águas cinzas. Sendo as águas cinzas, de acordo com Ridderstolpe (2004), constituindo o maior volume do esgoto, as águas oriundas das cozinhas, dos banheiros e das lavanderias. Já as águas negras, são provenientes do vaso sanitário com a sua composição de matéria fecal e papel higiênico, conforme diz Silva (2017).

Além disso, outras composições que também fazem parte da parcela de esgoto sanitário, como salienta Nuvolari (2021) são as águas de infiltração e as contribuições parasitárias, as referidas chegam até as canalizações do sistema de esgoto através da percolação, escoando nas áreas externas das tubulações até encontrar uma abertura que permita a sua infiltração e por meio da penetração do escoamento superficial nos tampões dos poços de visitas resultado de um escoamento superficial, respectivamente. Ainda de acordo com Nuvolari (2021), é importante avaliar essas contribuições indevidas para dimensionar de forma correta a rede de esgoto, uma vez que são projetadas para atender as vazões máximas vindas das edificações.

O lançamento de efluentes nos corpos d'água pode provocar impactos ambientais. Um dos principais, segundo o Nucase (2008), é a redução do teor de oxigênio dissolvido (OD), uma vez que a matéria orgânica lançada no corpo receptor utiliza desse oxigênio para a sua degradação por microrganismos aeróbios, e conseqüentemente diminuindo o oxigênio disponível.

Além disso, outro impacto relevante é a contaminação por patógenos, também apontada por Nucase (2008), capazes de transmitir doenças e que têm origem no intestino humano ou de animais, do qual os dejetos foram direcionados à rede de esgoto. Para avaliar o potencial contaminador do esgoto, são utilizados parâmetros como coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, conforme Von Sperling (2005). A Figura 1 mostra um rio poluído recebendo esgotos.

Figura 1 - Esgoto despejado no corpo receptor.



Fonte: Revista DAE (2008).

Por fim, Nucase (2008) destaca a eutrofização, um processo que resulta do aumento de nitrogênio e fósforo presentes nos esgotos domésticos, causando um aumento de algas e de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, causando uma redução do OD e trazendo a morte de seres aquáticos.

Pereira (2013) evidencia que, é fundamental a necessidade de estratégias que direcionam os esgotos para os lugares corretos, assim o meio ambiente não sofrerá tantos impactos e consiga se adaptar diante das diversas mudanças que possam vir a acontecer. Levando em conta também, além da proteção ambiental, proporcionar uma melhor condição sanitária e condição de vida e saúde, segundo Oliveira (2018).

4.4 Serviços públicos de esgotamento sanitário

Os serviços públicos de esgotamento sanitário, conforme o Art. 1º da Lei nº 14.026/2020, envolvem a coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgotos de forma ambientalmente adequada (Brasil, 2020). A legislação garante ainda atenção às Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), prevendo soluções sanitárias compatíveis nesses contextos, o que pode incluir o uso de tecnologias alternativas ou a priorização de investimentos para garantir a universalização, integrando o saneamento ao direito à moradia digna (Brasil, 2020).

A vulnerabilidade socioeconômica das populações residentes em ZEIS e em outras áreas de baixa renda é diretamente atrelada ao mecanismo da Tarifa Social de Água e Esgoto. Em Ouro Preto, isso é garantido pela Lei Municipal n.º 1.126, de 20 de dezembro de 2018 (Ouro Preto, 2018).

Como a legislação brasileira estabelece aos municípios a responsabilidade sobre as prestações dos serviços públicos, cabe a eles escolher o melhor modelo de gestão, conforme previsto na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). A Lei nº 14.026/2020 atribuiu à ANA a edição de Normas de Referência (NR) para padronizar boas práticas regulatórias, como qualidade, eficiência na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico, modelos tarifários, estrutura contratual, metas de universalização dos serviços públicos e etc (Brasil, 2020). Essas normas ajudam as agências reguladoras locais a dar segurança aos investimentos no setor e garante que os usuários recebam serviços de qualidade e tenham seus direitos protegidos.

Em Ouro Preto, segundo o Plamsab (2025) a estrutura do modelo de gestão se baseia em uma agência reguladora e fiscalizadora, a ARISB-MG responsável por regulamentar e fiscalizar a prestação dos serviços, editar normas técnicas,

econômicas, contábeis e sociais, definir a estrutura tarifária e monitorar o cumprimento das metas contratuais pela Saneouro, garantindo que os usuários recebam serviços de qualidade e que seus direitos sejam protegidos. Um gestor, sendo ela a Prefeitura Municipal de Ouro Preto, cabendo ao município a função de gestor, responsável por planejar, regular e fiscalizar a prestação dos serviços, delegando a execução à concessionária por meio de contrato. E prestadora do serviço, a Saneouro é a empresa responsável pela execução dos serviços de esgotamento sanitário no município. Sua função é operacionalizar a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos esgotos, cumprindo as metas de universalização e os padrões de qualidade e eficiência estabelecidos no contrato de concessão e nas normas regulatórias (Plamsab, 2025).

Vale ressaltar, a cobrança pelos serviços de esgotamento sanitário segue uma estrutura tarifária estabelecida pela agência reguladora, a ARISB-MG, e aplicada pela concessionária Saneouro (Plamsab, 2025). Segundo a Resolução de Fiscalização e Regulação - Arisb-MG Nº 308, de dezembro de 2024, o valor cobrado pelo esgoto é calculado com base no volume de água consumido. Em Ouro Preto, a cobrança do esgoto é feita por meio de um percentual aplicado sobre a tarifa de água, sendo 50% para o Esgotamento Dinâmico com Coleta (EDC) e 75% para o Esgotamento Dinâmico com Coleta e Tratamento (EDT), dependendo da área de abrangência e do tipo de serviço prestado (ARISB-MG, 2024).

A estrutura tarifária é dividida em categorias (Residencial Social, Residencial, Filantrópica, Comercial, Industrial e Pública) e organizada em faixas de consumo (Resolução ARISB-MG nº308/2024). Isso significa que o custo unitário do metro cúbico de água e esgoto aumenta à medida que o consumo é maior, incentivando o uso racional da água.

A Tabela 3 ilustra a estrutura tarifária para as categorias.

Tabela 3 - Estrutura tarifária para as categorias residenciais.

Categorias	Faixas	Água	EDC	EDT	Unidade
Residencial Social	Fixa	7,3235	2,765	6,948	R\$/mês
	>0 a 10m ³	1,452	0,546	1,379	R\$/m ³
	>10 a 15m ³	2,986	1,127	2,833	R\$/m ³
	>15 a 20m ³	5,432	2,038	5,159	R\$/m ³
	>20 a 40m ³	6,109	2,269	5,812	R\$/m ³
	>40m ³	19,629	7,340	18,656	R\$/m ³
Residencial	Faixas	Água	EDC	EDT	Unidade
	Fixa	21,971	8,295	20,843	R\$/mês
	>0 a 10m ³	1,789	0,674	1,700	R\$/m ³
	>10 a 15m ³	4,909	1,853	4,659	R\$/m ³
	>15 a 20m ³	10,644	3,994	10,111	R\$/m ³
	>20 a 40m ³	12,215	4,536	11,622	R\$/m ³
	>40m ³	19,627	7,340	18,655	R\$/m ³

Fonte: Arisb-MG (2024).

ARISB-MG: Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico de Minas Gerais

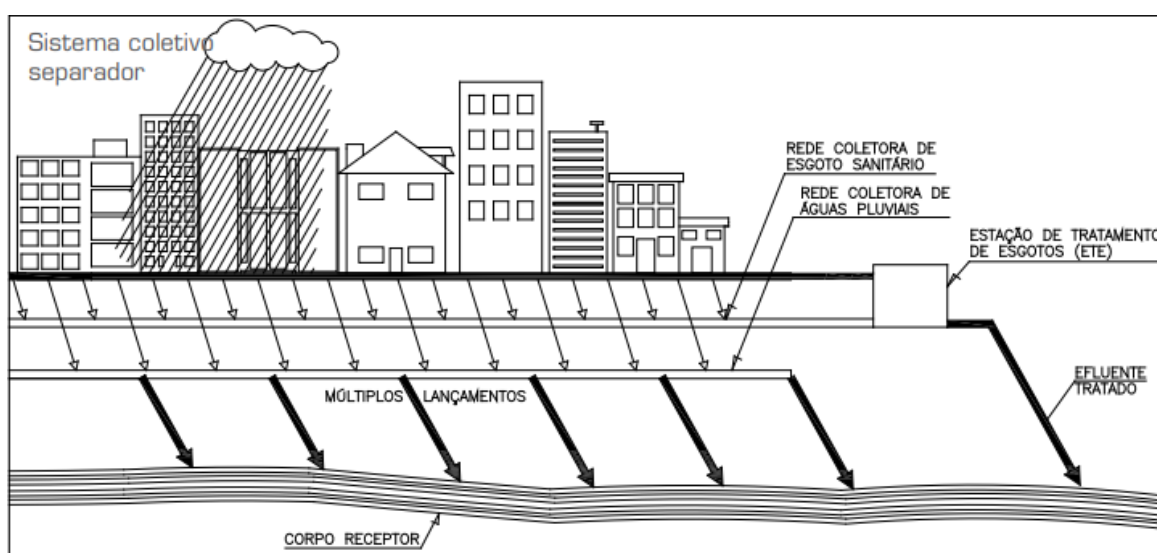
4.5 Sistema de coleta e transporte

Há três tipos de sistemas de esgotamento sanitário: o sistema separador absoluto, sistema unitário e o sistema misto. No Brasil, segundo Funasa (2016), o responsável pela criação do sistema separador absoluto foi o engenheiro Saturnino de Brito em

1912. Brum e Wartchow (2017) complementam que esse sistema é o mais recomendado pelas normas brasileiras e é um sistema que passou a ser obrigatório segundo a Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020).

O sistema separador absoluto é responsável pela condução dos esgotos domésticos e das águas pluviais por tubulações diferentes, ou seja, uma rede conecta os efluentes das residências e a outra coleta o esgoto pluvial, como é descrito pelo Nucase (2008). A Figura 2 mostra como funciona o sistema.

Figura 2 - Sistema separador absoluto

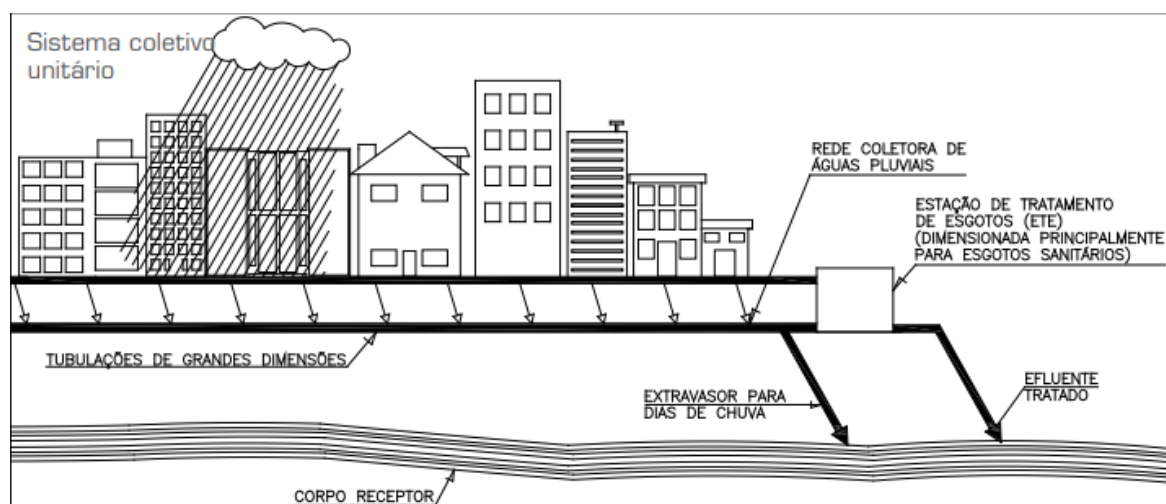


Fonte: Barros *et al.* (1995).

O funcionamento ocorre da seguinte forma: como salientam Brum e Wartchow (2017), todos os efluentes das residências são conectados por redes coletoras, que direcionam os esgotos para o coletor tronco, uma tubulação destinada a receber apenas a contribuição dos coletores e, posteriormente, os encaminham para as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Complementarmente, Brum e Wartchow (2017) destacam que, ao longo do trecho da rede, especialmente em seu início, nas trocas de direção e nas mudanças de declividade, são encontrados alguns acessórios, como os poços de visita (PVs), que permitem a inspeção e a limpeza da tubulação, quando necessário.

Em contrapartida, no sistema unitário, como o próprio nome sugere, conduz as águas pluviais e os esgotos sanitários por meio da mesma tubulação, conforme expõe Brum e Wartchow (2017). Corroborando essa ideia, Brum e Wartchow (2017) afirmam que, por conduzir duas contribuições, o sistema unitário apresenta vazão elevada e necessita de grandes tubulações, o que resulta em um custo elevado de implantação. A Figura 3 abaixo ilustra o funcionamento do sistema.

Figura 3 - Sistema unitário

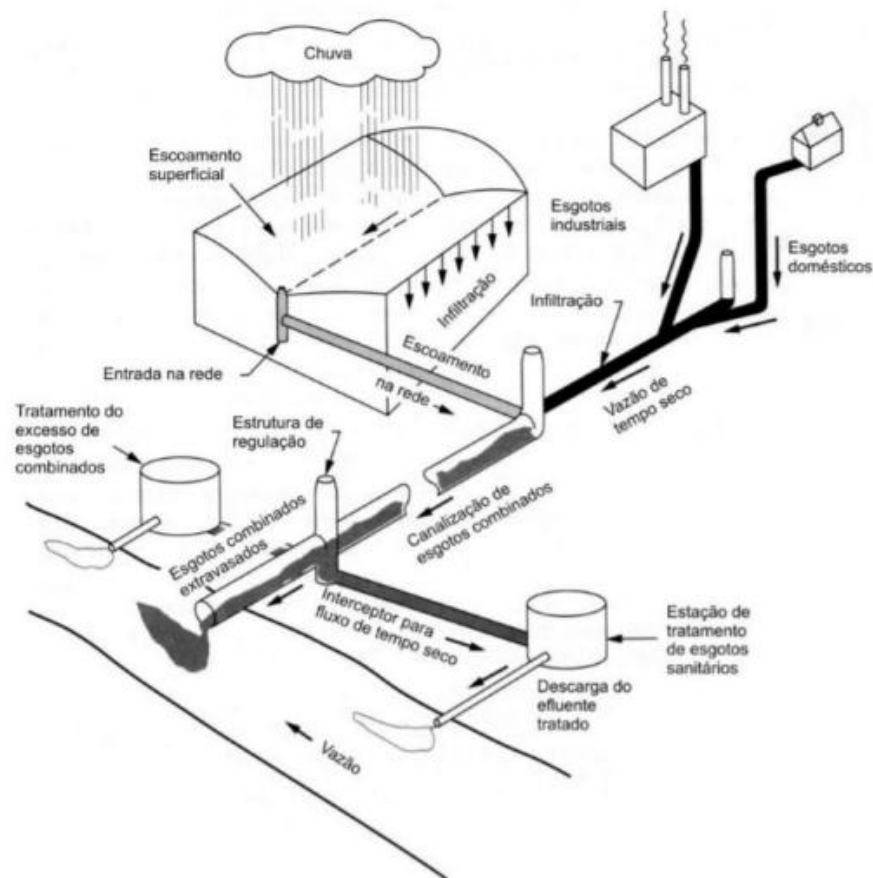


Fonte: Barros *et al.* (1995).

Como a tubulação do sistema unitário recebe duas contribuições, Brum e Wartchow (2017) ressaltam que, com o objetivo de não sobrecarregar as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), esse sistema é projetado para que o tratamento receba apenas a parcela de esgoto coletada em períodos de seca e baixa pluviosidade, e em episódios de chuva intensa, quando as vazões ultrapassam o limite de projeto, o volume excedente é desviado para os corpos d'água por meio de estruturas de regulação, dispositivos de desvio e extravasores localizados a montante da ETE. Esse cenário é representado na Figura 4 abaixo.

De acordo com Tsutiya e Bueno (2004), esse sistema foi criado em países europeus caracterizado com baixos níveis de chuvas. Em contrapartida, o Brasil é um país de clima tropical com um elevado índice pluviométrico, por isso a vazão que é transportada na rede é muito maior, tornando o tratamento total dos efluentes inviável em períodos chuvosos.

Figura 4 - Componentes do Sistema Unitário



Fonte: Gehling e Benetti (2005).

4.6 Infraestruturas de sistemas de esgotamento sanitários

As infraestruturas de sistemas de esgotamento sanitário podem ser classificadas em sistemas centralizados e descentralizados a depender da forma como são realizadas a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos esgotos gerados. Segundo Tonetti *et al.*, (2018), os centralizados são mais utilizados em zonas urbanas e rurais adensadas ou aglomeradas, enquanto os descentralizados são utilizados próximos a sua área de geração.

Para a implantação de um sistema de esgotamento sanitário, é preciso de alguns elementos básicos. Tsutiya e Alem Sobrinho (2011), destacam a presença de:

- Rede coletora: tubulações que recebem e conduzem os esgotos das residências.

- Ligação Predial: Tubulação que liga a rede predial à rede coletora. Situado entre o limite do lote e a rede (ABNT, 1986).
- Coletor secundário: Recebe contribuições de esgoto provenientes dos coletores prediais ao longo de toda a sua extensão (ABNT, 1986).
- Coletor tronco: tubulação que recebe as contribuições de outros coletores.
- Interceptor: tubulação que coleta os esgotos das redes coletoras e destina para o tratamento. O recebimento do esgoto pela rede coletora se dá ao longo do seu comprimento.
- Emissário: tubulação que conduz o esgoto até o tratamento ou destinação final.
- Sifão invertido: usado quando há obstáculo na tubulação de esgoto.
- Estações elevatórias: equipamento que transporta o esgoto dos locais onde não é possível ser conduzido por gravidade, ou seja, do local mais baixo para o mais alto.
- Estação de Tratamento: destinada ao tratamento dos esgotos antes de lançar no corpo receptor.
- Corpo d'água receptor: onde ocorrem os lançamentos dos esgotos.

As figuras 5, 6 e 7 apresentam alguns elementos básicos do sistema de esgoto.

Figura 5 - Vista de uma estação elevatória.



Fonte: Funasa (2014).

Figura 6 - Emissário em construção – Rio Guaíba/RS



Fonte: Funasa (2014).

Figura 7 - ETE Cerquilha/SP.



Fonte: Funasa (2014).

A Figura 8 representa uma rede coletora de esgoto desde a ligação residencial até a sua disposição final após passar pela estação de tratamento.

Figura 8 - Sistema de esgotamento sanitário



Fonte: Funasa (2014).

Devido à composição dos esgotos, podem ocorrer ao longo de seu percurso, entupimentos e obstruções. Para evitá-los ou minimizá-los, são utilizados órgãos acessórios que permitem ou não a entrada de pessoas para a sua manutenção, conforme aponta Tsutiya e Além Sobrinho (2011). Os principais órgãos acessórios são apresentados na Tabela 4:

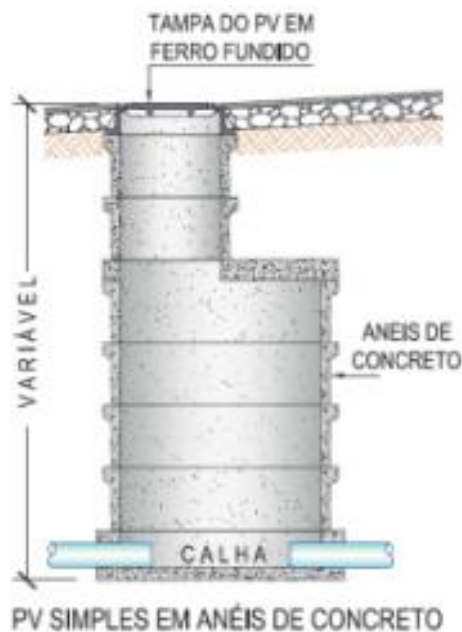
Tabela 4 - Principais órgãos acessórios da rede.

ÓRGÃOS ACESSÓRIOS	CARACTERÍSTICAS
Terminal de Limpeza (TL)	Dispositivo não visitável constituído por um trecho de tubulação que permite a introdução de equipamentos de limpeza e desobstrução, podendo substituir o poço de visita no início dos coletores.
Caixa de Passagem (CP)	Dispositivo não visitável, constituído por uma câmara sem acesso, usado em pontos de mudança de direção ou de declividade da rede. Não permite o acesso para inspeção e manutenção.
Tubo de Inspeção e Limpeza (TIL) ou Poço de Inspeção (PI)	Dispositivo não visitável, que não permite a passagem de pessoas, sendo destinado exclusivamente à inspeção e à introdução de equipamentos de limpeza e desobstrução dos coletores. Reunião de até 3 coletores.
Poço de visita (PV)	Dispositivo fixo, constituído por uma construção composta de chaminé de acesso na parte superior (permite a visita) e uma parte mais ampla denominado balão. equipamento visitável usado para manutenções na tubulação. Reunião de mais de 3 entradas.

Fonte: Tsutiya e Além Sobrinho (2011).

A Figura 9 apresenta um poço de visita do esgotamento sanitário.

Figura 9 - Poços de Visita (PV)



Fonte: Funasa (2019).

4.7 Dimensionamento da rede coletora de esgoto

O dimensionamento das redes é feito através de equações, normas técnicas e regulamentações provenientes do Manual do Empreendedor da concessionária Saneouro, NBR 9649/1986 (ABNT, 1986), NBR 14486/2000 (ABNT, 2000), NBR 9486/1986 (ABNT, 1986) e Tsutiya e Além Sobrinho (2011) para garantir a segurança e qualidade da infraestrutura de esgoto, levando em conta o início e o fim do plano, ou seja, considerando as variações nas características populacionais e no consumo ao longo do tempo.

A seguir, na Tabela 5 são apresentados os parâmetros a serem usados no dimensionamento da rede coletora de esgoto.

Tabela 5 - Parâmetros Gerais para O dimensionamento da rede coletora

Parâmetros	Valores	Unidade	Referência
Coeficiente de retorno	0,8	adimensional	Saneouro (2021)
Vazão per capita	200	l/s	Saneouro (2021)
Número de habitantes	4710	hab	Plano Diretor (2024)
Coeficiente do dia de maior consumo	1,2	adm	Saneouro (2021)
Coeficiente da hora de maior consumo	1,5	adm	Saneouro (2021)
Diâmetro Mínimo	150	mm	Saneouro (2021)
Taxa de infiltração	0,05	l/m.km	Crespo (1997)
Recobrimento mínimo	0,9	m	Saneouro (2021)
Tensão Trativa mínima	1	Pa	NBR 9486/1986 (ABNT, 1986)
Coeficiente de Manning	0,013	adm	Tsutiya e Além Sobrinho (2011)
Relação y/d	<0,75	adm	ABNT 9486/1986 (ABNT, 1986)
Altura da caixa de inspeção	0,5	m	Tsutiya (2011)
Declividade do ramal predial	0,02	m/m	Tsutiya (2011)
Distância entre a geratriz inferior interna do coletor público até a geratriz inferior interna do ramal predial	0,2	m	Tsutiya (2011)

Fonte: Autora (2026).

4.7.1 Vazão Média

Segundo a NBR 9649/1986 (ABNT, 1986) para determinar a vazão média foi utilizada a Equação 1, adotando os parâmetros indicados no Manual do Empreendedor da Saneouro (2021). Segundo o documento, o consumo per capita (q) é de 200 L/hab.dia e considera-se uma média de 4 moradores por domicílio, valor utilizado para estimar a população total do loteamento e um coeficiente de retorno para esgoto de 0,80.

$$Qd (l/s) = \frac{CPq}{86400} \quad (1)$$

onde,

C = coeficiente de retorno (adimensional);

P = população (número de lotes x 4 habitantes);

q = consumo per capita (l/hab.dia).

4.7.2 Vazão Mínima de Projeto

Para a vazão de projeto, embora cada trecho tenha sua vazão própria calculada a partir das contribuições acumuladas a montante, adotou-se o valor de 1,5 L/s, correspondente à vazão mínima recomendada pela NBR 9649/1986 (ABNT, 1986).

4.7.3 Taxa de Contribuição de Infiltração

A NBR 9649/1986 (ABNT, 1986), ao tratar do coeficiente de infiltração, estabelece que a taxa de contribuição de infiltração depende de condições locais. Para situações em que existe apenas uma rede coletora de esgoto na via pública, a norma permite calcular a taxa de contribuição linear por meio das Equações 2 e 3, no início do plano (Txi) e no final do plano (Txf).

$$Txi = \frac{K2*Qdi}{Li} + Tinf \quad (2)$$

$$Txf = \frac{K1*K2*Qdf}{Lf} + Tinf \quad (3)$$

onde,

K1 = Coeficiente do dia de maior consumo;

K2 = Coeficiente da hora de maior consumo;

Qd = vazão média inicial ou final (l/s);

Li e Lf = comprimento da rede simples inicial ou final (m);

Tinf = taxa de contribuição de infiltração, l/s.m ou l/s.km.

4.7.4 Diâmetro e Declividade

Para obter o diâmetro é necessário utilizar a Equação 4, conforme Tsutiya e Além Sobrinho (2011) obedecendo às condições locais, entretanto a Saneouro determina que o diâmetro mínimo seja de 150mm em tubos de PVC. Sendo assim, caso o valor

encontrado seja menor que o mínimo, é adotada o 150mm como o diâmetro. Em relação a declividade, de acordo com os mesmos autores, para garantir a autolimpeza, cada trecho da rede deve ter uma tensão trativa igual ou superior a 1,0 Pa e a declividade mínima que atende a essa condição pode ser obtida por meio da expressão aproximada apresentada nas Equação 5, adotando-se o coeficiente de Manning $n = 0,013$ e a razão $Y/D = 0,75$. De acordo com o Manual do Empreendedor da Saneouro (2021), a declividade mínima (I_{min}) é de 0,0045 m/m.

$$d_0 = 0,3145 * \left(\frac{Q_f}{i_0^{1/2}}\right)^{3/8} \quad (4)$$

Onde,

Q_f = vazão final de projeto (m^3/s)

i_0 = declividade do coletor (m/m)

$$I_{min} = 0,0055 * (QI)^{-0,47} \quad (5)$$

Sendo,

Q_i = vazão inicial no trecho (m^3/s)

4.7.5 Recobrimento Mínimo e Profundidade Mínima

O Manual do Empreendedor da Saneouro (2021) estabelece que o recobrimento mínimo deve ser de 90 cm. Dessa forma, caso o valor calculado resulte em um recobrimento inferior a esse limite, adota-se obrigatoriamente o valor mínimo definido pelo manual. Para a determinação da profundidade mínima do coletor, utilizou-se a Equação 6:

$$p = a + i x L + h + hc \quad (6)$$

onde,

P = profundidade mínima do coletor público (m);

a = distância entre a geratriz inferior interna do coletor público até a geratriz inferior interna do ramal predial (m) – 20 cm;

i = declividade do ramal predial (m/m) – 2%;

L = distância entre o coletor público e a caixa de inspeção (m);

h = desnível entre a via pública e o aparelho sanitário mais desfavorável (h = 0 não ocorre soleiras negativas);

hc = altura da caixa de inspeção (m) – 50 cm.

4.7.6 Tensão trativa

Para que se tenha uma auto limpeza na tubulação e evitar que acumule sólidos, a tensão trativa deve ter um valor mínimo de 1,0 Pa. A sua equação é definida por:

$$\sigma_t = \gamma \times RH \times i_0 \quad (7)$$

Em que:

σ_t - Tensão trativa ou tensão de arraste (Pa);

γ - Peso específico da água (N/m);

RH – Raio hidráulico (m);

i_0 – Declividade (m/m).

De acordo com Martinelli *et al.*, (2014), a tensão trativa trata-se de uma grandeza fundamental na operação das redes de esgotamento sanitário, responsável por manter o particulado sólido em movimento no interior das tubulações.

4.7.7 Cálculo de verificação

Padrões de referência para análise dos cálculos:

- Relação y/d inferior a 0,75 (Software Tubocalc);
- Velocidade deve ser inferior à velocidade crítica (Software Tubocalc);
- Tensão trativa mínima de 1 Pa (ABNT, 1986).

$$V_c = 6 \times \sqrt{g * Rh} \quad (8)$$

onde,

V_c é a velocidade crítica (m/s);

Rh é o raio hidráulico para a vazão final (m);

g é aceleração da gravidade (9,8 m/s²).

Quando a velocidade final (Vf) ultrapassa a velocidade crítica (Vc), a lâmina d'água admissível deve ser limitada a 50% do diâmetro interno do coletor. Além disso, conforme estabelece a NBR 9649/1986 (ABNT, 1986), a velocidade final máxima recomendada para o escoamento é de 5 m/s.

4.8 Sistemas de tratamento de esgotos sanitários no sistema centralizado

Posteriormente às etapas de coleta e transporte, os efluentes são encaminhados para as estações de tratamento de esgotos, que contam com as etapas: preliminar, primária, secundária e até terciária. Esses tratamentos têm como finalidade a eliminação de impurezas físicas, químicas e biológicas que estão presentes nos esgotos domésticos despejados nos corpos d'água (Von Sperling, 2014). Segundo Menezes e Mendonça (2017), o tratamento deve atender aos critérios estabelecidos pela legislação vigente, no que se refere à remoção dos sólidos presentes no esgoto para o seu lançamento no corpo receptor, além de atender as viabilidades técnicas e econômicas

Conforme Von Sperling (2014), o tratamento preliminar tem a função de remover os sólidos grosseiros e a areia, utilizando para isso a grade e o desarenador. As grades são usadas para remover os sólidos com dimensões maiores que os espaçamentos presentes nas barras do gradeamento (Von Sperling, 2005). Já os desarenadores são utilizados para a remoção das partículas de areia presentes no esgoto. Segundo Von Sperling (2005), seu funcionamento baseia-se no processo de sedimentação, no qual os grãos de areia se depositam no fundo da caixa, enquanto a matéria orgânica permanece em suspensão para ser removida nas próximas etapas do tratamento. De maneira complementar, Oliveira (2020) afirma que, para fins de controle operacional, é utilizado um medidor de vazão, como a calha Parshall.

Ressalta-se que, embora não seja o enfoque deste trabalho o detalhamento das unidades do tratamento preliminar, considera-se que, independentemente das

alternativas tecnológicas de tratamento avaliadas, todas contemplam a etapa preliminar composta por gradeamento, desarenação e medição de vazão por meio de calha Parshall.

A seguir, são apresentadas as infraestruturas dessa unidade que compõem o tratamento preliminar, iniciando pelo gradeamento, que atua como a primeira barreira física, conforme a Figura 10.

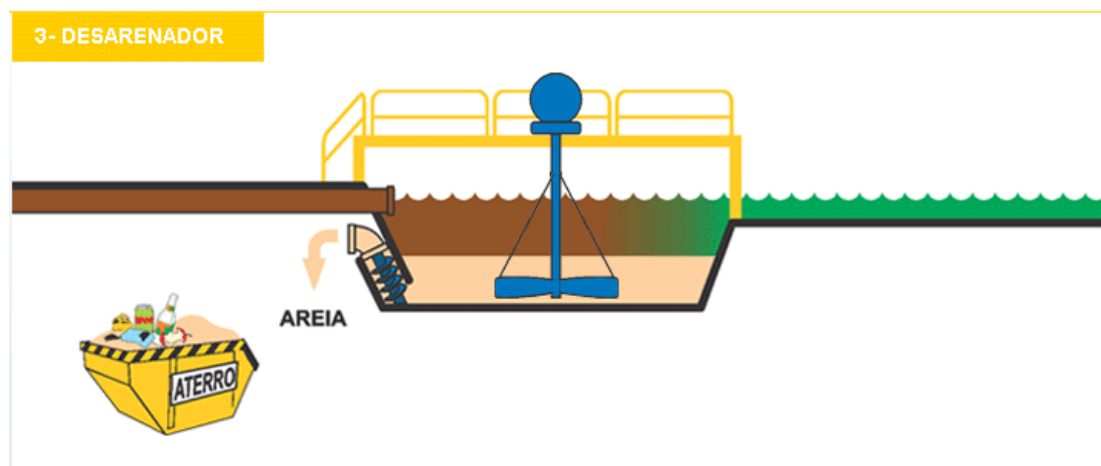
Figura 10 - Gradeamento da etapa preliminar



Fonte: Auto Sustentável (2020).

Em seguida, o processo de desarenação, sendo crucial para a remoção de partículas de areia através da sedimentação, representado na Figura 11.

Figura 11 - Desarenador da etapa preliminar



Fonte: ETEJ (2019).

Por fim, a calha Parshall apresentada na Figura 12, utilizado para medição de vazão.

Figura 12 - Calha Parshall da etapa preliminar



Fonte: Auto Sustentável (2020).

No tratamento primário, ocorre a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis que permaneceram após o tratamento preliminar, de acordo com Von Sperling (2014). Além disso, segundo esse autor, essa etapa promove a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), devido à remoção dos sólidos orgânicos suspensos

por meio da sedimentação, apresentando uma eficiência que varia de 25% a 35% na redução da DBO e entre 60% a 70% na remoção dos sólidos suspensos. Von Sperling (2014) ressalta que as unidades de tratamento primário não atendem aos padrões de lançamento do efluente, devido à sua baixa eficiência na remoção de poluentes. Isso é reforçado pela legislação ambiental vigente no estado de Minas Gerais, estabelecida pela Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022 que em seu Capítulo V, define os padrões e condições para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Segundo Von Sperling (2014), os tipos de tecnologias mais comuns em tratamento primário são os tanques de decantação que, podem ser retangulares ou circulares e favorecem a sedimentação dos sólidos que possuem uma densidade superior à do líquido, conforme a Figura 13. Os materiais flutuantes são direcionados para o próximo tratamento.

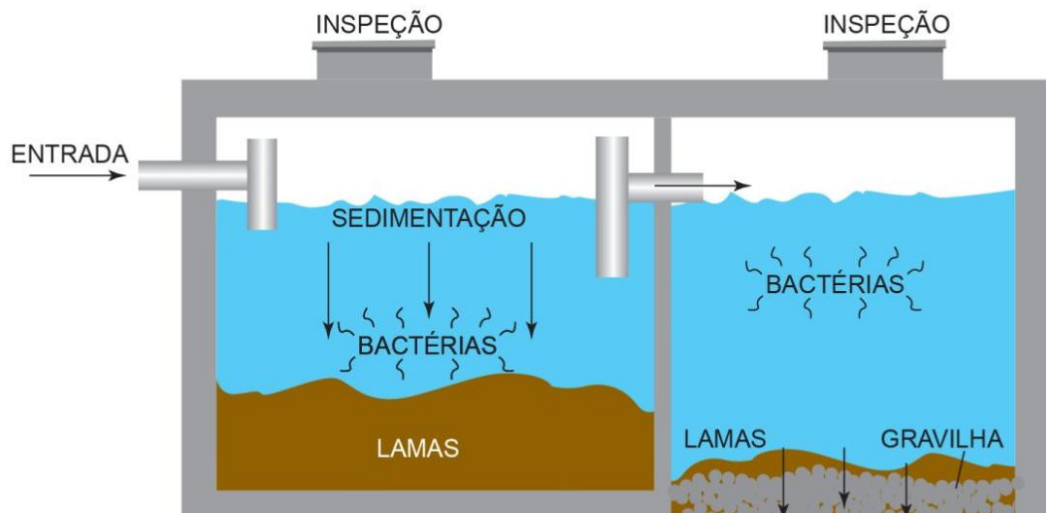
Figura 13 - Tanques de decantação



Fonte: Fibrav (2024).

Outra forma de tratamento é através da fossa séptica que, também age como decantador, onde os sólidos ficam sedimentados no fundo permanecendo durante alguns meses para a sua estabilização que se dá em condições anaeróbias (Von Sperling, 2014), sendo representada na Figura 14.

Figura 14 - Fossa séptica para decantação



Fonte: Adaptado de EcoBactérias (2021).

Já o tratamento secundário tem como finalidade remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão que não foi eliminada nas etapas anteriores, conforme Von Sperling (2014). Para isso, são utilizados processos biológicos com a atuação de micro-organismos aeróbicos e anaeróbicos, por meio de unidades como lodos ativados, filtros aeróbios submersos, filtros biológicos, lagoas de alta taxa, lagoas anaeróbias e reatores anaeróbios, entre os quais se destaca o reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) (Von Sperling, 2014). As Tabelas a seguir, apresentam os métodos mais comuns no tratamento secundário.

Tabela 6 - Métodos de tratamento mais comuns com lagoas de estabilização.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	
Lagoa facultativa	A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa anaeróbia - Lagoa facultativa	A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
Lagoa aerada facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.
Lagoa aerada de mistura completa - Lagoa de decantação	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.

Fonte: Von Sperling (1994b).

A seguir, apresenta-se a Tabela 7 com as principais variações do processo de lodos ativados.

Tabela 7 - Métodos de tratamento mais comuns com lodos ativados.

LODOS ATIVADOS	
Lodos ativados convencional	<p>A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentadas no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente a que é produzida. Este lodo removido necessita uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.</p>
Lodos ativados por aeração prolongada	<p>Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a biomassa permanece mais tempo no sistema (os tanques de aeração são maiores). Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção. Em decorrência, o lodo excedente retirado (bactérias) já sai estabilizado. Não se incluem usualmente unidades de decantação primária.</p>
Lodos ativados de fluxo intermitente	<p>A operação do sistema é intermitente. Assim, no mesmo tanque ocorrem, em fases diferentes, as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados). Quando os aeradores estão desligados, os sólidos sedimentam, ocasião em que se retira o efluente (sobrenadante). Ao se religar os aeradores, os sólidos sedimentados retornam à massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Não há decantadores secundários. Pode ser na modalidade convencional ou aeração prolongada.</p>

Fonte: Von Sperling (1994b).

Na sequência, a Tabela 8 reúne os diferentes tipos de sistemas aeróbios com biofilmes.

Tabela 8 - Métodos de tratamento mais comuns com sistemas aeróbios com biofilmes

SISTEMA AERÓBIOS COM BIOFILMES	
Filtro de baixa carga	A DBO é estabilizada aerobiamente por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. O líquido percola pelo tanque, saindo pelo fundo, ao passo que a matéria orgânica fica retida pelas bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. No sistema de baixa carga, há pouca disponibilidade de DBO para as bactérias, o que faz com que as mesmas sofram uma autodigestão, saindo estabilizadas do sistema. As placas de bactérias que se despregam das pedras são removidas no decantador secundário. O sistema necessita de decantação primária.
Filtro de alta carga	Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo. O efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro, de forma a diluir o afluente e garantir uma carga hidráulica homogênea.
Biodisco	Os biodiscos não são filtros biológicos, mas apresentam a similaridade de que a biomassa cresce aderida a um meio suporte. Este meio é provido por discos que giram, ora expondo a superfície ao líquido, ora ao ar.

Fonte: Von Sperling (1994b).

A próxima Tabela 9 apresenta os principais tipos de sistemas anaeróbios aplicados ao tratamento de esgoto.

Tabela 9 - Métodos de tratamento mais comuns com sistemas anaeróbios

SISTEMAS ANAERÓBIOS	
Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)	A DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias dispersas no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida nas zonas de sedimentação e de coleta de gás. A zona de sedimentação permite a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa) ao sistema, aumentando a sua concentração no reator. Entre os gases formados inclui-se o metano. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa, e o mesmo já sai estabilizado.
Filtro anaeróbio	A DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no reator. O tanque trabalha submerso, e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa, e o mesmo já sai estabilizado.

Fonte: Von Sperling (1994b).

Em seguida, a Tabela 10 demonstra as formas de tratamento por disposição no solo.

Tabela 10 - Métodos de tratamento mais comuns com disposição no solo

DISPOSIÇÃO NO SOLO	
Infiltração lenta	Os esgotos são aplicados ao solo, fornecendo água e nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada, parte percola no solo, e a maior parte é absorvida pelas plantas. As taxas de aplicação no terreno são bem baixas. O líquido pode ser aplicado segundo os métodos da aspersão, do alagamento, e da crista e vala.
Infiltração rápida	Os esgotos são dispostos em bacias rasas. O líquido passa pelo fundo poroso percola pelo solo. A perda por evaporação é menor, face às maiores taxas de aplicação. A aplicação é intermitente, proporcionando um período de descanso para o solo, Os tipos mais comuns são: percolação para a água subterrânea, recuperação por drenagem subsuperficial e recuperação por poços freáticos.
Infiltração subsuperficial	O esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo. Os locais de infiltração são preenchidos com um meio poroso, no qual ocorre o tratamento. Os tipos mais comuns são as valas de infiltração e os sumidouros.
Escoamento superficial	Os esgotos são distribuídos na parte superior de terrenos com uma certa declividade, através do qual escoam, até serem coletados por valas na parte inferior. A aplicação é intermitente. Os tipos de aplicação são: aspersores de alta pressão, aspersores de baixa pressão e tubulações ou canais de distribuição com aberturas intervaladas.

Fonte: Von Sperling (1994b).

Por fim, a Tabela 11 expõe os sistemas alagados construídos.

Tabela 11 - Método de tratamento com sistemas alagados construídos

SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS	
Sistema alagado construído (wetlands)	Esses sistemas são constituídos por lagoas ou canais de pequena profundidade, nos quais se desenvolvem plantas aquáticas, e operam com base em processos biológicos, químicos e físicos para o tratamento do esgoto. Geralmente, apresentam camadas impermeabilizantes, formadas por argila compactada ou por membranas sintéticas, com a finalidade de evitar infiltrações no solo.

Fonte: Von Sperling (1994b).

A Figura 15 apresenta o esquema de uma lagoa facultativa, método de tratamento secundário amplamente utilizado.

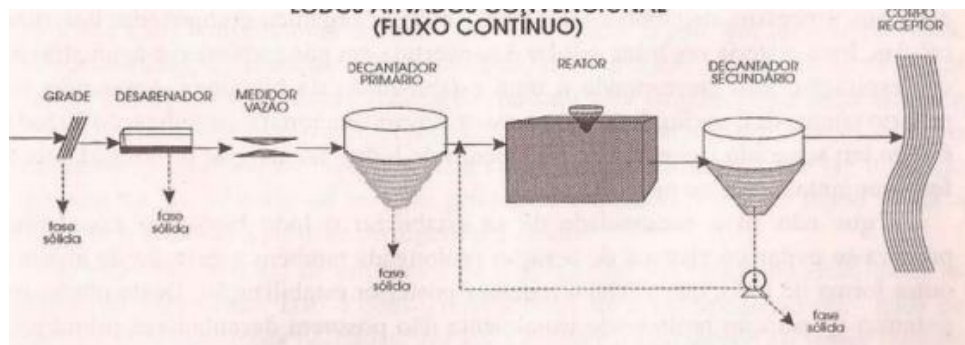
Figura 15 - Lagoa Facultativa



Fonte: Von Sperling (2005).

A Figura 16 apresenta o sistema de lodos ativados convencional, operando em fluxo contínuo, caracterizado pela elevada eficiência na remoção de matéria orgânica.

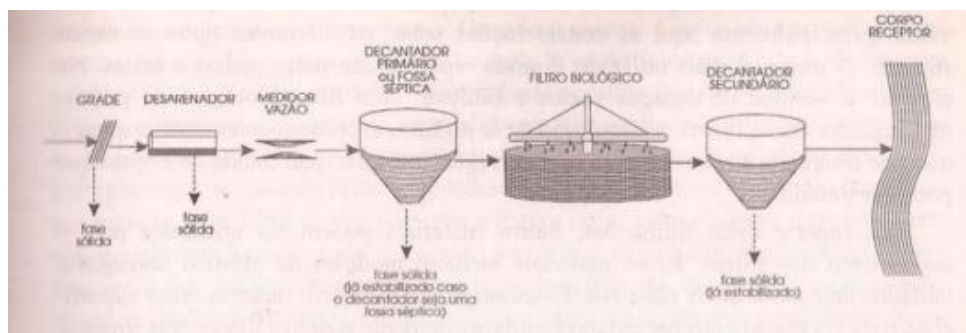
Figura 16 - Lodos ativados convencional (Fluxo Contínuo)



Fonte: Von Sperling (2005).

A Figura 17 ilustra o funcionamento de um filtro biológico de baixa carga, no qual a remoção da matéria orgânica ocorre por meio do crescimento de biomassa aderida ao meio suporte.

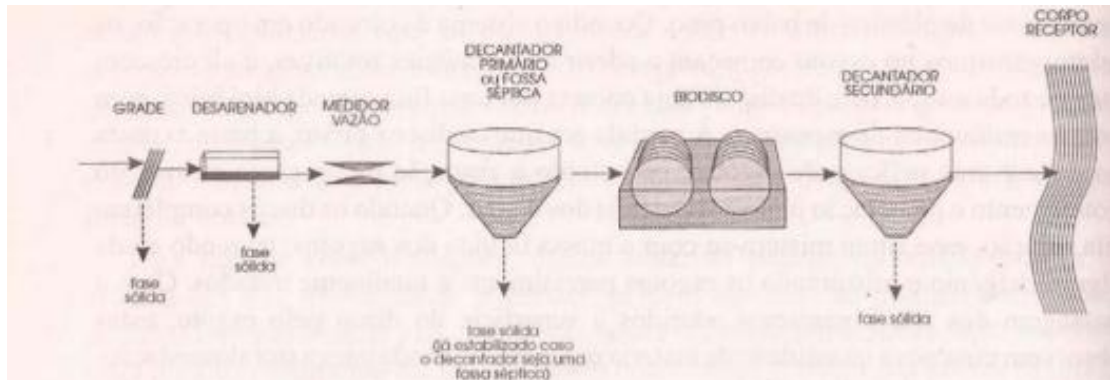
Figura 17 - Filtro Biológico de Baixa Carga



Fonte: Von Sperling (2005).

A Figura 18 apresenta o sistema de biodisco, processo biológico de biomassa aderida que promove o tratamento do esgoto por meio da rotação de discos parcialmente submersos.

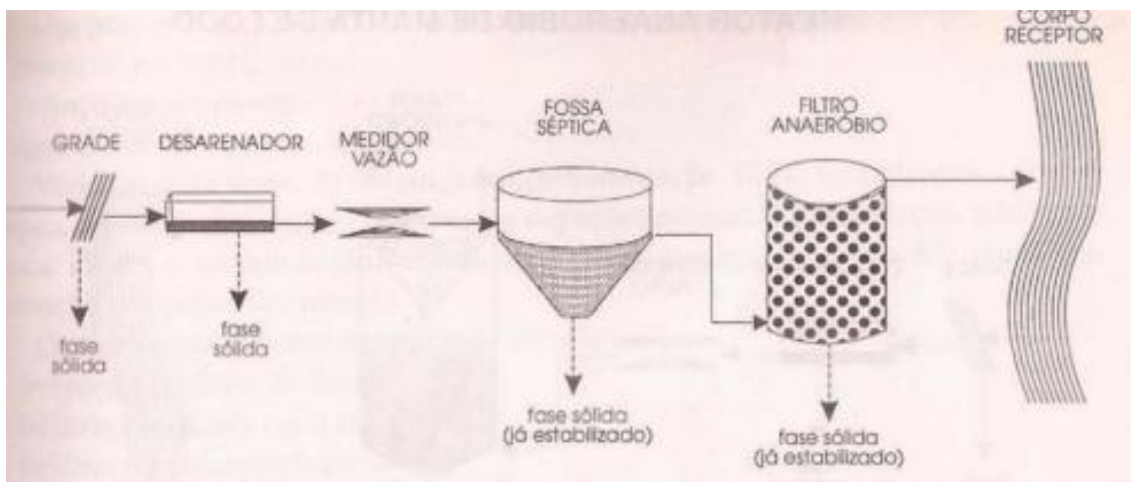
Figura 18 - Biodisco



Fonte: Von Sperling (2005).

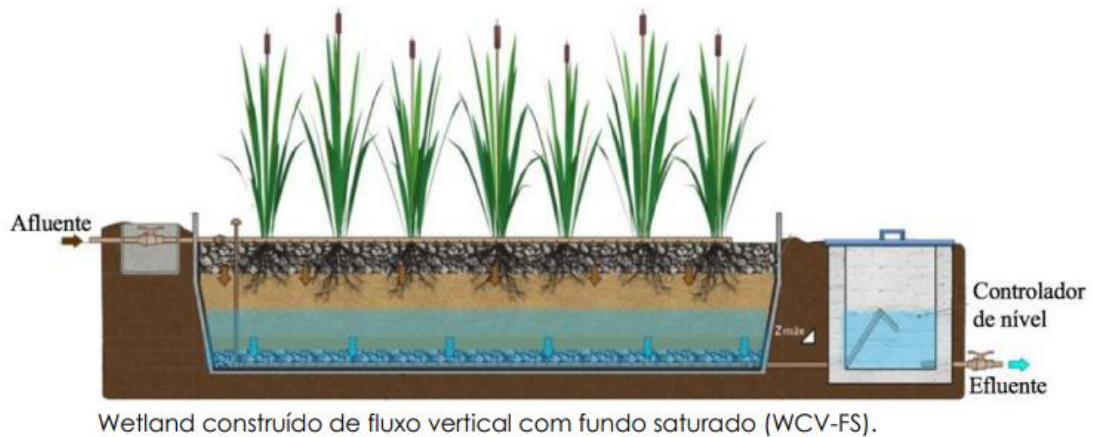
A Figura 19 ilustra o sistema de fossa séptica seguida de filtro anaeróbio, tecnologia frequentemente empregada em áreas com menor adensamento populacional.

Figura 19 - Sistema de Fossa Séptica - Filtro Anaeróbio



Fonte: Von Sperling (2005).

Figura 20 - Sistemas alagados construídos (Wetlands)



Fonte: GESAD/UFSC (2020).

Segundo Von Sperling (2014), o tratamento secundário apresenta eficiência de remoção variando entre 60% e 90% para coliformes e DBO, e entre 10% e 50% para nutrientes, atendendo, assim, aos padrões exigidos pela Copam 08/2022 para o lançamento dos efluentes em corpos hídricos em relação aos sólidos e DBO, porém não atende para o lançamento de nutrientes. Por isso, a necessidade de um tratamento terciário.

De acordo com Von Sperling (2014), o tratamento terciário remove impurezas que não foram eliminadas nos tratamentos anteriores, bem como a remoção de impurezas específicas. Segundo Tosetto (2005), o tratamento terciário faz o uso de processo físico-químicos com o uso da coagulação, floculação, filtração e desinfecção. A Tabela 12, reúne as principais alternativas do tratamento terciário.

Tabela 12 - Alternativas de tratamento em nível terciário

<p>Coagulação e mistura rápida</p>	<p>Processo utilizado para remover partículas em suspensão, coloides e outras impurezas da água. Esse processo envolve a adição de produtos químicos específicos à água bruta para desestabilizar as partículas finas que são difíceis serem removidas apenas pela gravidade. Essas partículas se aglomeram em agregados maiores que podem ser removidos mais facilmente por meio de sedimentação ou filtração.</p>
<p>Pré-floculação</p>	<p>Provocam a desestabilização dos aglomerados de partículas da coagulação, fazendo com que se depositem no fundo da solução e sejam removidos. O peso do floculante varia de acordo com o tipo de partícula.</p>
<p>Filtração direta</p>	<p>O efluente passa por um meio poroso para remoção de partículas remanescentes. Sua eficiência depende diretamente da qualidade da coagulação e floculação anteriores, sendo responsável pela redução de sólidos em suspensão, matéria orgânica e microrganismos. A filtração direta destaca-se pela simplicidade operacional, menor produção de lodo e pela produção de efluentes de alta qualidade, favorecendo a desinfecção e o reúso.</p>
<p>Desinfecção com ultravioleta</p>	<p>É a etapa do tratamento destinada à inativação de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus, protozoários e helmintos, sendo fundamental para garantir a segurança sanitária do efluente e sua disposição final ou reúso.</p>

Fonte: Adaptado Tosetto (2005).

Como foi listado anteriormente, existem diversos tipos de tratamento e disposição dos esgotos produzidos. Recomenda-se que em municípios de pequeno porte, sejam adotadas alternativas mais simples (Brasil, 2019), de modo a atender os aspectos a seguir:

- Baixo custo de implantação e de operação;
- Adequada eficiência na remoção de poluentes;
- Tecnologia aplicável em pequena escala (sistemas descentralizados), mas com flexibilidade para expansões futuras e aumento de eficiência no processo;
- Reduzido problema com o manejo e disposição do lodo produzido e possibilidade de recuperação de subprodutos utilizáveis;
- Elevada vida útil.

4.9 Sistemas de tratamento de esgotos sanitários no sistema descentralizado

Segundo Resende, Ferreira e Fernandes (2018), as áreas rurais geralmente apresentam menor acesso a serviços de saneamento básico. Corroborando com a ideia, IAS (2022) acrescenta que isso implica na violação dos direitos humanos. Nesse sentido, Tonetti *et al.*, (2018) afirmam que, diante da inexistência ou da insuficiência de redes coletoras de esgoto nessas localidades, torna-se necessário adotar alternativas viáveis para a implantação e operação dos sistemas de esgotamento sanitário. A carência na implantação de serviços públicos de saneamento frente ao rápido crescimento populacional permite prever a adoção de soluções individuais para o tratamento de esgotos, principalmente nos países em desenvolvimento (Jordão; Pessôa, 2011). Conforme destaca Andrade Neto (1997), não existe uma solução única considerada a mais eficaz, mas sim aquela que melhor se adapta às condições específicas e aos objetivos de cada situação.

Desta forma, Tonetti *et al.* (2018) evidencia que, umas das opções para o tratamento no meio rural é a utilização de sistemas descentralizados. Considerando que o modelo centralizado de esgotamento sanitário é inviável em áreas rurais, principalmente pela baixa economia de escala e pela baixa densidade populacional como destacam Lira, Cândido; Oliveira Junior (2013).

Os sistemas de tratamento descentralizados são utilizados para atender pequenas populações de 5 a 10.000 habitantes e solucionar problemas com custos reduzidos, conforme apontado por Hoffman *et al.* (2004). Além disso, Tonetti *et al.* (2018) acrescentam que esses sistemas contribuem para a sustentabilidade local, a redução da contaminação do solo e rios locais e a depender do tipo de método utilizado, pode ajudar na produção de alimentos.

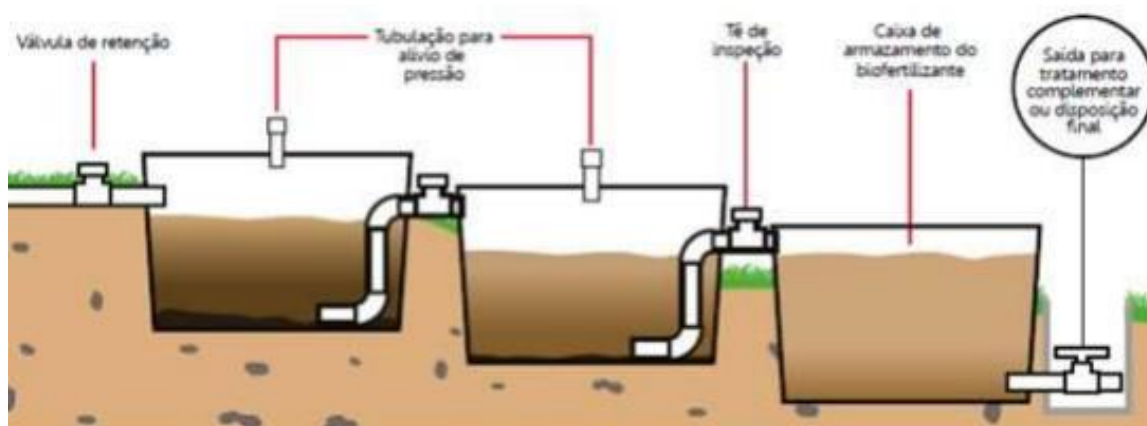
Um dos modelos mais utilizados em áreas rurais é a fossa rudimentar. No entanto, esse método é considerado inadequado, pois apresenta alto risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas, além de poder ocasionar doenças de veiculação hídrica, como alerta Freitas *et al.* (2015).

Segundo Freire (2022), as principais tecnologias de sistemas descentralizados em áreas urbanas são: fossa séptica biodigestora, biodigestor, tanque de evapotranspiração e círculo de bananeiras.

Nesse contexto, o tratamento realizado pela fossa séptica biodigestora ocorre por meio da fermentação promovida por bactérias anaeróbias, que decompõem a matéria orgânica presente no esgoto (Lima *et al.*, 2012; Faustino, 2007).

Esse sistema pode ser construído utilizando duas caixas d'água tampadas, conectadas ao vaso sanitário, ou seja, a água e os resíduos vão para essas caixas. conforme ilustrado na Figura 21, além disso é utilizado uma terceira caixa de mesmo volume, destinada à recepção dos efluentes, como descrito por Faustino (2007). Segundo Freire (2022), o esterco é utilizado como meio inoculante para estimular a atividade microbiana, aumentando assim a eficiência do biodigestor.

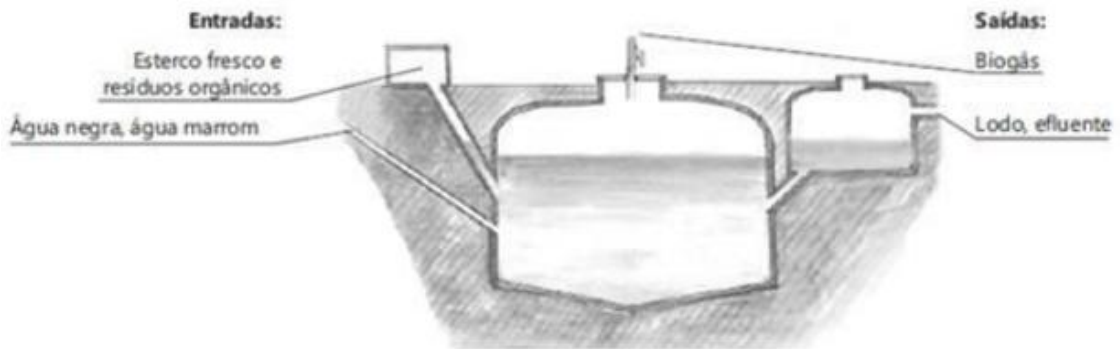
Figura 21 - Esquema fossa séptica biodigestora



Fonte: Figueiredo (2019).

O biodigestor é um equipamento no qual a matéria orgânica é decomposta por meio de fermentação controlada, resultando na geração de um combustível de baixo custo. Dentro do cilindro do equipamento, essa decomposição ocorre em três fases: inicialmente, ocorre a hidrólise enzimática, seguida pela fase ácida, e por fim, microrganismos transformam o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano (Barbosa; Langer, 2011), conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Biodigestor tipo chinês



Fonte: Catalosan (2018).

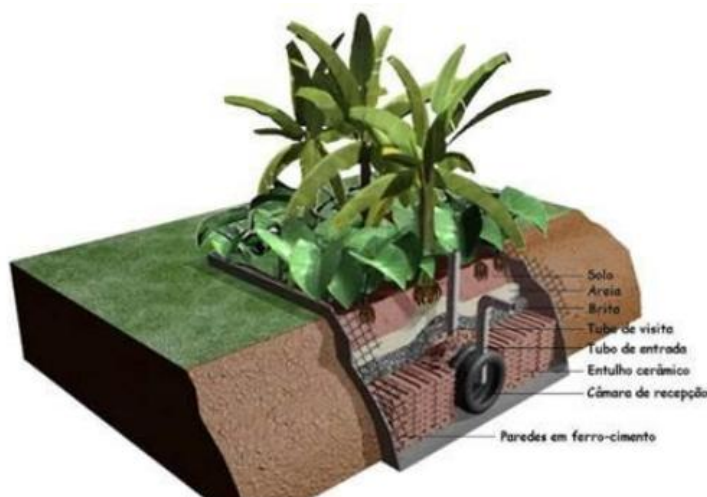
Segundo Galbiati (2009), o tanque de evapotranspiração é dimensionado para atender individualmente cada unidade familiar e trata de uma estrutura impermeabilizada preenchida com camadas de materiais de granulometrias diferentes e plantas de crescimento rápido, que demandam grande volume de água. O sistema recebe os dejetos provenientes dos vasos sanitários. Então, de acordo com Oliveira e Leal (2017), as demais que são as águas vindas das pias, tanques e chuveiros devem ser direcionadas para um outro sistema, que pode ser o Círculo de Bananeiras. Ainda conforme Oliveira e Leal (2017), esse sistema é feito de paredes e fundo nivelados e impermeabilizados para que não haja poluição do solo e das águas subterrâneas via escoamento e infiltração do efluente.

Oliveira e Leal (2017), acrescentam que dentro desse tanque há um túnel feito de pneus, conhecido como “câmara de fermentação”, onde será recebido os efluentes que passam por processos de degradação da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção pelas raízes e evapotranspiração pelas plantas.

Segundo Galbiati (2009), considerando o elevado teor de matéria orgânica e a presença de patógenos nos efluentes, é necessário adotar etapas de pré-tratamento e pós-tratamento nos sistemas já existentes, antes que sejam lançados no solo ou em corpos hídricos. Dito isso, o tanque de evapotranspiração surge como uma alternativa que simplifica essas etapas visto que na parte sua inferior do tanque ocorre a digestão anaeróbia dos dejetos; na parte intermediária e superior, forma-se um fluxo subsuperficial, onde o efluente é absorvido pelas raízes das plantas Galbiati (2009),

conforme ilustrado na Figura 23. Como destaca Costa (2014), o sistema é considerado sustentável, uma vez que opera de forma fechada e requer baixa intervenção operacional, necessitando apenas da manutenção das plantas utilizadas.

Figura 23 - Corte transversal do Tanque de Evapotranspiração



Fonte: Galbiati (2009).

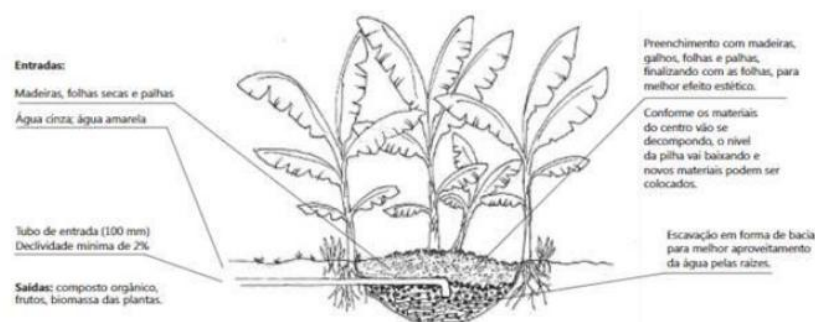
Já o círculo de bananeiras segundo Oliveira e Leal (2017) complementam o Tanque de evapotranspiração, uma vez que recebem apenas as águas provenientes das pias, chuveiros e tanques. Para a sua implantação Figueiredo *et al.*, (2018), diz que é necessário abrir uma trincheira no solo em forma circular com 2m de diâmetro e 0,8m de profundidade que será preenchido com galhos, troncos, capins e folhas na sua superfície. O resto da terra retirada será colocada nas bordas do círculo onde então serão plantadas as Bananeiras e também taiobas (Figueiredo *et al.*, 2018) que absorvem grandes quantidades de água e se adaptam a solos úmidos e com matéria orgânica. (Oliveira; Leal, 2017).

De acordo com Oliveira e Leal (2017), as águas provenientes das pias, chuveiros e tanques serão direcionadas para esse buraco através de um cano PVC. Os mesmos autores acrescentam que antes de serem despejados na vala, os efluentes passam por uma caixa de gordura para reter os óleos, gorduras e graxas contidos nas águas para que seja evitado uma possível obstrução da rede e que impermeabilize o fundo da vala. Portanto, esse sistema irá funcionar absorvendo parte dessa água e dos

nutrientes pelas plantas e por infiltração no solo e assim permitir a recarga do lençol freático (Oliveira *et al.*, 2007).

Oliveira e Leal (2017), complementam que a manutenção desse sistema deve ocorrer com o passar do tempo, à medida que o nível dos materiais colocados no preenchimento diminua. Deve-se então sempre manter a vala cheia até a superfície, como apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Círculo das Bananeiras



Fonte: Catalosan (2018).

4.10 Seleção de alternativas de tratamento

A definição de sistemas de tratamento de esgoto configura-se como um processo decisório complexo, uma vez que envolve a análise de múltiplas alternativas e a consideração de variáveis social, econômica, ambiental e técnica, muitas vezes conflitantes entre si (Zeng *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2008; Hakanen *et al.*, 2011; Molinos *et al.*, 2015). Diante dessa complexidade, a aplicação de ferramentas de análise multicritério mostra-se particularmente relevante, pois permite estruturar o problema de forma clara e sistemática, favorecendo decisões mais consistentes (Karimi *et al.*, 2011; Maurer *et al.*, 2012).

Conforme destaca Costa (2022), a escolha da alternativa mais adequada em processos de tomada de decisão depende da definição de um conjunto de critérios compatíveis com as especificidades e exigências da realidade analisada. Nesse sentido, a adoção de metodologias estruturadas contribui para organizar e ponderar

os diferentes fatores envolvidos, promovendo maior racionalidade e transparência na seleção.

O aprofundamento do conhecimento acerca dessas abordagens é de grande importância, sobretudo no contexto brasileiro, onde o processo de seleção de tecnologias para o tratamento de efluentes domésticos ainda apresenta limitações (Von Sperling; Chernicharo, 2002; Hunt, 2013). Para subsidiar a análise, utilizam-se informações provenientes de documentos técnicos e valores típicos recomendados na literatura especializada, como os apresentados por Von Sperling (2014). A metodologia adotada baseia-se na abordagem proposta por Costa (2022), desenvolvida para a seleção de sistemas de tratamento em pequenos municípios do semiárido, fundamentada na definição e aplicação de critérios técnicos, econômicos e ambientais.

4.11 Disposição do esgoto e padrões de lançamento

Posteriormente a etapa de tratamento do esgoto, o mesmo pode ser destinado a corpos hídricos, solos ou reaproveitados, desde que sejam atendidas as exigências e normas legais vigentes.

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, além de definir as condições e os padrões para o lançamento de efluentes (Conama, 2005). Posteriormente, essa resolução foi alterada pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de esgotos sanitários e industriais em corpos hídricos receptores (Conama, 2011).

Segundo o Plamsab (2025), todos os corpos d'água de Ouro Preto estão enquadrados na Classe 2 segundo Resolução CONAMA nº 357/2005. A Tabela 13 apresenta os padrões de lançamento de esgotos em corpos receptores Classe 2.

Tabela 13 – Padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores.

Condições de lançamento	
Parâmetro	CONAMA 357/2005 alterada pelo CONAMA 430/2011
pH	Entre 5,0 a 9,0
Temperatura	inferior a 40°C,
Materiais Sedimentáveis	1 mL/L
DBO 5 dias	120 mg/mL
Óleos e Graxas	100 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausência

Fonte: CONAMA (2005) alterada pelo CONAMA (2011).

5 METODOLOGIA

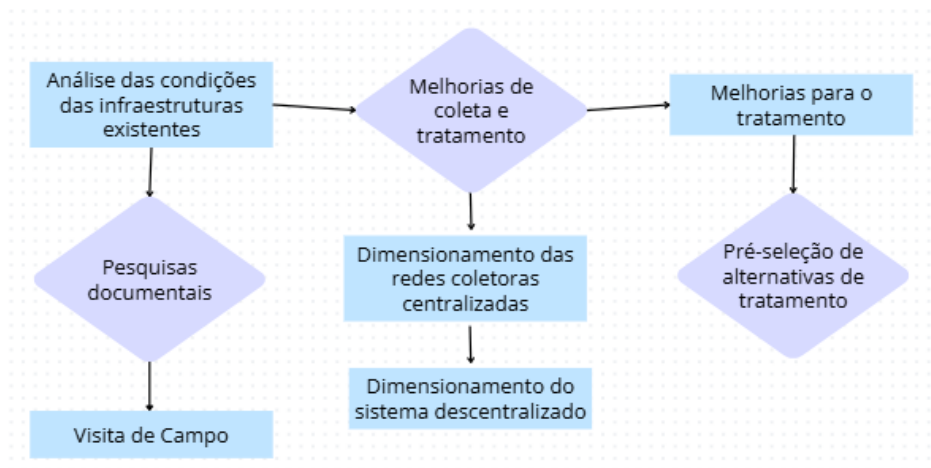
Esse estudo realizou uma revisão da literatura acadêmica com foco na análise da situação do esgotamento sanitário do local. Para isso, foram consultadas diversas bases de dados científicas da onde se selecionaram artigos, teses, dissertações e relatórios técnicos que fornecem o referencial teórico para a compreensão do problema e a proposição de soluções adequadas à realidade, juntamente com a análise de documentos oficiais do município e visitas de campo.

Com o propósito de avaliar as viabilidades de melhorias para o sistema de esgotamento sanitário do distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto (MG), o estudo contemplou as etapas de coleta e tratamento dos esgotos. Para isso, foi realizado o diagnóstico da situação atual do sistema, o pré-dimensionamento hidráulico dos condutos e a avaliação de alternativas de tratamento, considerando critérios de viabilidade técnica, estimativas de custos e atendimento à legislação ambiental e sanitária vigente.

A pesquisa se caracteriza como qualitativa e quantitativa, uma vez que busca compreender a realidade do sistema de esgotamento sanitário por meio da análise de documentos, revisão bibliográfica e visitas em campo.

As etapas metodológicas do trabalho foram organizadas de acordo com os objetivos específicos da pesquisa, apresentadas de forma resumida no fluxograma a seguir.

Figura 25 - Etapas de desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autora (2026).

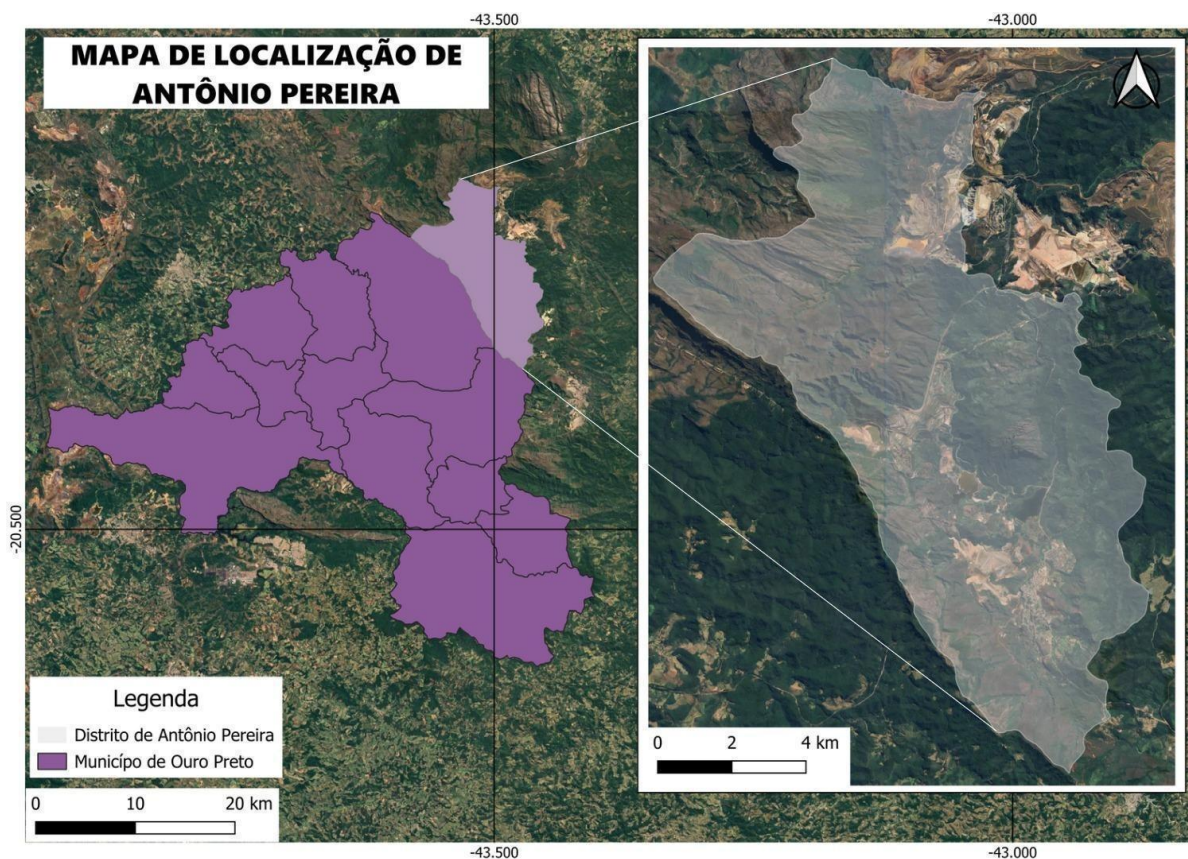
5.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo da presente pesquisa é o distrito de Antônio Pereira, um dos 13 distritos pertencentes ao município de Ouro Preto, localizado a aproximadamente 25 km de sua sede municipal (Prefeitura de Ouro Preto). Sua economia principal é a atividade mineradora. Além da mineração, o distrito apresenta potencial turístico com atrativos naturais e culturais como cachoeiras, uma vista para o Morro do Frazão, garimpo de topázio imperial, a Gruta da Lapa, Igreja Queimada e Igreja Nossa Senhora das Mercês.

De acordo com os dados disponibilizados pelo Relatório da Leitura Técnica, volume 2 do Plano Diretor de Ouro Preto (PDOP), o local possui uma população de 4710 habitantes (IBGE, 2022), além da parcela da população flutuante que cresce consideravelmente devido às instalações de diversas empresas (Relatório de Leitura Técnica - Vol 1, 2024). Ainda segundo os dados disponibilizados pelo Relatório da Leitura Técnica do Plano Diretor de Ouro Preto (PDOP), o distrito possui uma área de 119,74 km². A área urbana do distrito de Antônio Pereira localiza-se na porção centro leste da sub-bacia do Rio Gualaxo do Norte (Relatório de Leitura Técnica - Vol 1, 2024).

Segundo Ataíde *et al.* (2011) o clima predominante da região é do tipo Cwa de Köppen, temperado quente, com estação seca de abril a setembro. E uma temperatura média anual de 20 °C, e a precipitação média anual varia de 1.300 mm, na porção Leste do Quadrilátero, a 2.100 mm, na porção Sul, em Ouro Preto (Herz, 1978). A seguir, apresenta-se o mapa do distrito.

Figura 26 – Mapa do distrito de Antônio Pereira



Fonte: Autora (2026). Base de dados: WebGis OP.

No município de Ouro Preto, a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário foram concedidos à empresa privada Saneouro desde 2020 que tem a sua concessão por 35 anos para a prestação desses serviços (Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2019). Desde o ano de 2021 estes serviços são regulados e fiscalizados pela Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico (ARISB-MG). Desde o início do contrato de concessão da Saneouro a população tem

manifestado insatisfação aos serviços prestados, devido às altas tarifas que não condizem com o consumo e a qualidade do serviço prestado (Onunik, 2024).

5.2 Caracterização das condições de saneamento do distrito

Para alcançar o primeiro objetivo específico deste estudo, realizou-se uma pesquisa documental baseada nos principais instrumentos de planejamento municipal relacionados ao saneamento básico e ao desenvolvimento urbano. Foram analisados o Produto 2 - Caracterização e Diagnóstico da revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto de 2025 (Plamsab), e os documentos associados à Revisão do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto (PDOP), como a Leitura Comunitária e a Leitura Técnica. Adicionalmente, foi levantada outra localidade no distrito, com base em informações obtidas no WebGente da Universidade Federal de Viçosa (UFV), além de dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Além da análise documental, foi realizada uma visita de campo no dia 24 de novembro de 2025 no distrito, com o objetivo de verificar *in loco* as condições do sistema de esgotamento sanitário. Como etapa preparatória à visita, foi desenvolvido previamente o levantamento documental das condições de saneamento, e uma análise espacial a partir de imagens de satélite e a elaboração de um checklist para orientar o diagnóstico em campo.

Na visita em campo, foram levantadas eventuais irregularidades do sistema de esgotamento sanitário como pontos de lançamento inadequado de esgoto, locais com ausência da rede coletora e áreas com maior vulnerabilidade ambiental devido à poluição causada pelos esgotos. Essa abordagem permitiu construir um panorama com mais detalhes da infraestrutura de esgotamento sanitário existente.

A metodologia adotada segue abordagem semelhante à utilizada por Sá (2020) em seu estudo, onde foram utilizados dados primários e secundários para o desenvolvimento da pesquisa, e para a visita de campo foi preparada uma ficha de

campo no formato de checklist (Tabela 14) com os principais elementos de infraestrutura com recomendações técnicas.

Tabela 14 - Checklist de campo

Elementos	Recomendações
Caixa de inspeção	Instalado no final de cada conjunto residencial, antes de ligar o ramal condominial interno à rede pública no passeio ou na rua e sempre que houver interligação de ramais condominiais.
Rede coletora de esgoto	Inexistindo rede de esgoto as águas servidas deverão ser canalizadas pelo proprietário ou ocupante da edificação para fossa do próprio imóvel. É obrigatório a todo prédio habitável situado em logradouro a ligação à rede pública coletora de esgoto, se houver.
Poços de visita	Recomendada no início de uma rede; mudanças de direção de rede; junções, modificações de seções e de declividade das canalizações;
Canalizações de esgoto sanitário recebem águas pluviais ou proveniente de drenagem	É terminantemente proibido que as canalizações de esgotos sanitários recebam, direta ou indiretamente e sob qualquer pretexto, as águas pluviais ou resultantes de drenagem.
Despejo de esgoto doméstico em corpos d'água	É proibido varrer, despejar, atirar ou queimar detritos de qualquer natureza sobre leito ou margens de rio ou córrego.
Interceptor	-
Estação elevatória de esgoto (EEE)	Devem atender as normativas técnicas prevista na ABNT
Estação de tratamento de esgoto (ETE)	-

Fonte: Adaptado de Sá (2020).

Complementarmente, foram utilizadas manifestações de moradores, registradas em redes sociais da comunidade (como grupos de WhatsApp), que relataram problemas em relação ao saneamento básico do local e a ausência de atendimento da rede

coletora de esgotos. Os registros existentes foram utilizados como indicação inicial para o levantamento em campo, fornecendo um panorama preliminar para o diagnóstico das condições dos serviços sanitários. Essa abordagem está alinhada a metodologias que adotam a análise de dados primários, por meio de revisão bibliográfica, como etapa inicial para identificar as lacunas e orientar o desenvolvimento de estudos (SFD, 2018).

Também foi utilizada a monografia de Pereira (2018) intitulada *O tratamento de esgoto em Ouro Preto: Aspectos Históricos e Técnicos dos séculos XIX ao XXI*, que apresenta informações relevantes sobre o funcionamento histórico do sistema de esgotamento sanitário no município de Ouro Preto e nos distritos, incluindo as informações sobre a ETE Samarco, citada em documentos da FEAM (2015) localizada no distrito em estudo. Esse estudo contribuiu para complementar o diagnóstico e observar divergências entre as informações presentes no Produto 2 – Caracterização e Diagnóstico da revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto (Plamsab, 2025), nos documentos da Revisão do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto (PDOP), como a Leitura Comunitária e a Leitura Técnica, bem como no Plano Municipal de Saneamento Básico de 2013 e as condições reais, visto que essa ETE não se encontra mencionada nesses documentos de planejamento.

5.3 Melhorias para a etapa de coleta dos esgotos

A definição das melhorias do sistema de coleta foi realizada com base na análise obtida no objetivo anterior de caracterização das condições existentes, que identificou a ausência e insuficiência da infraestrutura de coleta dos esgotos sanitários, especialmente no que se refere à rede coletora. Em consonância com o objetivo específico de analisar a viabilidade técnica de melhorias na rede coletora do sistema de esgotamento sanitário do distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto (MG), foram desenvolvidos estudos de traçado do escoamento, considerando as condições topográficas locais, bem como o pré-dimensionamento hidráulico dos condutos propostos.

Para a proposição de redes coletoras em locais onde atualmente não há cobertura ou possuem infraestrutura insuficientes, inicialmente foi realizada uma análise do perfil topográfico do terreno da área adensada do distrito por meio de imagens de satélite da plataforma Google Earth para identificar as condições de escoamento superficial por gravidade e a definição do traçado da rede coletora implantada (Tsutiya e Além Sobrinho, 2011). Na sequência foi desenvolvido o pré-dimensionamento, no item 5.3.1.

5.3.1 Pré-dimensionamento de rede coletora

Para as localidades no distrito que apresentaram necessidade de ampliação da rede coletora de esgotos, foi realizado o traçado seguido do dimensionamento hidráulico por meio de método apresentado em Tsutiya e Além Sobrinho (2011), praticado na disciplina URB130, contemplando os parâmetros de projeto apresentados nas normas técnicas NBR 8160 (ABNT, 1999), NBR 14486 (ABNT, 2000) e o Manual do Empreendedor da Saneouro (2021).

Os procedimentos de cálculos seguiram o método apresentado na revisão bibliográfica com as premissas e os valores a serem adotados (tópico 4.7 – Dimensionamento da Rede Coletora de Esgoto). Além da utilização de uma planilha eletrônica tipo Excel para aplicação das fórmulas utilizadas.

O dimensionamento hidráulico da rede coletora proposta para o distrito seguiu os parâmetros técnicos e coeficientes normatizados apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros para o dimensionamento da rede coletora

Parâmetros	Valores	Referência
Vazão per capita	200 l/s	Saneouro (2021)
Coefficiente de retorno	0,8	Saneouro (2021)
População inicial (Bairro Bela Vista)	52	Google Earth (2025)
População Final (Bairro Bela Vista)	312	Projeção 100% ocupação
K1	1,2	Saneouro (2021)
K2	1,5	Saneouro (2021)
Recobrimento mínimo	0,9	Saneouro (2021)
Diâmetro Mínimo	150 mm	Saneouro (2021)
Taxa de infiltração	0,05 l/m.km	Crespo (1997)
Coefficiente de Manning	0,013	Tsutiya e Além Sobrinho (2011)

Fonte: Autora (2026).

A população inicial foi determinada a partir do número de lotes existentes na área de estudo, totalizando 13 lotes, multiplicados pela taxa de 4 habitantes por domicílio, conforme orientado pelo Manual do Empreendedor da Saneouro (2021).

Para a determinação da população final, adotou-se uma projeção baseada na ocupação máxima do loteamento, considerando o parcelamento completo da área. Para isso, foram desenhados lotes com testada de 12 m e comprimentos variáveis, de acordo com as dimensões de cada quadra. Aplicou-se novamente a taxa de 4 habitantes por domicílio. Segundo Martinelli *et al.* (2014) determinar a população de

projeto e a população futura é crucial para dimensionar corretamente os componentes do sistema para que seja capaz de atender à demanda da população do local.

Para o cálculo das contribuições, utilizou-se a vazão per capita de 200 L/hab.dia, o coeficiente de retorno de 0,8, parâmetros estes estabelecidos pelo Manual da Saneouro para a região. As variações de vazão foram estimadas através dos coeficientes de $K_1=1,2$ e $K_2=1,5$, também em conformidade com as diretrizes da concessionária (Saneouro, 2021).

Com as vazões do trecho definidas, para o cálculo da declividade necessária para o seu funcionamento, adotou-se como referência a declividade mínima exigida em norma de 0,045 m/m. Para isso, utilizaram-se as equações de declividade mínima (Equação 3) e de declividade do terreno, sendo esta última calculada pela diferença entre as cotas a montante e a jusante, dividida pela extensão total do trecho.

Com base na declividade adotada e na vazão de projeto para a população final, os diâmetros da tubulação foram definidos utilizando a Equação 4. Seguindo as normas da Saneouro (2021), usou-se o diâmetro mínimo de 150 mm para a rede coletora e um recobrimento mínimo de 0,9 m, visando a proteção estrutural das tubulações sob vias públicas.

A taxa de infiltração adotada foi de 0,05 L/s.km, valor justificado pela utilização de tubulações com diâmetro inferior a 400 mm e juntas do tipo elástica, considerando um cenário de solo com baixa permeabilidade e nível do lençol freático abaixo da tubulação, representa a condição mais favorável de baixa infiltração, refletindo a eficácia das juntas elásticas e a menor propensão do solo à passagem de água, especialmente quando o lençol freático não exerce pressão hidrostática sobre a rede, conforme a classificação de Crespo (1997).

Conforme Tsutiya e Além Sobrinho (2011), adotou-se o coeficiente de Manning de 0,013, para materiais de baixa rugosidade (como PVC). Essa escolha prevê a formação natural de limo nas paredes internas e as perdas de carga localizadas em conexões e acessórios da rede. As condições de autolimpeza foram garantidas pela adoção da tensão trativa mínima de 1 Pa em observância à NBR 9486/1986 (ABNT, 1986).

Por fim, a verificação hidráulica da rede coletora foi realizada com base nos critérios estabelecidos pela NBR 9649/1986 (ABNT, 1986), considerando como parâmetros de referência: relação Y/D inferior a 0,75; velocidade inferior à velocidade crítica; e tensão trativa mínima de 1,0 Pa. Os valores da relação Y/D e da velocidade final foram obtidos por meio do software TuboCalc, utilizado como ferramenta de apoio para a análise hidráulica dos trechos da rede.

Nos trechos onde a implantação de rede coletora de esgoto foi tecnicamente inviável para escoamento por gravidade em conduto livre, devido às condições topográficas e do baixo adensamento populacional, adotou-se os sistemas individuais descentralizados de esgotamento sanitário com tratamento e destinação final de esgotos sanitários. Dito isso, foi feito um pré-dimensionamento de um sistema composto por tanque sépticos seguido de filtro anaeróbio e sumidouro para cada domicílio. A principal justificativa para a adoção deste sistema reside na sua consolidação normativa e técnica no Brasil. O conjunto tanque séptico, filtro anaeróbio e sumidouro é regulamentado pela norma NBR 17076/2024 (ABNT, 2024). O pré-dimensionamento do sistema adotado, é apresentado no item 5.3.2, a seguir.

5.3.2 Pré-dimensionamento do tanque séptico

Para o pré-dimensionamento do tanque séptico foi calculado o volume útil. Para isso, o cálculo foi realizado por meio da Equação 9, conforme NBR 17076/2024 (ABNT, 2024).

$$V = 1000 + N * (CT + KLf) \quad (9)$$

onde,

V: volume útil, em litros (L);

N: número de contribuintes (pessoas);

C: contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;

T: período de detenção, em dias;

K: taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

Lf: contribuição de lodo fresco, em l/pessoa x dia ou em l/uni x dia.

Diante da equação, foram adotados os seguintes parâmetros, apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Parâmetros para o pré dimensionamento do tanque séptico

Parâmetros	Valores	Referência
N (Nº/hab por domicílio)	4	Saneouro (2021)
C (contribuição por pessoa l/hab.d)	200	Saneouro (2021)
T (período de detenção em dias)	1	NBR 17076/2024 (ABNT, 2024)
K (taxa de acumulação de lodo digerido em dias)	65	NBR 17076/2024 (ABNT, 2024)
Lf (contribuição de lodo fresco litros/hab.d)	1	NBR 17076/2024 (ABNT, 2024)

Fonte: Autora (2026).

O valor de 4 habitantes por domicílio e a contribuição de esgoto per capita de 200 L/hab.d foi adotado com base em dados fornecidos pela concessionária Saneouro (2021). Este número representa a média de ocupação residencial e o padrão de consumo de água e geração de esgoto para as residências na área em estudo.

O período de detenção utilizado foi 1 dia (24 horas), seguindo a recomendação da NBR 17076/2024. Para uma contribuição diária de até 1.500 litros, a norma estabelece um tempo de detenção de 24 horas. Como a contribuição diária calculada para o projeto foi de 800 L/dia (4 hab x 200 L/hab.dia), o valor de 1 dia é o aplicado.

A taxa de acumulação de lodo foi definida como 65, valor retirado da NBR 17076/2024. A escolha baseou-se na adoção de um intervalo de limpeza de 1 ano e na consideração de uma temperatura média do mês mais frio inferior ou igual a 20°C.

A contribuição de lodo fresco de 1 litro foi adotada com base na NBR 17076/2024. Embora a norma não apresente um valor exato para a contribuição de 200 L/hab.dia, observou-se que para as faixas de contribuição diária de esgoto próximas, o valor de Lf é 1 L/hab.dia. Portanto, este valor foi considerado adequado para o pré-dimensionamento.

Após obter o volume útil do tanque séptico as dimensões de largura, altura e comprimento foram definidas de acordo com medidas internas mínimas da NBR 17076/2024:

- Profundidade útil: varia entre os valores mínimos e máximos recomendados na Tabela 11, de acordo com o volume útil obtido;
- diâmetro interno mínimo: 1,10 m;
- largura interna mínima: 0,80 m;
- relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares): mínimo 2:1; máximo 4:1.

Tabela 17 - Profundidade útil mínima e máxima

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 17076/2024.

5.3.3 Pré-dimensionamento do filtro anaeróbio

Como tratamento complementar, o pré-dimensionamento do filtro anaeróbio seguiu as recomendações da NBR 17076/2024 (ABNT, 2024) que estabelece critérios para as unidades de tratamento.

O volume útil do leito filtrado foi obtido através da equação 10.

$$Vu = 1,6 * NCT \quad (10)$$

onde,

N: número de contribuintes;

C: contribuição de despejos, em litros x habitantes/ dia;

T: tempo de detenção hidráulica, em dias.

Os valores adotados para o cálculo de volume útil foram:

Tabela 18 - Parâmetros para o pré dimensionamento do filtro anaeróbio

Parâmetros	Valores	Referência
N (Nº/hab por domicílio)	4	Saneouro (2021)
C (contribuição de despejos, em litros x habitantes/ dia)	200	Saneouro (2021)
T (tempo de detenção hidráulica)	1	NBR 17076/2024 (ABNT, 2024)

Fonte: Autora (2026).

O período de detenção hidráulica foi escolhido em 1 dia, conforme a NBR 17076/2024. Este valor foi selecionado considerando a vazão diária de esgoto de 800 L/dia, que se enquadra na faixa de até 1 500 L/dia, e uma temperatura média do mês mais frio entre 15°C e 25°C. Isso resultou no valor de 1 dia para o tempo de detenção hidráulica.

A norma diz que o volume útil mínimo do leito filtrante deve ser de 1000 litros. Além disso, a altura incluindo o fundo falso é limitada a 1,20m e a altura do fundo falso limitada a 0,60 (NBR 17076/2024).

5.3.4 Pré-dimensionamento do sumidouro

Seguindo o sistema de tratamento, a disposição final foi feita pelo sumidouro. O seu dimensionamento foi realizado em relação a capacidade de absorção do solo. Para isso, foi calculada a área de infiltração necessária obtida pela Equação 11, proposta por (Creder, 2006).

$$A = V * Ci \quad (11)$$

onde,

A: área em m²;

V: volume de contribuição diária em l/dia;

Ci: coeficiente de infiltração (Tabela 19).

Para a obtenção do coeficiente de infiltração foi utilizada a Tabela 19 proposta por Creder (2006).

Tabela 19 - Variação de coeficiente de infiltração

Possíveis Faixas de Variação de Coeficiente de Infiltração		
Faixa	Constituição Aprovável dos Solos	Coeficiente de Infiltração (L/m² × dia)
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada	menor que 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compactas, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom	40 a 60
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com humos e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos	maior que 90

Fonte: Creder (2006).

Os parâmetros utilizados no cálculo da infiltração foram:

Tabela 20 - Parâmetros para o pré dimensionamento do sumidouro

Parâmetros	Valores	Referência
N (Nº/hab por domicílio)	4	Saneouro (2021)
C (contribuição de despejos, em litros x habitantes/ dia)	200	Saneouro (2021)
Ci (coeficiente de infiltração)	20	Creder (2006)

Fonte: Autora (2026).

O coeficiente de infiltração de 20 L/m².dia foi adotado com base na literatura de Creder (2006). Considerando a ausência de ensaios de campo para a determinação específica do coeficiente de infiltração do solo no local do projeto, optou-se por um valor conservador, simulando a pior condição de infiltração. Esta abordagem garante uma margem de segurança no dimensionamento do sumidouro, assegurando que o sistema seja eficaz mesmo em solos com menor capacidade de absorção.

Para calcular o tamanho do sumidouro, foram consideradas como áreas de infiltração tanto as paredes laterais quanto o fundo, já que a NBR 17076/2024 (ABNT, 2024) permite incluir a base como área permeável no dimensionamento.

O sumidouro adotado é do tipo cilíndrico, com diâmetro inicialmente fixado em D = 3,00 m, a partir do qual foram feitos os cálculos necessários.

A área de infiltração do sumidouro foi calculada pela soma da área do fundo com a área lateral do cilindro, conforme a expressão:

$$A = \pi \cdot R^2 + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h \quad (12)$$

Em que:

A = área de infiltração.

R = 1,50 m (raio do cilindro, considerando diâmetro D = 3,00 m);

h = profundidade do sumidouro, correspondente à altura do cilindro.

5.4 Melhorias para o tratamento de esgotos

A pré-seleção das tecnologias de tratamento de esgoto foi inicialmente fundamentada em critérios de viabilidade técnica, com especial atenção aos padrões de lançamento estabelecidos pela COPAM/MG nº 08/2022. Esta norma serviu como premissa para identificar quais tecnologias seriam capazes de atender aos requisitos ambientais vigentes, configurando-se como um filtro essencial na etapa inicial, visando identificar tecnologias capazes de cumprir os requisitos ambientais vigentes e minimizar impactos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente. Nesse contexto, os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Amoniacal e Sólidos Suspensos (SS) foram considerados como critérios primários de conformidade técnica.

Para a proposição de melhorias relacionadas ao tratamento centralizado de esgotos sanitários da área de estudos foi desenvolvida um estudo de pré-seleção de alternativas de tecnologias, conforme procedimento metodológico adaptado de Von Sperling (2014), Vieira (2022) e Costa (2022), considerando os critérios de viabilidade ambiental, técnica e econômica, utilizando dados e informações da literatura técnica (Von Sperling, 2005; 2014; Funasa 2019) e da legislação ambiental em vigor (DN COPAM 08/2022).

Considerando que a região possui cursos d'água perenes e que a disposição final do efluente tratado em corpos hídricos é a alternativa técnica e ambiental mais viável para a localidade. A partir desses critérios foram pré-selecionadas três tecnologias de tratamento de esgotos sanitários mais utilizadas no país retiradas do Atlas Esgotos (Ana, 2017), sendo elas: Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga; Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa e Sistema de lodos ativados com aeração prolongada.

Na sequência foram avaliados os demais critérios de viabilidade, técnica, econômica e ambiental apresentados, a seguir no Tabela 21.

Tabela 21 – Critérios considerados para seleção de soluções de tratamento de esgoto

Critérios			Descrição
Econômicos	C1	Requisito de área (m ² /hab)	Quantidade de área necessária para implantação do sistema de tratamento.
	C2	Custos de implantação (R\$/hab)	Todas as despesas necessárias para a construção da estação de tratamento.
	C3	Custos operacionais e de manutenção (R\$/hab.ano)	Custos referentes à gestão de uma estação de tratamento, tal qual despesas com empregados, energia, materiais.
	C4	Potência de aeração: implantação (W/hab)	Instalação dos equipamentos responsáveis pela transferência de oxigênio ao meio líquido, incluindo infraestrutura elétrica e dispositivos de controle.
	C5	Potência de aeração: operação (kWh/hab.ano)	Consumo contínuo de energia elétrica necessário para manter os níveis adequados de oxigênio dissolvido no sistema, influenciando diretamente os custos operacionais e a eficiência do tratamento biológico.
Técnicos	C6	Simplicidade operacional e de manutenção (Adimensional)	Nível de qualificação exigida para os operadores, facilidades e dificuldades no funcionamento da estação, vinculadas aos processos operacionais cotidianos e emergenciais, bem como a manutenção do sistema.
Ambientais	C7	Eficiência na remoção de matéria orgânica (%)	Capacidade do sistema quanto a remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do esgoto.
	C8	Produção de lodo (L/hab.ano)	Volume de lodo gerado pelo sistema e que precisa de tratamento.

Fonte: Costa (2022).

Diante desses critérios, foram utilizados os valores adotados por Funasa (2019) e Von Sperling (2014) em sua obra comparando as metodologias de tratamentos. Especificamente, para cada critério, foram adotados os valores médios das faixas

típicas apresentadas, garantindo uma abordagem equilibrada e representativa dos parâmetros considerados.

Por fim, para comparar as alternativas de tratamento, procedeu-se à análise dos critérios por meio de um dimensionamento de cada parâmetro através dos valores médios e a população de fim de plano, estimada para um horizonte de plano de 20 anos. Essa abordagem permite quantificar a demanda total de cada sistema ao final do período de alcance, servindo como base para a identificação da alternativa que apresenta maior viabilidade técnica e econômica diante das especificidades locais.

Para encontrar a população final foi utilizada a seguinte equação pelo método aritmético, que considera um crescimento populacional constante ao longo do tempo:

$$Pt = Po + Ka * (t - to) \quad (12)$$

$$Ka = \frac{P2 - Po}{t2 - to} \quad (13)$$

Os parâmetros a serem utilizados estão apresentados na Tabela 22 a seguir:

Tabela 22 – Parâmetros para o cálculo da população final para 20 anos

Parâmetros	
t0 = 3905 hab	P0 = Ano 2000
t1 = 4480 hab	P1 = Ano 2010
t2 = 4710 hab	P2 = Ano 2022

Fonte: Plano Diretor de Ouro Preto (2024).

5.5 Estimativa de custos

Foi desenvolvida uma estimativa de custos de implantação da infraestrutura do sistema de esgotamento sanitário a partir dos resultados obtidos dos pré-dimensionamentos dos condutos, sistemas descentralizados e da ETE, utilizando como referência os valores do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Além disso, foram utilizados valores obtidos junto a consultas comerciais disponíveis online para complementar a estimativa de

determinados equipamentos e componentes disponíveis comercialmente. Não foram considerados valores de indenizações de terrenos eventualmente utilizados para lançamento de tubulações (faixas de servidão) e instalações da planta de tratamento de esgotos, assim como BDI, projetos executivos, licenciamento ambiental, fiscalização, mobilização e desmobilização de canteiro de obras, uma vez que a estimativa possui caráter preliminar.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Condições do sistema de esgotamento existente

Segundo a Leitura Comunitária realizada durante a Revisão do Plano Diretor, a população relatou a inexistência de uma rede de esgoto adequada no distrito, além de uma falta de uma estação de tratamento, resultando em esgoto a céu aberto e lançamento de efluentes ao longo de diversos pontos do rio que atravessa o distrito, além de áreas próximas ao posto de saúde e nas ruas Timbopeba e Benedito Xavier.

Foram levantadas as informações no Relatório Técnico do Diagnóstico do Processo de Revisão do Plano Diretor, denominado Leitura Técnica (2025), que constatou que no distrito só é feita a coleta dos efluentes por uma rede de esgoto mista, transportando simultaneamente águas pluviais e o esgoto, aumentando o risco de extravasamentos em alguns pontos. Conforme os Estudos de Concepção da Saneamento, retirados da Leitura Técnica (2025) o sistema de coleta de esgotos apresenta trechos que operam como sistema separador absoluto e outros que funcionam como sistema unitário.

Ainda segundo esses documentos, a empresa responsável pelo sistema público do município já possui projetos executivos de esgotamento sanitário para os distritos e a sede que contam com o pré dimensionamento da rede coletora e o seus componentes e alguns tipos de tratamentos que podem ser utilizados, mas falta a implementação, porém não houve acesso a estes estudos para a realização deste trabalho. Mais do que a realização desses projetos, a implementação efetiva é de extrema importância uma vez que a Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020) diz que os contratos de prestação de serviços devem assegurar o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033.

Em uma análise comparativa, os indicadores do Sinisa (2024) evidenciam que Ouro Preto, com 69,38% de atendimento da população total, apresenta desempenho superior à média nacional, que é de 62,3%, mas é inferior às médias estadual e regional, se referindo a Região Sudeste, que alcançam respectivamente, 78,43% e 81,94%. No atendimento da população urbana, o município tem cobertura de 76,57%, valor acima da média nacional que é 68,44%, mas abaixo dos percentuais observados

no estado de Minas Gerais (86,33%) e na região (85,8%). Em contrapartida, no que se refere ao atendimento da população rural com rede coletora de esgoto, Ouro Preto apresenta um desempenho inferior às médias nacional (4,75%), estadual (12,7%) e regional (11,23%) (Sinisa, 2024).

No Plamsab de Ouro Preto (2025) que se encontra em estágio de construção, foi realizada uma pesquisa com moradores do distrito de Antônio Pereira, com o objetivo de levantar a percepção da comunidade sobre as condições e o funcionamento do sistema de esgotamento sanitário na área urbana que, por vezes, não aparecem apenas em dados técnicos, mas são vivenciados no cotidiano. Esses dados realizados por meio de um questionário foram utilizados neste estudo por fornecerem informações atuais e relacionadas ao objeto em análise. Segundo o Produto 1 - Planejamento das Atividades do Plamsab (2025) a pesquisa que gerou esses dados foi conduzida através de 12 Reuniões Setoriais e 3 Audiências Públicas. Em média, as audiências públicas contaram com 67 participantes cada, enquanto as reuniões setoriais tiveram uma média de 25 participantes por encontro. É importante ressaltar que os percentuais apresentados se referem exclusivamente aos participantes dessas reuniões e audiências, e não à população total do distrito ou da sede.

Uma das perguntas do questionário foi sobre qual seria o destino do esgoto gerado nas residências da população. Os resultados são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada ao destino do esgoto gerado nas residências.

Localidade	Destino do esgoto gerado nas residências.					
	Rio/Riacho/Córrego	ETE	Fossa Negra	Fossa Séptica	Lançado em vala/rua	Não Sei
Antônio Pereira	36,8%	5,3%	-	-	-	57,9%
Sede	36,4%	13,4%	0,5%	6,5%	4,2%	36,1%

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

Observa-se que boa parte dos moradores não sabem o destino de seus esgotos, o que demonstra uma baixa compreensão da população em relação a esse serviço no distrito. Isso pode ser resultado da baixa cobertura do sistema de coleta e da falta de informação sobre os serviços à comunidade. Medeiros *et al.*, (2023), considera o conhecimento da população em relação ao ambiente como primeira linha de entendimento da qualidade ambiental. Melnychuk *et al.*, 2021 complementam que, essa percepção colabora para a conscientização, sensibilização e compreensão do ambiente onde vivem.

Esse cenário reforça a necessidade da participação social, conforme previsto na Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), Art 3º inciso IV, visto que a prestação dos serviços deve assegurar mecanismos que garantam à sociedade informações relacionadas aos serviços públicos de saneamento básico.

Entre os participantes que afirmaram conhecer o destino dos efluentes, 36,8% da população respondeu que vai para os córregos/rios, o que sugere a ocorrência de potenciais impactos ambientais e riscos à saúde pública. Além disso, 5,3% declararam que o esgoto seria destinado a uma ETE, entretanto não existe uma ETE conforme os documentos oficiais levantados (Plamsab 2013; Diagnósticos Técnicos do PD e do Plamsab 2025). Os documentos oficiais consultados indicam a existência de apenas uma estação de tratamento em operação no município, que é a ETE São Bartolomeu.

De acordo com Pereira (2018) e informações da Feam (2015), a ETE conhecida como ETE Samarco que funcionava com lagoa facultativa, atendia somente a Vila Residencial Antônio Pereira, que na época abrigava apenas funcionários da Samarco, não possuía regularização ambiental e apresentava condições de operação insatisfatórias, visto que tinha uma remoção de DBO de 50% e contava apenas com o tratamento preliminar, além disso havia a presença de jacarés na lagoa. Segundo a Feam (2015), devido a série de inconformidades encontradas que compromete o bom funcionamento do tratamento, não era recomendada a realização de grandes investimentos na unidade existente, e sim à implantação do novo sistema cuja estação deverá ser implantada no mesmo local da ETE Samarco, mostrada na Figura 27.

Figura 27 - ETE Samarco.



Fonte: Autora (2026).

Esse tipo de descarte configura uma situação de risco sanitário e ambiental, uma vez que o lançamento de esgoto sem tratamento pode gerar contaminação da água, proliferação de doenças, mau odor, degradação do solo e prejuízos à saúde pública (Nucase, 2008). Além disso, a poluição vinda do lançamento de efluentes sem tratamento pode configurar crime ambiental, conforme dispõe o Art. 54 da Lei nº 9.605/1998 tipifica como crime causar poluição que resultem em danos tanto para a saúde humana quanto para a mortandade dos animais e degradação da flora, sujeito o infrator à pena de reclusão, de um a quatro anos, além de multa (Brasil, 1998). Além das sanções penais previstas na Lei nº 9.605/1998, o Decreto nº 6.514/2008 estabelece o regime de sanções e medidas administrativas para a proteção ambiental (Brasil, 2008). Em seu Art. 3º, determina-se que o órgão ambiental, deve aplicar sanções e medidas cautelares, que incluem desde a advertência até a aplicação de multas simples ou diárias, conforme a gravidade da infração.

Em complemento às informações apresentadas anteriormente, a próxima pergunta da revisão do Plamsab (2025) abordou sobre a satisfação da população em relação aos serviços prestados (Tabela 24).

Tabela 24 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) sobre a satisfação com o sistema de esgotamento sanitário.

Localidade	Satisfação em relação ao sistema de esgoto	
	Sim	Não
Antônio Pereira	36,8%	63,2%
Sede	70,4%	29,6%

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

Verificou-se que 63,2% afirmaram não estar satisfeitos e 36,8% declararam estar satisfeitos com as condições atuais do serviço no distrito de Antônio Pereira. Ao contrário da Sede que 70,4% disseram estar satisfeitos e 29,6% insatisfeitos. Esses dados mostram uma percepção negativa por parte da população do distrito, indicando que a infraestrutura existente não atende às expectativas dos moradores.

A predominância de insatisfação pode estar relacionada à possível ausência de rede coletora em determinadas áreas com esgotos correndo a céu aberto e a existência de lançamentos irregulares em cursos d'água. Esse cenário contraria princípios previstos na legislação que estabelece que os serviços devem ser prestados de forma eficiente, segura e ambientalmente adequada, assegurando o bem-estar da população. Lima *et al.* (2017), destacam que saber o grau de satisfação do usuário é um indicador importante na gestão dos serviços, atuando como uma alerta para as falhas de operação e planejamento.

A próxima pergunta buscou avaliar se há separação dos sistemas de coleta de esgoto e água pluviais na residência (Tabela 25).

Tabela 25 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada com a separação dos esgotos sanitários e águas pluviais.

Localidade	Há separação dos sistemas de coleta de esgoto e de águas pluviais na residência?		
	Sim	Não	Não sei informar
Antônio Pereira	31,6%	15,8%	52,6%
Sede	40,7%	25%	34,3%

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

Da população entrevistada, 31,6% disseram possuir separação, enquanto 15,8% informaram que não há e 52,6% não souberam responder. A maioria das pessoas que não souberam responder pode indicar um possível desconhecimento técnico sobre as instalações domésticas. A parcela de 15,8% que respondeu que não há separação, sugere-se a existência de ligações inadequadas, que pode resultar na sobrecarga do sistema durante períodos de chuva causando extravasamentos, lançamento irregulares e um possível retorno do esgoto causando mau odor no local. Já na sede, os percentuais revelam uma disparidade em relação à quantidade de pessoas que possuem a separação (40,7%), mas também possuem um percentual elevado em relação ao distrito quanto a não possuírem essa separação (25%), enquanto 34,3% não sabem informar. A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, diz que a ANA deve estabelecer metas e normas para a substituição de sistemas unitários pelo sistema de separador absoluto (Brasil, 2020).

A quarta pergunta analisou a existência de caixa de gordura nas residências, visto que é um elemento importante para retenção de óleos e graxas antes do lançamento do efluente na rede coletora (Tabela 26). Os resultados apontaram que 36,8% disseram possuir caixa de gordura, enquanto 47,7% afirmaram não possuir e 15,8% não souberam informar. Ressalta-se que além das informações do FAQ do site da Saneouro, a obrigatoriedade da instalação de caixa de gordura está prevista na legislação municipal. Conforme dispõe o Art. 38º é obrigatório a instalação de caixa

de gordura na residência para as ligações de esgoto (OURO PRETO, 2013). Em relação à sede, há uma disparidade em relação às respostas. 72,7% disseram ter caixa de gordura e 17,1% não possuem. Esses valores mostram uma discrepância muito grande em relação às porcentagens do distrito.

Tabela 26 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada à existência de caixa de gordura nas residências.

Localidade	Há caixa de gordura nas residências?		
	Sim	Não	Não sei informar/Não sei do que se trata
Antônio Pereira	36,8%	47,7%	15,8%
Sede	72,7%	17,1%	10,2%

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

A ausência desse elemento revela um possível aumento na contribuição para entupimentos da rede, mau odor, aumento de manutenção, redução da eficiência do sistema de coleta e impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de gordura no sistema de esgotamento.

Segundo Araújo *et al.* (2023), as gorduras, óleos e graxas podem se juntar a outros resíduos presentes na rede de esgoto e se solidificar ao longo do trecho causando entupimentos das tubulações da rede e o retorno do esgoto nas edificações. Sendo assim, mesmo as residências que possuem a caixa de gordura, precisam de manutenção ao longo do tempo para evitar possíveis obstruções e entupimentos.

A próxima pergunta apresentada na Tabela 27 foi em relação ao pagamento de tarifa pelo serviço de esgotamento sanitário, os resultados demonstraram que 21,1% dos moradores afirmaram realizar o pagamento, enquanto a maior parte, 68,4%, declarou não pagar por esse serviço. Além disso, 5,3% disseram não saber e 5,3% gostariam de pagar para poder utilizar o serviço. Esse resultado de 68,4% indica a possibilidade de que parte da população não saiba do pagamento realizado, considerando que os imóveis conectados à rede coletora, tem a tarifa de esgotamento junto à conta de

abastecimento de água. Em relação a sede, boa parte da população paga a tarifa (60,2%), enquanto 14% não pagam e 22% não sabem se pagam.

Tabela 27 - Questão levantada na revisão do Plamsab de Ouro Preto (2025) relacionada ao pagamento de tarifa pelo serviço de esgotamento sanitário.

Localidade	Você paga alguma tarifa para ter esgotamento sanitário?			
	Sim	Não	Não sei	Gostaria de pagar para utilizar o serviço
Antônio Pereira	21,1%	68,4%	5,3%	5,3%
Sede	60,2%	14%	22%	3,8%

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

Essas porcentagens mostram que o serviço de esgotamento sanitário não é universalizado nem reconhecido de maneira uniforme pela população, sugerindo que parte dos moradores pode estar conectada a algum tipo de sistema, seja ele ligado à rede ou ligações irregulares, e a maioria não tem infraestrutura adequada. A ausência de cobrança para grande parcela da população pode mostrar a inexistência de rede coletora.

Do ponto de vista legal, a Lei nº 14.026/2020, no Art 4º-A estabelece que os serviços devem garantir um equilíbrio econômico-financeiro e uso racional de recursos naturais, e isso inclui mecanismos tarifários adequados e proporcionais ao serviço prestado, em consonância com o princípio da modicidade tarifária (Brasil, 2020).

Além da aplicação de questionários à população, a revisão do Plamsab (2025) registrou com base em relatos dos moradores alguns pontos críticos do distrito onde se tem algum tipo de problema relacionado ao sistema de esgotamento sanitário. Esses pontos são mostrados na Tabela 28. Parte dos locais, como as áreas situadas atrás da Unidade Básica de Saúde (UBS) e em frente às associações, foram vistoriados permitindo a confirmação da presença de esgoto a céu aberto.

Por outro lado, o diagnóstico referente ao Residencial Vila Samarco baseia-se no Plamsab (2025), não tendo sido realizada vistoria presencial nesse local durante o desenvolvimento do estudo.

Tabela 28 - Pontos críticos relacionados ao sistema de esgotamento sanitário.

Local	Problema
Creche	Esgoto a céu aberto
Atrás da UBS	Esgoto a céu aberto
Em frente as associações	Esgoto a céu aberto
Residencial Vila Samarco	Não possui infraestrutura adequada

Fonte: Adaptado do Plamsab (2025).

Após a análise dos documentos oficiais, observou-se que uma área em específico não foi relatada nesses documentos, por se tratar de uma área de expansão urbana recente, com ausência de infraestrutura de saneamento básico. Neste sentido é apresentado na Figura 28 a localidade do Bairro Bela Vista.

Figura 28 - Imagem de Satélite do Bairro Bela Vista.



Fonte: Google Earth (2025).

A sua localização relação ao distrito será apresentada na Figura 29.

Figura 29 - Imagem de Satélite do bairro Bela Vista no distrito.



Fonte: Google Earth (2025).

Dessa forma, tornou-se necessário considerar também as manifestações dos moradores da área feitas em grupos de WhatsApp, utilizadas como indicativos preliminares da ocorrência dos problemas relatados, como é mostrado na Figura 30. Foi possível identificar, por meio de imagens de satélite, a existência de aproximadamente 13 residências, entre casas já construídas e outras em fase de construção (Figura 28). Esses relatos contribuem para a compreensão das condições locais do sistema de esgotamento sanitário, especialmente em áreas de ocupação recente, onde a infraestrutura existente tende a ser insuficiente ou inexistente.

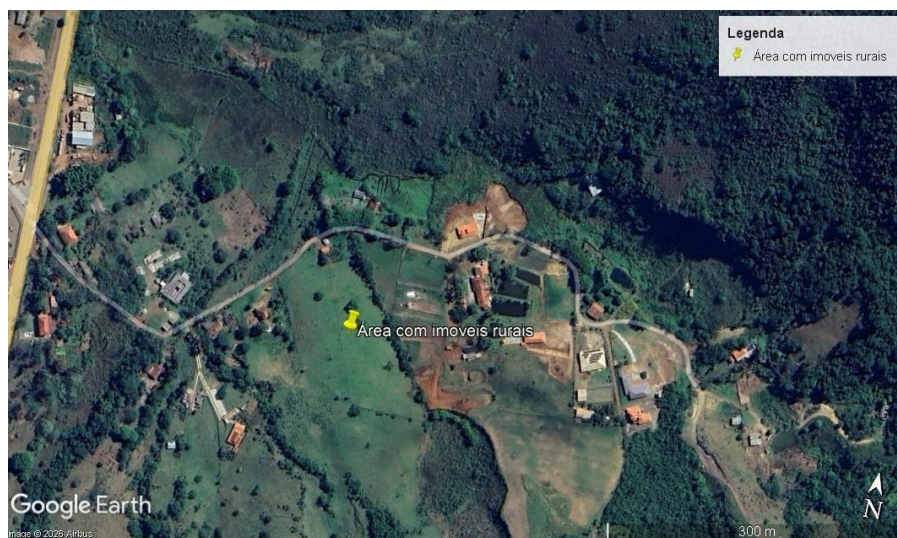
Figura 30 - Indignação dos moradores em relação à falta de infraestrutura adequada.



Fonte: Grupo de Whatsapp da Comunidade (2025).

Foi levantada outra localidade no distrito que de acordo com informações obtidas no Web Gente da Universidade Federal de Viçosa (UFV), é composta predominantemente por imóveis rurais e edificações dispersas, que realizam o descarte dos efluentes por meio de fossas sépticas ou fossas negras, práticas ainda comuns em áreas afastadas do núcleo urbano. Na Figura 31, são apresentados os imóveis rurais e a ocupação dispersa da região, conforme o mapeamento extraído da plataforma Web Gente.

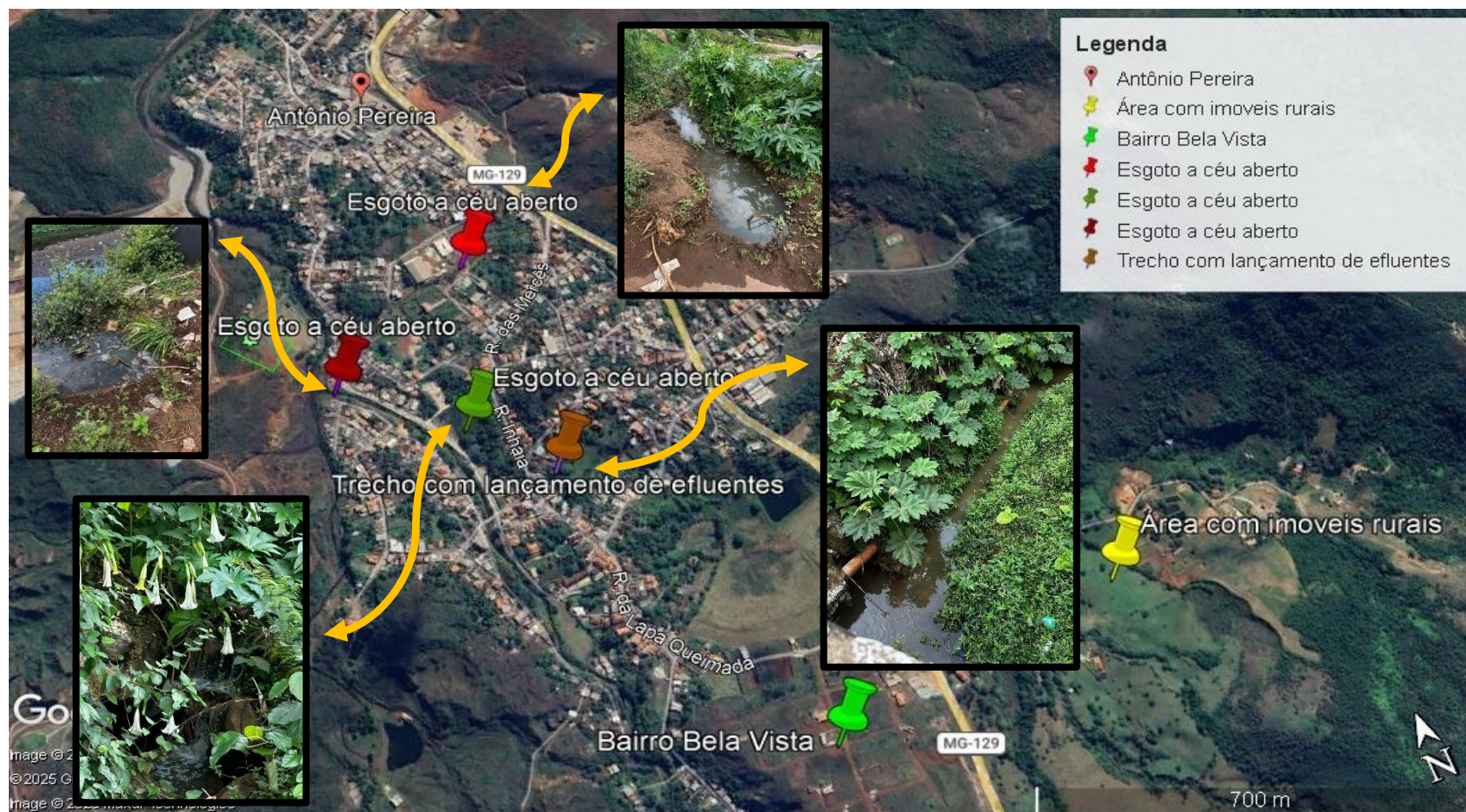
Figura 31 -Localidade com imóveis rurais e dispersos.



Fonte: Google Earth (2025).

Além dessas regiões, durante a visita de campo foram registrados diversos trechos com lançamento inadequado de esgoto diretamente no solo, a céu aberto e nos cursos d'água, evidenciando a ineficiência da rede de coleta, de transporte e o tratamento na área em estudo. Esses pontos foram indicados no mapa geral da Figura 32. Essa análise em campo corroborou com os relatos feitos pelos moradores do local nos documentos oficiais do município.

Figura 32 - Locais visitados no levantamento de campo de campo



Fonte: Google Earth (2025).

Na Figura 33, nota-se um ponto de água com aspecto turvo e presença de espuma, escoando entre a vegetação, gerando um mau odor e representando um esgoto a céu aberto, situado em área urbana com predominância de vegetação. Apesar da vegetação presente no entorno, a montante do ponto analisado observa-se uma ocupação residencial, o que indica a influência de áreas urbanizadas sobre a qualidade da água.

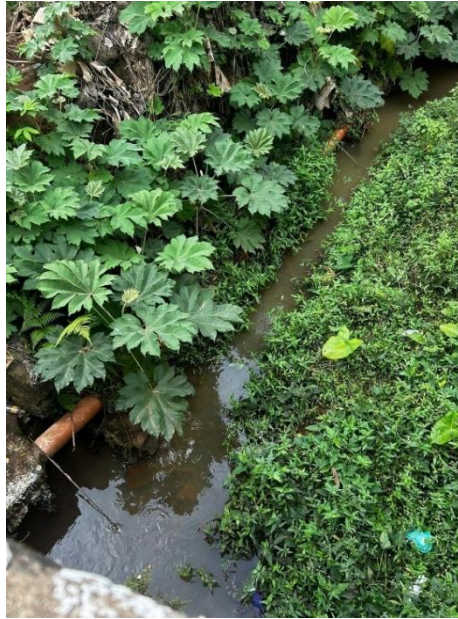
Figura 33 - Água com a presença de espuma e aspecto turvo



Fonte: Autora (2026).

Nas demais Figuras 34,35 e 36, observa-se de forma mais evidente o acúmulo de uma água mais escura, com a presença em diversos pontos de odor desagradável, formando poças ou escoando superficialmente. A água apresenta coloração acinzentada, presença de sólidos sedimentáveis, resíduos domésticos e em início de processos de decomposição, indicando que não se trata de uma água pluvial, visto que não tinha ocorrido chuvas nas últimas 24 horas, mas sim de esgoto doméstico não tratado despejado de forma inadequada. Nota-se também pontos de estagnação desse esgoto ao longo do rio, tornando uma condição propícia para à proliferação de vetores, como mosquitos, e conseqüentemente à contaminação do solo e do lençol freático.

Figura 34 - Trecho de curso d'água com lançamento de efluente



Fonte: Autora (2026).

A Figura 35 mostra um acúmulo de resíduos sólidos na água que não compromete apenas a qualidade ambiental da área, mas indica a necessidade de implementação de sistemas separadores absolutos que evitem a mistura entre as águas pluviais e os esgotos.

Figura 35 - Trecho com a presença de resíduos sólidos



Fonte: Autora (2026).

A Figura 36 apresenta evidências de lançamento direto de efluentes no seu curso d'água devido a sua cor turva.

Figura 36 - Água parada com aspecto turvo



Fonte: Autora (2026).

Abaixo, aponta-se o diagnóstico obtido através do checklist de campo, confrontando a situação observada no distrito de Antônio Pereira.

Tabela 29 - Diagnóstico de Campo do Sistema de Esgotamento Sanitário em Antônio Pereira - MG

Elementos	Observações de Campo	Referência Normativa/Legal
Caixa de inspeção	Ausência do dispositivo em algumas das residências	Incompatibilidade com NBR 8160/1999 (ABNT, 1999)
Rede coletora de esgoto	Cobertura parcial; presença de esgoto a céu aberto em algumas áreas e lançamentos inadequados.	Incompatibilidade com as normas Técnicas Saneouro.
Poços de visita	Alguns PVs obstruídos ou cobertos por pavimentação asfáltica recente	Incompatibilidade com a NBR 9649/1986 (ABNT, 1986)
Canalizações de esgoto sanitário recebem águas pluviais ou proveniente de drenagem	Interligação de águas pluviais na rede de esgoto sanitário.	Incompatibilidade com a Lei 11.445/07
Despejo de esgoto doméstico em corpos d'água	Lançamento in natura direto no Córrego local sem tratamento.	Incompatibilidade com a Resolução CONAMA 430/2011
Interceptor	Infraestrutura não encontrada	Incompatibilidade com a NBR 12207/1992 (ABNT, 1992)
Estação elevatória de esgoto (EEE)	Inexistência de unidades operacionais visíveis	Incompatibilidade com a NBR 12208/2020 (ABNT, 2020)
Estação de tratamento de esgoto (ETE)	Não há uma ETE em operação	Incompatibilidade com a NBR 12209/2011 (ABNT, 2011)

Fonte: Autora (2026).

De maneira geral, a visita de campo confirmou que o distrito apresenta em diversos pontos lançamentos inadequados de esgoto. Isso compromete a qualidade dos cursos d'água, da saúde pública e demonstra a necessidade da implantação de um sistema

de coleta e afastamento de esgoto. Além disso, o lançamento irregular viola as determinações da legislação vigente.

O panorama das condições de esgotamento sanitário em Antônio Pereira mostra uma situação crítica vivenciada pelos moradores, caracterizado pela falta de infraestrutura adequada do sistema de coleta, transporte e tratamento de esgoto. Dito isso, a inexistência de uma ETE e o baixo índice de tratamento de esgoto no município, faz com que os esgotos sejam lançados a céu aberto e nos cursos d'água, podendo trazer grandes impactos ao meio ambiente e à saúde urbana.

Diante desse cenário, as próximas etapas do trabalho visam trazer propostas de melhoria nas etapas de coleta e tratamento dos efluentes do distrito. Para isso, a proposta inclui a expansão das redes coletoras para os lugares que não possuem e alternativas de tratamento para a ETE.

6.2 Propostas de melhorias dos coletores

Diante dessas situações, realizou-se uma avaliação de alternativas técnicas com o objetivo de verificar a viabilidade da implantação de rede coletora de esgoto em locais que não os possuem.

No aglomerado urbano onde foram registrados pontos com lançamento inadequado e esgoto a céu aberto, já existe uma rede coletora instalada, que segundo a Leitura Técnica da Revisão do Plano Diretor de Ouro Preto (2025) é uma rede mista. Isso significa que o problema não é a sua falta, mas sim o desempenho insatisfatório de sua operação.

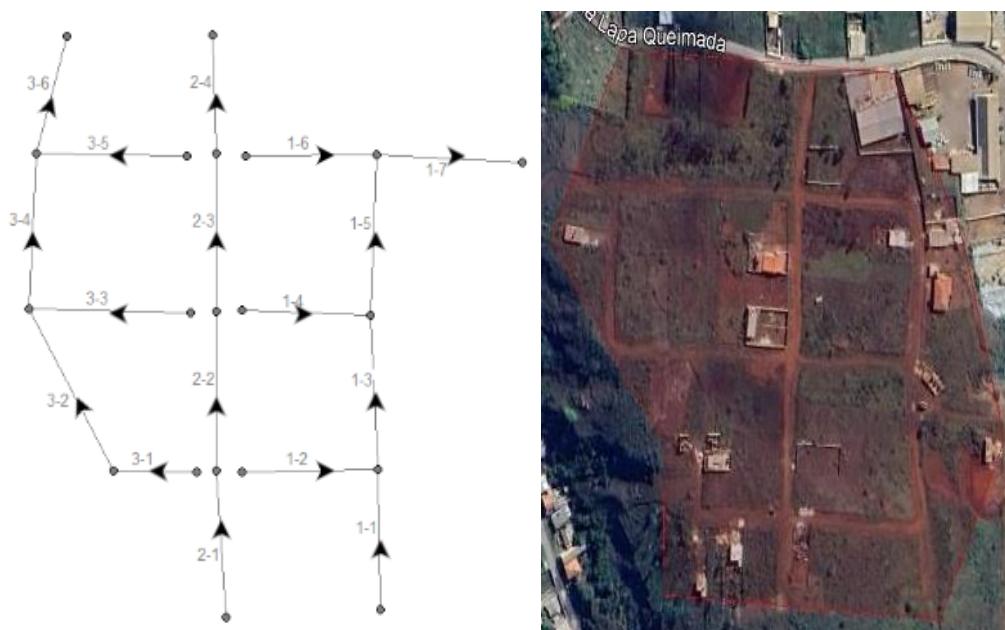
Diante desse contexto, propõe-se a readequação da rede existente. Além do mais, a implementação de um programa de educação e conscientização da população sobre a separação absoluta das redes coletoras de esgoto sanitário e de águas pluviais. Este programa terá como base as práticas observadas em iniciativas como o programa Caça-Esgoto da Copasa, que tem como objetivo identificar e eliminar lançamentos clandestinos de esgotos em redes pluviais e em cursos d'água.

6.2.1 Análise do escoamento do terreno

Foram analisadas as viabilidades de escoamento em conduto livre nas localidades identificadas sem coletores de esgotos. Inicialmente foi feito o traçado da topografia do local com o auxílio da ferramenta Google Earth para a análise das cotas altimétricas do terreno. Esse procedimento permitiu identificar as direções naturais de escoamento e das áreas favoráveis para a condução dos esgotos sanitários. A análise topográfica é fundamental na concepção de projetos de redes coletoras, pois possibilita a identificação dos aclives, declives e obstáculos naturais do terreno (Filho *et al.* 2022).

Com base nessas informações topográficas, para a área do Bairro Bela Vista, apresentada na Figura 28, percebeu-se que o local possui condições adequadas para o escoamento por gravidade sem a necessidade de implementação de estações elevatórias. Tsutiya e Além Sobrinho (2011) enfatizam a importância de aproveitar as declividades naturais do terreno para otimizar a eficiência e os custos do sistema. Dessa forma, o traçado dos condutos foi posicionado para que a condução dos esgotos em escoamento livre seja conectada à rede coletora existente, conforme ilustrado no traçado altimétrico do bairro apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Traçado altimétrico do Bairro Bela Vista



Fonte: Autora (2026).

Para as demais áreas com predominância de imóveis rurais onde não há coleta de esgoto, realizou-se a verificação da possibilidade de instalação da rede coletora ou solução alternativa descentralizada. Essa área é apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Área com os imóveis rurais de Antônio Pereira



Fonte: WebGente UFV (2025).

Para a área apresentada na Figura 38, foi realizada uma análise de viabilidade técnica para duas soluções convencionais: (i) coletiva ou dinâmica por meio de rede coletora de esgotos ligada à rede coletora existente; e (ii) soluções individuais descentralizadas com fossas sépticas seguidas de filtros anaeróbios e sumidouros dimensionados conforme as normas técnicas, garantindo o tratamento adequado dos efluentes mesmo em áreas com baixa densidade populacional.

Observando o perfil altimétrico da área em estudo, obtido por meio do software Google Earth mostrado na Figura 39, o trecho em estudo apresenta declividades menores em relação ao ponto de ligação com a rede coletora existente, que está localizada às margens da rodovia. O levantamento mostra uma variação de elevação de 794 m e 807 m, ao longo de um percurso de 932 metros, mostrando que a declividade natural do terreno inviabiliza o transporte dos efluentes exclusivamente por gravidade em um sistema de condutos livres até o ponto de ligação com a rede coletora existente que se encontra a cota 807m.

Figura 39 - Perfil Altimétrico da área em estudo



Fonte: Google Earth Pro (2023).

Como o sistema de esgotamento sanitário busca preferencialmente operar por gravidade em condutos livres, esse fator torna a ligação dos coletores à rede pública tecnicamente inviável, sendo necessária a implantação de uma Estação Elevatória de Esgoto (EEE) para superar o desnível e garantir a condução dos efluentes. Essa solução, embora tecnicamente eficiente, implica maiores custos de implantação, operação e manutenção, e como é um local com 21 casas, essa implantação pode se tornar economicamente inviável.

Nesse contexto, a alternativa adotada foi a utilização de sistemas individuais descentralizados de esgotamento, constituídos por fossas sépticas seguidas de filtro anaeróbio e sumidouro, conforme as diretrizes da norma NBR 17076/2024 (ABNT, 2024), o que resultará na substituição das fossas rudimentares. Essa solução, embora apresente implantação simplificada, requer manutenção periódica para garantir sua eficiência, o que depende de cada morador do local.

Assim, faz-se necessário fazer o pré-dimensionamento do sistema tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e sumidouro para cada casa.

6.2.2 Pré-dimensionamento da rede coletora de esgoto do Bairro Bela Vista

A partir do traçado definido e com o auxílio da Google Earth, foi determinado os comprimentos de cada trecho, além das cotas nos pontos a montante e a jusante. Posteriormente, foi obtido o comprimento total da rede por meio de um somatório de todos os trechos, que resultou em 1445,90 metros.

O dimensionamento da rede coletora foi realizado com base nas equações apresentadas no referencial teórico (Equações 1 a 8) e nos parâmetros definidos no item 5.3.1 da Metodologia, conforme o Manual do Empreendedor da Saneouro (2021), NBR 9649/1986 (ABNT) e literatura especializada (Sobrinho e Tsutiya, 1999; Crespo, 1997). A tubulação adotada é de PVC, conforme determina o Manual do Empreendedor da Saneouro (2021).

A Tabela 30 apresenta os resultados finais do dimensionamento, incluindo o comprimento de cada trecho, cotas, vazões médias e de projeto, diâmetro, declividade, profundidade, recobrimento, tensão trativa e velocidades, a partir das equações utilizadas e o material utilizado.

Tabela 30 - Resultados do dimensionamento da rede coletora de esgoto para o bairro Bela Vista

PVm - PVj (Trecho)	Extensão (m)	Taxa de Contr. Lin. (l / s.m)	Contr.do Trecho (l / s)	Vazão a Montante (l / s)	Vazão a Jusante (l / s)	Vazão Projeto (l / s)	Diâmetro (mm)	Declividade (m/m)	Declividade (m/m)	Cota do Terreno (m)	Cota do Coletor (m)	Q/I ^{0,5}	Lâmina Líquida (Y/D)	Prof. da Singular. a Jusante (m)	Vi (m/s)	RH (m)	Tensão Trativa (Pa)	Vc
		Inicial Final	Inicial Final	Inicial Final	Inicial Final	Inicial Final	Requerido Adotado	Terreno Mínima	Adotada	montante jusante	montante jusante	Inicial Final	inicial final	Vf (m/s)	inicial final			(m/s)
1-1	59,60	0,00060	0,04	0,00	0,04	1,50	48,1	0,0503	0,0503	827,000	825,850	0,007	0,14	1,150	0,97	0,013	6,69	2,17
		0,00122	0,07	0,00	0,07	1,50	150	0,0045		824,000	822,8500	0,007	0,14		0,97	0,013		
1-2	98,70	0,00060	0,06	0,00	0,06	1,50	46,4	0,0608	0,0608	830,000	828,850	0,006	0,14	1,150	1,04	0,013	7,78	2,13
		0,00122	0,12	0,00	0,12	1,50	150	0,0045		824,000	822,850	0,006	0,14		1,04	0,013		
1-3	90,70	0,00060	0,05	0,09	0,15	1,50	44,4	0,0772	0,0772	824,000	822,850	0,005	0,13	1,150	1,13	0,012	9,34	2,07
		0,00122	0,11	0,19	0,30	1,50	150	0,0045		817,000	815,850	0,005	0,13		1,13	0,012		
1-4	83,30	0,00060	0,05	0,00	0,05	1,50	51,2	0,0360	0,0360	820,000	818,850	0,008	0,16	1,150	0,86	0,014	5,15	2,25
		0,00122	0,10	0,00	0,10	1,50	150	0,0045		817,000	815,850	0,008	0,16		0,86	0,014		
1-5	88,80	0,00060	0,05	0,10	0,16	1,50	41,4	0,1126	0,1126	817,000	815,850	0,004	0,12	1,150	1,29	0,011	12,50	1,98
		0,00122	0,11	0,21	0,32	1,50	150	0,0045		807,000	805,850	0,004	0,12		1,29	0,011		
1-6	85,70	0,00060	0,05	0,00	0,05	1,50	55,5	0,0233	0,0233	809,000	807,850	0,010	0,17	1,150	0,74	0,016	3,69	2,36
		0,00122	0,10	0,00	0,10	1,50	150	0,0045		807,000	805,850	0,010	0,17		0,74	0,016		
1-7	88,90	0,00060	0,05	0,30	0,36	1,50	42,2	0,1012	0,1012	807,000	805,850	0,005	0,12	1,150	1,24	0,011	11,54	2,01
		0,00122	0,11	0,62	0,73	1,50	150	0,0045		798,000	796,850	0,005	0,12		1,24	0,011		
COLETOR 1																		
2-1	56,60	0,00060	0,03	0,00	0,03	1,50	47,6	0,0530	0,0530	833,000	831,850	0,007	0,14	1,150	0,99	0,013	7,00	2,16
		0,00122	0,07	0,00	0,07	1,50	150	0,0045		830,000	828,850	0,007	0,14		0,99	0,013		
2-2	89,20	0,00060	0,05	0,03	0,09	1,50	41,4	0,1121	0,1121	830,000	828,850	0,004	0,12	1,150	1,28	0,011	12,44	1,97
		0,00122	0,11	0,07	0,18	1,50	150	0,0045		820,000	818,850	0,004	0,12		1,28	0,011		
2-3	92,70	0,00060	0,06	0,09	0,14	1,50	40,9	0,1187	0,1187	820,000	831,850	0,004	0,12	1,150	1,31	0,011	13,05	1,97
		0,00122	0,11	0,18	0,29	1,50	150	0,0045		809,000	807,850	0,004	0,12		1,31	0,011		
2-4	69,80	0,00060	0,04	0,14	0,18	1,50	39,5	0,1433	0,1433	809,000	807,850	0,004	0,11	1,150	1,40	0,011	15,04	1,92
		0,00122	0,09	0,29	0,38	1,50	150	0,0045		799,000	797,850	0,004	0,11		1,40	0,011		
COLETOR 2																		
3-1	64,00	0,00060	0,04	0,00	0,04	1,50	39,7	0,1406	0,1406	830,000	828,850		0,11	1,150	1,39	0,011	14,91	1,93
		0,00122	0,08	0,00	0,08	1,50	150	0,0045		821,000	819,850		0,11			0,011		
6-1	118,00	0,00060	0,07	0,04	0,11	1,50	42,1	0,1017	0,1017	821,000	819,850		0,12	1,150	1,24	0,011	11,59	2,01
		0,00122	0,14	0,08	0,22	1,50	150	0,0045		809,000	807,850		0,12			0,011		
4-1	135,00	0,00060	0,08	0,00	0,08	1,50	43,9	0,0815	0,0815	820,000	818,850		0,13	1,150	1,15	0,012	9,70	2,05
		0,00122	0,16	0,00	0,16	1,50	150	0,0045		809,000	807,850		0,13			0,012		
6-2	88,90	0,00060	0,05	0,19	0,24	1,50	47,1	0,0562	0,0562	809,000	807,850		0,14	1,150	1,01	0,013	7,31	2,14
		0,00122	0,11	0,39	0,50	1,50	150	0,0045		804,000	802,850		0,14					
5-1	135,00	0,00060	0,08	0,00	0,08	1,50	50,9	0,0370	0,0370	809,000	807,850		0,15	1,150	0,87	0,014	5,30	2,25
		0,00122	0,16	0,00	0,16	1,50	150	0,0045		804,000	802,850		0,15					
6-3	78,80	0,00060	0,05	0,32	0,37	1,50	42,2	0,1015	0,1015	804,000	802,850		0,12	1,150	1,24	0,011	11,57	2,01
		0,00122	0,10	0,66	0,76	1,50	150	0,0045		796,000	794,850		0,12					
COLETOR 3																		
total	1444,90																	

Fonte: Autora (2026).

A população inicial da área de estudo foi estimada conforme o procedimento apresentado no item 5.3.1 da Metodologia, considerando o número de lotes existentes e a média de 4 habitantes por domicílio. O resultado obtido foi uma população inicial de aproximadamente 52 habitantes.

Já a população final da área de estudo foi estimada considerando a ocupação máxima do loteamento e o parcelamento completo da área. O resultado obtido foi uma população de 312 habitantes.

Com base nos parâmetros previamente definidos na Tabela 15 e descritos no item 5.3.1 da Metodologia, foram determinadas as vazões de esgoto correspondentes a cada trecho da rede, bem como as taxas de contribuição linear inicial e final.

Os trechos situados a montante não apresentaram contribuição anterior, resultando em vazão inicial nula. Para os demais trechos, embora tenham sido calculadas vazões específicas, os valores obtidos foram inferiores à vazão mínima de projeto estabelecida pela NBR 9649/1986 (ABNT). Assim, adotou-se o valor normativo de 1,5 L/s para todos os trechos da rede, assegurando o atendimento aos critérios técnicos e o funcionamento adequado do sistema.

As declividades dos trechos da rede coletora foram determinadas conforme o procedimento descrito no item 5.3.1 da Metodologia. Os resultados obtidos demonstraram que todos os trechos apresentaram declividade superior ao valor mínimo exigido em norma (0,0045 m/m), garantindo condições adequadas para o escoamento do efluente, sem necessidade de ajustes adicionais no traçado ou nos parâmetros hidráulicos adotados.

Observa-se que as declividades naturais do terreno na área de estudo são elevadas, o que pode resultar em profundidades excessivas dos coletores ao longo dos trechos. Os resultados indicaram que a profundidade dos coletores foi de 1,15 m, valor compatível com os critérios estabelecidos pela Saneouro para atender ao recobrimento mínimo exigido de 0,9m.

Os diâmetros da tubulação foram definidos conforme o procedimento apresentado no item 5.3.1. Os resultados obtidos indicaram que os diâmetros calculados para todos os trechos foram inferiores ao valor mínimo normativo. Dessa forma, foi adotado o diâmetro mínimo de 150 mm, conforme estabelecido pelo Manual do Empreendedor da Saneouro (2021), garantindo padronização da rede e atendimento às exigências técnicas vigentes.

A análise das tensões trativas calculadas para os trechos da rede coletora indica que todos os valores estão acima do mínimo exigido de 1,0 Pa, garantindo condições adequadas de autolimpeza e evitando o acúmulo de sólidos.

De forma geral, os valores variaram de 3,39 Pa sendo ele o trecho 1-6, o mais próximo do limite mínimo de 1 Pa, até 15,04 Pa no trecho 2-4, representando as tensões mais elevadas observadas na rede. Esses resultados demonstram que a declividade e o diâmetro adotados em todos os trechos são suficientes para promover o escoamento eficiente do esgoto, atendendo aos critérios da NBR 9649/1986 (ABNT).

Essa análise confirma que o dimensionamento realizado garante a operação segura e eficiente do sistema de esgotamento sanitário, sem necessidade de ajustes adicionais nos parâmetros hidráulicos da rede.

Queiroz *et al.*, (2015), em seu estudo sobre a influência da topografia, afirmam que as redes de esgoto com topografia elevada apresentam valores de tensão trativa altos e satisfatórios, o que evidencia a influência direta da topografia no dimensionamento hidráulico.

Em relação ao cálculo de verificação, os resultados demonstraram que, em todos os trechos, a velocidade final (V_f) permaneceu inferior à velocidade crítica (V_c), conforme recomendação 4.7.7. Dessa forma, não houve necessidade de limitação da lâmina d'água a 50% do diâmetro interno do coletor, condição exigida apenas quando $V_f > V_c$.

Além disso, as velocidades obtidas também permaneceram abaixo do limite máximo recomendado de 5 m/s, atendendo integralmente às exigências feitas no item 4.7.7 e garantindo condições adequadas de escoamento.

Quanto à relação Y/D, todos os trechos apresentaram valores inferiores a 0,75, conforme estabelece a NBR 9649/1986, indicando que o escoamento ocorre em regime adequado, sem sobrecarga da seção transversal do coletor. Esse resultado confirma que o dimensionamento adotado proporciona margem de segurança hidráulica e estabilidade operacional ao sistema.

De forma conjunta, a análise das velocidades, da relação Y/D e das tensões trativas demonstra que a rede coletora atende plenamente aos critérios técnicos da norma, assegurando desempenho hidráulico satisfatório e funcionamento eficiente do sistema de esgotamento sanitário.

6.2.2.1 Estimativa de custos de implantação

A estimativa de custo para a implantação da rede coletora de esgoto convencional também foi realizada com base em composições de custos unitários do SINAPI (2025).

Para a tubulação da rede, adotou-se a composição SINAPI 90695 – Tubo de PVC para rede coletora de esgoto de parede maciça, DN 150 mm, com junta elástica, incluindo fornecimento e assentamento. O custo do metro unitário é de R\$ 94,55, valor não desonerado. Esse valor foi multiplicado ao comprimento total da rede pré-dimensionada que foi de 1444,90 metros, possibilitando a obtenção do custo preliminar de implantação da rede coletora de esgoto.

Para os acessórios da rede, foram previstos dispositivos de inspeção e manutenção. Assim, o sistema é composto por 7 poços de visita (PV) e 13 terminais de inspeção e limpeza (TIL).

Os poços de visita foram adotados locais onde se tem a entrada de mais de 3 redes. Adotou-se a composição SINAPI 102141-Base para poço de visita circular para esgoto, em concreto pré-moldado, com diâmetro interno de 1,50 m e profundidade de 1,35 m, excluindo tampão. O custo unitário dessa composição é de R\$ 2.846,16 por unidade, não desonerado. Além disso, foi necessário incluir um acréscimo para poço de visita circular destinado à drenagem, em alvenaria com tijolos

cerâmicos maciços, diâmetro interno de 1,5 m, no valor de R\$ 2.183,12, valor não desonerado.

Para os terminais de inspeção e limpeza (TIL) da rede coletora de esgoto, adotou-se a composição SINAPI 98112-TIL condominial para esgoto, em PVC, DN 100 × 100 mm. O custo unitário dessa composição é de R\$ 106,19 por unidade, não desonerado.

A Tabela 31, apresenta o valor estimado para a construção da infraestrutura das redes coletoras.

Tabela 31 - Estimativa de custo da rede coletora de esgoto

Item	Valor	Referência
Tubo PVC - D 150mm	R\$ 136.615,295	SINAPI 90695
Poço de Visita	R\$ 19.923,12	SINAPI 102141
Acréscimo para poço de visita	15.281,84	SINAPI 99249
Terminais de inspeção e limpeza	R\$ 1.380,47	SINAPI 98112
TOTAL	R\$173.200,725	

Fonte: Orcamentor (2025).

Estudos de economicidade e viabilidade técnica para redes coletoras de esgoto frequentemente utilizam dados do SINAPI para validar seus orçamentos, confirmando a adequação desses valores para projetos de infraestrutura de saneamento (Araújo, 2025).

Ressalta-se que a estimativa de custos apresentada neste estudo considera apenas os valores referentes aos componentes principais do sistema não contemplando despesas relacionadas à escavação das unidades, reaterro das estruturas, transporte de materiais, ligações prediais ou demais serviços complementares necessários à implantação completa do sistema. Dessa forma, os valores apresentados devem ser

interpretados como uma estimativa simplificada, com o objetivo de comparar alternativas e avaliar a viabilidade da solução proposta.

6.3 Pré-seleção de alternativas para o tratamento de esgotos

Com base nos critérios de viabilidade e nos padrões de lançamento estabelecidos pela COPAM nº 08/2022, realizou-se à seleção das tecnologias de tratamento amplamente utilizadas no Brasil, conforme o Atlas Esgotos (ANA, 2017).

A escolha fundamentou-se na capacidade técnica de cada sistema em atender aos padrões restritivos de Minas Gerais e pela sua relevância regional, conforme as seguintes justificativas:

Alternativa 1: Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga. Este sistema combinado é uma solução comprovada, com exemplos de aplicação em ETEs de cidades como Itabirito (Saae-Itabirito, 2022). A utilização desta tecnologia em municípios da região reforça sua pertinência para a avaliação.

Alternativa 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa. Este sistema de lagoas é amplamente utilizado no Brasil, sendo inclusive empregado pela COPASA na ETE como a de Ouro Branco (Atlas Esgoto, 2016). Sua prevalência na região justifica sua inclusão na análise de pré-seleção.

Alternativa 3: Sistema de lodos ativados com aeração prolongada. Este sistema é implementado na ETE de Cachoeira do Campo em Ouro Preto, com potencial de uso em distritos maiores, tornando-o imprescindível para a análise (Ouro Preto, 2025).

A Tabela 32 a seguir mostra as eficiências de cada um dos tratamentos relacionados a esses três critérios.

Tabela 32 - Eficiências típicas e valores esperados no efluente tratado

Tratamento	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Nitrogênio Amoniacal	Sólidos Suspensos
Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga.	80% a 92%	20% a 30%	85% a 95%
Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa	70% a 85%	20% a 30%	70% a 80%
Lodos Ativados com Aeração Prolongada	85% a 97%	85% a 95%	85% a 95%

Fonte: Funasa (2019).

Para orientar a análise das tecnologias de tratamento, a Tabela 33 apresenta os valores médios dos critérios que foram selecionados para a escolha do tipo de tratamento que será empregado, com base em Von Sperling (2014).

Tabela 33 - Valores médios dos critérios para as tecnologias de tratamento

Tecnologia de tratamento	C1- Requisito de área (m²/hab)	C2 -Custo de implantação (R\$/hab)*	C3-Custos operacionais e de manutenção (R\$/hab.ano)*	C4-Potência de aeração: implantação (W/hab)
Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga.	0,145	330,05	35,71	0
Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa	2,25	248,89	14,07	0
Lodos Ativados com Aeração Prolongada	0,185	508,61	86,57	4,5
Tecnologia de tratamento	C5-Potência de aeração: operação (kWh/hab.ano)	C6- Simplicidade operacional e de manutenção	C7 - Eficiência na remoção de matéria orgânica (%)	C8 - Produção de lodo (L/hab.ano)
Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga.	0	3,5	86	40
Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa	0	5	77,5	40
Lodos Ativados com Aeração Prolongada	27,5	2	91	72,5

*Valores atualizados conforme o INCC 2026 (Índice Nacional de Custo da Construção) desde o INCC 2014.

Fonte: Von Sperling (2014).

Após a obtenção dos valores médios para cada critério estabelecido, procedeu-se ao dimensionamento individualizado das alternativas para viabilizar uma análise

comparativa e determinar a viabilidade de cada tratamento, conforme descrito no item 5.4. Para o dimensionamento em questão, aplicou-se a Equação 12, resultando em uma estimativa de 5.442 habitantes para a população final atendida, valor este que serviu como parâmetro norteador para a seleção da alternativa mais adequada ao cenário estudado.

Os resultados obtidos foram apresentados na Tabela 34 a seguir:

Tabela 34 - Critérios calculados para cada alternativa considerada.

Tecnologia de tratamento	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de filtro biológico percolador de baixa carga.	Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa	Lodos Ativados com Aeração Prolongada
C1 - Requisito de área (m²/hab)	789,09 m ²	12.244,50m ²	1.006,77m ²
C2 - Custo de implantação (R\$/hab)*	R\$ 1.796.132,1	R\$ 1.354.459,38	R\$ 2.767.855,62
C3 - Custos operacionais e de manutenção(R\$/hab.ano)*	R\$ 194.333,82	R\$ 76.568,94	R\$ 471.113,94
C4-Potência de aeração: implantação (W/hab)	0	0	24.489
C5-Potência de aeração: operação (kWh/hab.ano)	0	0	149.655
C6 - Simplicidade operacional e de manutenção (adm)	3,5	5	2
C7 - Eficiência na remoção de matéria orgânica (%)	86	77,5	91
C8 - Produção de lodo (L/hab.ano)	217.680	217.680	394.545

Fonte: Autora (2026).

Diante disso, foi realizada uma análise de cada critério para se escolher o tratamento mais adequado.

C1 - Requisito de Área (m²)

Este critério avalia a área total necessária para a implantação de cada sistema de tratamento.

- UASB + FBP: Requer aproximadamente 789,09 m². Este sistema é o mais compacto entre os avaliados, tornando-o adequado para locais com restrição de espaço.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Demanda uma área significativamente maior, cerca de 12.244,50 m². Esta vasta necessidade de área é o principal fator limitante para a escolha deste sistema, apesar de suas vantagens em outros aspectos.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Necessita de aproximadamente 1.006,77 m². Embora seja mais compacto que o sistema de lagoas, é maior que o UASB + FBP.

Conclusão C1: O sistema UASB + FBP destaca-se pela sua menor demanda de área, sendo a opção mais vantajosa.

C2 - Custo de Implantação (R\$)

Este critério representa o investimento inicial necessário para a construção e instalação do sistema de tratamento.

- UASB + FBP: O custo de implantação estimado é de R\$ 1.796.132,10.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Apresenta o menor custo de implantação, com um valor de R\$ 1.354.459,38. Isso se deve à sua simplicidade construtiva e menor necessidade de equipamentos eletromecânicos complexos.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: É o sistema com o maior custo de implantação, atingindo R\$ 2.767.855,62. Este valor elevado é justificado pela complexidade das estruturas, equipamentos de aeração e controle necessários.

Conclusão C2: O sistema de Lagoas Anaeróbia + Facultativa é o mais atrativo em termos de custo inicial de implantação.

C3 - Custos Operacionais e de Manutenção (R\$)

Este critério reflete os gastos com energia, produtos químicos, mão de obra e manutenção dos equipamentos.

- UASB + FBP: O custo operacional anual é de R\$ 194.333,82.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Possui o menor custo operacional, estimado em R\$ 76.568,94. A operação de lagoas é geralmente mais simples e requer menos energia e manutenção intensiva.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Apresenta o maior custo operacional, com R\$ 471.113,94. Este valor é impulsionado principalmente pelo alto consumo de energia elétrica para a aeração e pela necessidade de mão de obra especializada.

Conclusão C3: O sistema de Lagoas Anaeróbia + Facultativa é o mais vantajoso em termos de custos operacionais e de manutenção.

C4 - Potência de Aeração: Implantação (W/hab)

Este critério indica a potência elétrica necessária para o processo de aeração, que é crucial para a oxigenação do esgoto em alguns sistemas.

- UASB + FBP: Não requer aeração, portanto, a potência instalada é de 0 kW.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Não requer aeração mecânica, resultando em 0 kW de potência instalada.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Requer uma potência instalada significativa de 24,49 kW. Este é um dos principais contribuintes para o alto custo operacional deste sistema.

Conclusão C4: Os sistemas UASB + FBP e Lagoas Anaeróbia + Facultativa são superiores por não demandarem potência para aeração, o que mostra economia de energia e menor complexidade.

C5 - Potência de Aeração: Operação (kWh/hab.ano)

Este critério quantifica o consumo anual de energia elétrica para a operação do sistema, diretamente relacionado aos custos operacionais.

- UASB + FBP: O consumo de energia anual é de 0 kWh, pois não há aeração.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: O consumo de energia anual é de 0 kWh, também pela ausência de aeração mecânica.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Apresenta um consumo anual de energia de 149.655 kWh. Este valor elevado impacta diretamente os custos operacionais.

Conclusão C5: UASB + FBP e Lagoas Anaeróbia + Facultativa se destacam por não consumirem energia para aeração, sendo mais sustentáveis e econômicos neste aspecto.

C6 - Simplicidade Operacional e de Manutenção (Escala 1-5, onde 5 é mais simples)

Este critério avalia a facilidade de operação e a complexidade da manutenção do sistema, influenciando a necessidade de mão de obra especializada.

- UASB + FBP: Possui um índice de simplicidade de 3,5. É um sistema que exige certo nível de conhecimento técnico para operação e manutenção, mas é menos complexo que os lodos ativados.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Apresenta o maior índice de simplicidade (5,0). A operação de lagoas é considerada a mais simples, requerendo menor qualificação da equipe e manutenção menos intensiva.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Possui o menor índice de simplicidade (2,0). Este sistema é o mais complexo, exigindo operadores qualificados, monitoramento constante e manutenção preventiva e corretiva de equipamentos eletromecânicos.

Conclusão C6: O sistema de Lagoas Anaeróbia + Facultativa é o mais vantajoso em termos de simplicidade operacional e de manutenção.

C7 - Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica (%)

Este critério mede a capacidade do sistema de remover a matéria orgânica presente no esgoto.

- UASB + FBP: Apresenta uma boa eficiência de 86% na remoção de matéria orgânica.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Possui a menor eficiência (77,5%) entre os sistemas avaliados.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Demonstra a maior eficiência (91%) na remoção de matéria orgânica. Este sistema é capaz de produzir um efluente de alta qualidade, atendendo aos mais exigentes padrões de lançamento.

Conclusão C7: O sistema de Lodos Ativados com Aeração Prolongada é o mais eficiente na remoção de matéria orgânica, sendo a escolha ideal quando os padrões de lançamento são muito rigorosos.

C8 - Produção de Lodo

Este critério quantifica o volume de lodo gerado anualmente pelo processo de tratamento, que necessita de descarte adequado e representa um custo adicional.

- UASB + FBP: Produz 217.680 L de lodo anualmente.

- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa: Produz 217.680 L de lodo anualmente, similar ao UASB + FBP.

- Lodos Ativados com Aeração Prolongada: Gera o maior volume de lodo, 394.545 L anualmente. O gerenciamento e descarte deste volume maior de lodo representam um custo adicional significativo.

Conclusão C8: Os sistemas UASB + FBP e Lagoas Anaeróbia + Facultativa são mais vantajosos por produzirem menor volume de lodo, simplificando o gerenciamento e reduzindo custos associados ao descarte.

Com base na análise detalhada dos critérios técnicos e econômicos para uma população de 5.442 habitantes, os sistemas de Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa e UASB + Filtro Biológico Percolador de baixa carga, se destacaram como alternativas mais favoráveis quando comparados ao sistema de Lodos Ativados com Aeração Prolongada.

A principal diferença entre as duas tecnologias reside na área demandada e nos custos de implantação e operação. O sistema UASB + FBP destaca-se por sua menor

área (789,09 m²). Por outro lado, o sistema de Lagoas apresenta o menor custo de implantação (R\$ 1.354.459,38) e o menor custo operacional anual (R\$ 76.568,94).

Considerando que o distrito possui 868,94 ha de área verde urbana (Relatório de Leitura Técnica - Vol 1, 2024) a demanda por espaço, embora seja um critério técnico relevante, torna-se um fator menos restritivo para a escolha da tecnologia. Diante disso, o sistema de Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa é a opção mais recomendada.

Esta escolha é corroborada com a literatura técnica, que aponta as lagoas de estabilização como a tecnologia de tratamento de esgoto mais difundida e adequada para municípios de pequeno e médio porte no Brasil, devido à sua simplicidade operacional e baixos custos de manutenção, além de ser muito adequada para o Brasil devido às grandes áreas planas e clima favorável (Jordão; Pessôa 2011). Conforme destacam Monteggia e Sobrinho (1999), esses sistemas se sobressaem pela simplicidade construtiva e eficiência satisfatória na remoção de matéria orgânica.

6.4 Sistema descentralizado de esgotamento

Para a localidade do Bairro Bela Vista onde não foi possível lançar a rede coletora com escoamento livre por gravidade foi proposto o sistema descentralizado como alternativa para o esgotamento sanitário, constituído por tanque séptico seguido filtro anaeróbio e sumidouro. Os resultados do pré-dimensionamento deste sistema alternativo são apresentados neste capítulo.

O pré-dimensionamento do tanque séptico foi realizado para um cenário de 4 habitantes por domicílio, utilizando os parâmetros de projeto definidos no item 5.3.2. Substituindo os valores na Equação 9, foi encontrado o valor de volume útil requerido de 2060 litros (2,06 m³).

Com o valor do volume útil de cada tanque, foi possível calcular as demais dimensões como altura, comprimento e largura, sendo que a altura foi pré-dimensionada de acordo com as medidas internas mínimas da norma, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 35 - Dimensões do tanque séptico.

Volume útil do tanque	2,06 m ³
Largura	1
Comprimento	1,8
Altura	1,2
Volume encontrado	2,16 m ³

Fonte: Autora (2026).

Dito isso, foi obtido os valores das dimensões do tanque séptico, resultando em um volume de 2,16 m³. Esse volume atende os critérios de dimensionamento, uma vez que é superior ao volume útil encontrado de 2,06 m³.

Contudo, considerando a viabilidade executiva e a disponibilidade de unidades pré-fabricadas no mercado, optou-se também por indicar a adoção de componentes fabricados, comercializados em modelos padronizados. Nesse caso, o dimensionamento pode ser representado pelo diâmetro e altura útil da unidade, parâmetros usualmente fornecidos pelos fabricantes, o que facilita a especificação e a aquisição do sistema.

Assim, foi adotado o volume comercial de 2,2 m³ para o tanque séptico, por se tratar de um valor disponível no mercado. Destaca-se ainda que as dimensões inicialmente calculadas constituem uma alternativa tecnicamente viável, desde que sejam respeitados os parâmetros normativos, especialmente a altura mínima interna de 1,20 m, conforme exigido pela norma (NBR 17076/2024).

Para validar o resultado obtido, foi realizada uma comparação com os dados disponíveis no estudo de Almeida *et al.* (2022), que utilizam a antiga norma NBR 7229/1993 (ABNT, 1993) para o dimensionamento de tanques sépticos unifamiliares, considerando um intervalo de limpeza de 1 ano, taxa de acumulação de lodo digerido de 57 L/pessoa.dia, contribuição de lodo fresco de 1 L/pessoa.dia e temperatura média de 20°C, para uma residência de 4 pessoas com a contribuição de despejo

diária de 200 L/pessoa,dia. Obtendo um volume útil de 2028 litros ou 2,028 m³, resultado em um valor bem próximo ao valor obtido nesse estudo.

Adicionalmente, o estudo de Almeida *et al.* (2022) explora a viabilidade da construção de tanques sépticos unifamiliares utilizando caixas d'água de 1000 ou 2000 L. Essa abordagem oferece vantagens como simplicidade, agilidade na montagem, facilidade de aquisição, excelente durabilidade do polietileno e baixa manutenção. Embora a profundidade possa ser inferior à recomendada pela NBR 17076/2024 (ABNT, 2024), o tempo de detenção hidráulica compensaria essa diferença, permitindo a decantação e acomodação adequadas do lodo. O uso dessas caixas ajudaria na universalização do saneamento do Brasil, especialmente em comunidades dispersas (Figueiredo *et al.*, 2019), uma vez que as características construtivas desses tanques sépticos deveriam ser adequadas para atender o seu respectivo público (Tonetti *et al.* 2021). A seguir, é apresentado na Figura 40 um exemplo de um tanque séptico que pode ser adotado.

Figura 40 – Exemplo de tanque séptico.



Fonte: Biodigestor na Web (2023).

Pré-dimensionamento do filtro anaeróbio

Visto que o tratamento realizado por tanque séptico não é eficiente atuando isoladamente, é necessário adotar um pós-tratamento, como o filtro anaeróbio (Cordeiro, 2021). De acordo com Funasa (2019), os tanques sépticos apresentam eficiência típica de remoção de DBO entre 30% e 40%. Entretanto, quando associados a unidades de tratamento complementar, como o filtro anaeróbio, a eficiência do sistema pode atingir valores entre 70% e 85% de remoção de DBO (Funasa, 2019).

O pré-dimensionamento do filtro anaeróbio foi realizado com base nos parâmetros de projeto especificados no item 5.3.3. Aplicando os valores na Equação 10, foi obtido um volume útil de 1280 litros. Esse valor de volume atende aos requisitos da norma de que o volume mínimo deve ser de 1000 litros.

Para uma análise comparativa, Cordeiro (2021) dimensionou um filtro anaeróbio para 10 pessoas de padrão alto e período de intervalo de limpeza de 2 anos, resultando em um volume útil de 2355 litros. O estudo de Sidônio (2024) também dimensionou um filtro para atendimento a 10 pessoas, considerando uma contribuição diária de 500 L, resultando em um volume útil de 1934 L. Portanto, o volume útil de 1280 L atende o valor mínimo estabelecido pelas normas vigentes e apresenta compatibilidade com volumes adotados em outros projetos de pequeno porte, como os desenvolvidos por Cordeiro (2021) e Sidônio (2024).

Com base no volume útil obtido para o filtro anaeróbio, foi possível definir uma alternativa dimensional compatível com os critérios normativos (Tabela 36).

Tabela 36 – Dimensões do Filtro Anaerobio

Volume útil do tanque	1,28 m ³
Largura	1
Comprimento	1,2
Altura	1,2
Volume encontrado	1,44 m ³

Fonte: Autora (2026).

Diante dessas dimensões, foi possível adotar um filtro anaeróbio comercializado no mercado como exemplo, desde que suas dimensões atendam ao volume mínimo calculado e aos critérios normativos estabelecidos. Na Figura 41 está apresentado uma figura de um filtro disponibilizado no mercado com um volume de 1600L.

Figura 41- Filtro Anaerobio Comercializado



Fonte: Sanear Brasil (2026).

Pré-dimensionamento do sumidouro

O dimensionamento do sumidouro foi determinado em função da capacidade de absorção do solo, com o valor do coeficiente de infiltração do solo. Considerando a ausência de ensaios de campo para determinação do coeficiente de infiltração do solo, foi adotado por segurança e para simular a pior condição, o coeficiente de infiltração de 20 L/m² × dia, valor obtido a partir de Creder (2006).

Diante dos parâmetros utilizados, a área de infiltração obtida através da Equação 11 foi de 40 m². A área de infiltração de 40 m² calculada, considerando um coeficiente de infiltração de 20 L/m².dia, é um valor intermediário quando comparado a outros estudos. Zago (2017) em seu estudo menciona uma população total (4789 habitantes) da cidade de Fraiburgo-SC relativamente próxima a população do distrito em estudo, considerando um coeficiente de infiltração de 60 L/m².dia, o que resultou em uma área de 13 m². Essa diferença se deu devido a adoção do coeficiente simulando a pior condição, demonstra uma abordagem mais segura para o dimensionamento do sumidouro, garantindo a eficiência do sistema mesmo em solos com menor capacidade de absorção.

Aplicando a Equação 12 e substituindo os valores conhecidos ($A = 40 \text{ m}^2$ e $R = 1,50 \text{ m}$), obteve-se para a altura do sumidouro o valor de $h = 3,49 \text{ m}$.

Dessa forma, foi dimensionado o sumidouro cilíndrico com as seguintes características:

Tabela 37 – Dimensões do sumidouro

Diâmetro	3,00m
Profundidade	3,49m
Área de infiltração	40m ²

Fonte: Autora (2026).

A Figura 42 apresenta um exemplo de sumidouro cilíndrico comercializado no mercado.

Figura 42 – Exemplo de um sumidouro sugerido



Fonte: Mercado Livre (2026).

6.4.1 Estimativa de custos de implantação

A partir disso, foram estimados os custos médios de implantação dos tanques sépticos seguidos filtro anaeróbio e sumidouros, conforme mostrado na Tabela 38.

Foi utilizada dois meios para essa estimativa, a composição SINAPI 98052-Tanque séptico circular, em concreto pré-moldado, com diâmetro interno de 1,10m, altura interna de 2,50m e volume útil de 2138,2 litros, dimensionado para atender até 5 contribuintes. De acordo com a base de dados do SINAPI, referente a dezembro de 2025, o custo unitário do tanque séptico é de R\$ 2.127,76 por unidade. Esse valor contempla os serviços de execução da estrutura em concreto pré moldado, incluindo fornecimento de materiais, mão de obra e atividades construtivas necessárias à implantação do tanque séptico.

O volume útil do tanque séptico encontrado é adequado ao dimensionamento proposto para as residências analisadas, uma vez que a contribuição diária de esgotos

foi de 2060,0 litros, valor compatível com o volume útil de 2138,2 litros de tanque séptico selecionado.

Como no estudo desenvolvido por Almeida *et al.*, (2022), no qual foi constatada a viabilidade da implantação de um tanque séptico utilizando uma caixa d'água com capacidade de 2.000 litros, optou-se por adotar essa alternativa para a estimativa, considerando seu menor custo de implantação e a adequação às condições do sistema analisado. Segundo valores disponíveis no site da Leroy Merlin (2026), uma caixa d'água de 2000 litros de polietileno custa em média R\$ 1.037,13. Dito isso, por apresentar um valor unitário inferior ao custo de referência do SINAPI, o valor da caixa d'água foi utilizado para o cálculo dos custos.

Para o filtro anaeróbio, o volume útil obtido a partir do dimensionamento foi de 1280 litros. Entretanto, ao consultar as composições disponíveis no SINAPI (2025), por meio da base de dados disponibilizada no portal Orcamentor, verificou-se que não há uma composição específica com volume correspondente ao valor calculado. As composições que existem apresentam volumes significativamente superior, o que resultaria em superdimensionamento do sistema e aumento desnecessário dos custos de implantação.

Por isso, optou-se pela composição do SINAPI 98058-Filtro anaeróbio circular, em concreto pré-moldado, com diâmetro interno de 1,10 m, altura interna de 1,50 m e volume útil de 1.140,4 L, dimensionado para atendimento de até 5 contribuintes, que contém um valor próximo ao que foi encontrado no dimensionamento. O custo unitário do filtro anaeróbio é de R\$ 1.860,58 por unidade.

Por fim, para o sumidouro a área de infiltração necessária obtida a partir do dimensionamento foi de 40 m², considerando a contribuição diária de efluentes e os parâmetros adotados para infiltração no solo. Ao consultar as composições disponíveis no SINAPI (2025), verificou-se que as unidades dimensionadas para até 5 contribuintes não atendem à área mínima de infiltração dimensionada.

Como na etapa de dimensionamento, foi adotado o coeficiente de infiltração mais desfavorável, em função da ausência de ensaios do solo, a área obtida representa o pior funcionamento do solo. Possivelmente, caso se tenha feito os ensaios, a sua área

de infiltração seria menor, uma vez que o solo infiltraria com maior facilidade, necessitando de uma área pequena. Dito isso, uma das alternativas avaliadas foi o sumidouro circular em concreto pré-moldado, conforme a composição SINAPI 98063, com diâmetro interno de 2,38 m, altura interna de 2,50 m e área de infiltração unitária de 21,3 m², dimensionado para atendimento de até 8 contribuintes. O custo unitário dessa composição é de R\$ 4.792,26 por unidade. Estão incluídos os materiais, a mão de obra necessária e os equipamentos para a execução do serviço, conforme especificações da composição.

Adicionalmente, optou-se também por considerar o modelo pré-fabricado comercialmente disponível, com volume de 1.100 L, compatível com a contribuição diária de cada domicílio, estimada em 800 L. O valor desse modelo é de R\$ 1.389,00 e não inclui mão de obra para instalação. Apesar disso, o custo comparado é bem menor, o que torna essa alternativa economicamente vantajosa. Dito isso, essa alternativa foi a escolhida para implementação do sistema.

Tabela 38 - Estimativa de custo do tanque séptico seguido do filtro anaeróbio e sumidouros

Item	Valor/UN	Referência
Tanque Séptico	R\$ 1.037,13	Leroy Merlin (2026)
Filtro Anaeróbio	R\$ 1.860,58	SINAPI 98058 (2025)
Sumidouro	R\$ 1.389,00	Mercado Livre (2026)
TOTAL	R\$ 4.286,71	

Fonte: Orcamentor (2025); Leroy Merlin (2026); Mercado Livre (2026).

A estimativa da ARIS (2024) apresenta orçamentos para conjunto de tanque séptico e filtro anaeróbio (sem sumidouro) variando de R\$ 3.349,00 a R\$ 4.195,00 para unidades que tratam até 6 pessoas. A estimativa apresentada na Tabela 38, que já

inclui o sumidouro, se alinha com o limite superior desses orçamentos, reforçando a viabilidade e competitividade do custo proposto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto reflete os desafios em relação ao saneamento que são enfrentados por muitas localidades de pequeno porte no Brasil. A carência dessa infraestrutura inadequada, evidencia o lançamento de esgoto *in natura* em corpos d'água, a insatisfação da população, além de impactar diretamente a qualidade de vida e saúde da população. Essa situação contribui para a degradação ambiental, a contaminação dos recursos hídricos e a perda da qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Portanto, propor melhorias para o sistema de coleta e tratamento como foi feito nesse estudo, é de suma importância uma vez que é um direito de todos, garantido pela Lei Federal 14.026/2020 de usufruir desses serviços. A implementação de um sistema de coleta eficiente e o tratamento adequado do esgoto bruto demandam elevados investimentos financeiros, especialmente em infraestrutura, operação e manutenção, o que dificulta sua implantação em curto prazo pelos municípios.

A análise de viabilidade técnica para a infraestrutura de coleta de esgoto demonstrou que a topografia acentuada favorece o escoamento por gravidade, garantindo tensões tratativas adequadas para a autolimpeza dos condutos. O pré-dimensionamento hidráulico para o Bairro Bela Vista e a estimativa de custos (R\$ 173.200,72) indicaram que a implantação de redes convencionais é tecnicamente viável e necessária para a universalização do serviço no núcleo urbano adensado. Complementarmente, a avaliação de sistemas descentralizados para áreas de ocupação dispersa mostrou-se uma solução indispensável, oferecendo alternativas de baixo custo e rápida implementação para locais onde a rede convencional não é tecnicamente viável por gravidade.

Quanto à seleção da tecnologia para a ETE, a avaliação permitiu identificar o sistema de Lagoas Anaeróbias seguidas de Lagoas Facultativas como a alternativa mais adequada para a realidade local. Embora o sistema UASB + FBP apresentem menor área demandada, a abundância de áreas verdes no distrito minimiza a restrição

espacial, permitindo priorizar a tecnologia de lagoas devido aos seus menores custos de implantação e operação, além da simplicidade operacional.

É importante destacar que experiências anteriores na região evidenciam que a adoção da tecnologia de Lagoas Facultativas, quando associada a concepções simplificadas e condições operacionais inadequadas, pode resultar em desempenho insatisfatório. Ressalta-se, entretanto, que tais limitações não estão associadas à tecnologia em si, mas sim à ausência de etapas complementares de tratamento e à operação ineficiente, que contava apenas com tratamento preliminar. Nesse sentido, a proposta apresentada neste estudo difere do modelo anteriormente adotado, ao considerar a implantação de um sistema mais completo.

Apesar da existência de tecnologias adequadas e amplamente difundidas para o tratamento de esgotos, a implementação efetiva dessas soluções em localidades de pequeno porte ainda enfrenta diversos entraves, principalmente relacionados às limitações financeiras dos municípios, à baixa capacidade institucional para planejamento e gestão dos serviços de saneamento e à priorização histórica insuficiente desse setor nas políticas públicas.

Nesse contexto, o presente estudo busca contribuir para a redução dessas lacunas ao apresentar alternativas técnicas compatíveis com a realidade local. Ao propor soluções adaptadas às características do distrito de Antônio Pereira, o trabalho reforça a importância do planejamento integrado do saneamento como instrumento fundamental para a garantia do Direito Humano à Água e ao Saneamento (DHAS), promovendo melhorias na saúde pública, na preservação ambiental e na qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos — Sistema existente: Ouro Branco (MG)**. Brasília: ANA / SNIRH, 2017. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlas_esgoto/Minas_Gerais/Sistema_Atual/Ouro_Branco.pdf. Acesso em: 17 fev. 2026.

ALMEIDA, M. E. P. de; FIGUEIREDO, I. C. S.; PEDRO, J. P. B.; TONETTI, A. L. Simplificação de tanque séptico unifamiliar: uma contribuição para a universalização do saneamento no Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 70, n. 238, p. 81-94, 2022. Disponível em: https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_238_n_2093.pdf. Acesso em: 03 fev. 2026.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1997.

ARAÚJO, Daiani Bastos *et al.* Aplicação de geoprocessamento para avaliação da relação de inconformidades em caixas de gordura com a obstrução da rede de esgoto no município de Itajaí, SC. In: **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 32., 2023. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2023. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/32cbesa/1405_tema_ii.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.

ARAÚJO, Bárbara Pereira de. **Análise técnico-econômica da execução de redes coletoras de esgoto com a utilização de uma nova tecnologia**. 2025. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal Goiano, Campus Trindade, Trindade, 2025. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/6136/1/tcc_B%C3%A1rbara%20Pereira%20de%20Ara%C3%BAjo.pdf. Acesso em: 17 fev. 2026.

ARIS. **Relatório de atualização de metas do Plano Municipal de Saneamento Básico – Palmeira (SC)**. 2024. Disponível em: https://aris.sc.gov.br/uploads/pagina/2874/xCwZ-bgDDmUAWGQKp6-cKJxH3ID_IUn_.pdf. Acesso em: 17 fev. 2026.

ARISB-MG. **Resolução de Fiscalização e Regulação nº 294, de 10 jul. 2024**. Disponível em: https://www.arisb.com.br/arquivos/resolucao_op_294_09032121_30103440.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.

ARSAE-MG. **Planos de saneamento**. Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/planos-saneamento/>. Acesso em: 28 dez. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208: projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: elaboração de projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14486: sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – projeto de redes coletoras com tubos de PVC**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17076: projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte – requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160: sistemas prediais de esgoto sanitário – projeto e execução**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9486: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/516297327/ABNT-NBR-9486-1986>. Acesso em: 28 dez. 2025.

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

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

ATAÍDE, Eduardo Silva; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; FERNANDES, Geraldo Wilson. Florística e caracterização de uma área de campo ferruginoso no Complexo Minerário Alegria, Serra de Antônio Pereira, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1265–1275, dez. 2011.

AUTO SUSTENTÁVEL. **Como o esgoto é tratado? Conheça como funciona uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto**. 2020. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2020/08/como-o-esgoto-e-tratado-conheca-como-funciona-uma-ete.html>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência – ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.

BARROS, R. T. V. *et al.* **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1995. v. 2.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: CONAMA, 2011. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/images/res_conama/res43011.pdf. Acesso em: 02 jan. 2026.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 12 ago. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm. Acesso em: 10 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 10 fev. 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, entre outras disposições. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 15 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Brasília, DF: Presidência da República, 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 28 dez. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 28 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília: FUNASA, 2019. 545 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM)**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/sistemas-de-informacao/sim>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Painel de Indicadores SINISA 2025**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BRITTO, A. L. N. de P. *et al.* Da fragmentação à articulação: a política nacional de saneamento e seu legado histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 65–83, 2012. DOI: 10.22296/2317-1529.2012v14n1p65.

BRUM, M. de M.; WARTCHOW, D. Estudo de sistemas unitários como alternativa transitória para coleta de esgoto. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG – REDE DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA**, 3., 2017, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: RESAG, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/175195>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CAIXA D'ÁGUA 2.000 L em polietileno Fortlev. **Leroy Merlin**, 2026. Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/caixa-daagua-2-000l-em-polietileno-fortlev_89866714. Acesso em: 08 fev. 2026.

CASTRO, César Nunes de. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Rio de Janeiro: Ipea, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/book/9509b26c-a85f-4fb0-9c16-3e20beae3a0b>. Acesso em: 26 mar. 2025.

CATALOSAN: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento – gestão de efluentes domésticos. Ministério da Saúde; Fundação Nacional de Saúde (FUNASA); PAULO, P. L.; GALBIATI, A. F.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. **Campo Grande: UFMS; FUNASA**, 2018. 50 p.

CORDEIRO, G. P. **Sistema fossa-filtro para tratamento de esgoto doméstico**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Presidente Antônio Carlos, Barbacena, 2021.

COSTA, A. M. *et al.* Impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado. In: FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Primeiro caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2010. p. 7-27.

COSTA, P. S. de A. **Desenvolvimento de uma opção de saneamento para pequenos agricultores de Minas Gerais (Itabira)**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

COSTA, Raissa Nathercia Fernandes. **Metodologia para seleção de sistemas de tratamento de esgoto para pequenos municípios do semiárido brasileiro**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.

CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

DIAS, M. S. B.; PEREIRA, A. C. Tecnologias descentralizadas apropriadas para tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais: estudo de caso para uma comunidade rural de Simonésia – Minas Gerais. **ForScience**, v. 9, n. 2, p. e00995, 2021.

ECOBACTÉRIAS. **Como funciona uma fossa séptica**. Disponível em: <https://www.ecobacterias.com/como-funciona-uma-fossa-septica/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

ECONOMIA-DF. **Lei Orçamentária Anual – LOA**. 2020. Disponível em: <https://www.economia.df.gov.br/loa>. Acesso em: 28 dez. 2025.

ETEJ – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO JUNDIAÍ. **ETEJ**. Disponível em: <https://saneamento.com.br/etej/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

FAUSTINO, A. S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo**. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários da bacia hidrográfica do rio Piranga**. Belo Horizonte, 2015.

FERREIRA, Mateus de Paula; GARCIA, Mariana Silva Duarte. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade Re-Vista**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 1-12, jul. 2017. Disponível em: <https://periodicos.puc-rio.br/dignidaderevista/article/view/393/274>. Acesso em: 27 mai. 2025.

FIBRAV. **Tanque de decantação em fibra de vidro (PRFV): essenciais para a eficiência de estações de tratamento de efluentes**. Disponível em: <https://fibrav.com.br/blog/tanque-de-decantacao-em-fibra-de-vidro-prfv-essenciais-para-a-eficiencia-de-estacoes-de-tratamento-de-efluentes-copy-2/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

FIGUEIREDO, I. C. S.; MIYAZAKI, C. K.; MADRID, F. J. P. LI.; DUARTE, N. C.; MAGALHÃES, T. M.; TONETTI, A. L. Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária? **Revista DAE**, v. 67, p. 87-99, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.057>.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles *et al.* Fossa séptica biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 100-114, 2019.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FILHO, Alexander Augusto de Azevedo *et al.* **Dimensionamento de redes coletoras de esgoto sanitário**. [S. l.]: Centro Universitário UNA, 2022. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/8756277e-0bcf-410d-b3e5-d328b8337e74/content>. Acesso em: 15 fev. 2026.

FLORES, A. X.; RODRÍGUEZ, R. I.; SIN, G.; GERNAEY, K. V. Multi-criteria evaluation of wastewater treatment plant control strategies under uncertainty. **Water Research**, v. 42, p. 4485-4497, 2008.

FREIRE, Ádria Pamplona Miranda. **Sistemas descentralizados para tratamento de esgoto em área rural: estudo de casos**. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022. Disponível em: https://agriculturafamiliar.uff.br/wp-content/uploads/sites/518/2023/01/TCC_Adria_Daiane.pdf. Acesso em: 22 jul. 2025.

FREITAS, Fernando Garcia de; MAGNABOSCO, Ana Lélia. **Saneamento e saúde: como a falta de acesso à infraestrutura básica afeta a incidência de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado no Brasil**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2025. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/03/ESTUDO-COMPLETO-Saneamento-e-saude-Como-a-falta-de-acesso-a-infraestrutura-basica-afeta-as-incidencias-de-doencas-relacionadas-ao-saneamento-ambiental-inadequado-no-Brasil-TRATA-BRASIL.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

FREITAS, Gilson Araújo de *et al.* Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 35., 2015. **Anais...** 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Esgotamento sanitário**. Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/.../Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GEHLING, G. R.; BENETTI, A. D. Aceitabilidade de sistema combinado de esgotos em planos diretores de esgotamento sanitário. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-12.

GESAD/UFSC – GRUPO DE ESTUDOS EM SANEAMENTO, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Cartilha: wetlands construídos – solução sustentável para o tratamento de efluentes e lodos**. Florianópolis: GESAD/UFSC, 2020. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2019/09/CARTILHA-Wetlands-Constru%C3%ADdos-GESAD-2020.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2025.

HAKANEN, J.; MIETTINEN, K.; SAHLSTEDT, K. Wastewater treatment: new insight provided by interactive multiobjective optimization. **Decision Support Systems**, v. 51, n. 2, p. 328-337, 2011.

HELLER, Léo. A crise no abastecimento de água: como pode ser diferente quando analisada pela ótica dos direitos humanos à água? **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 3, p. 447-449, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311XPE010315>.

HERZ, N. **Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. *Geological Survey Professional Paper*, v. 641, n. 1, p. 1-81, 1978.

HOFFMAN, Heike *et al.* Propostas para o saneamento descentralizado no Brasil: tecnologias de baixo custo para o tratamento de esgotos urbanos. In: **INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, 2004, Costão do Santinho. **Anais...** 2004. p. 715.

HUNT, C. C. **Modelo multicritério de apoio à decisão aplicado à seleção de sistema de tratamento de esgoto para pequenos municípios**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

HYDROTECH BRASIL. **Biodigestor 2.200 litros**. Disponível em: <https://biodigestornaweb.com.br/products/biodigestor-2200-litros>. Acesso em: 17 fev. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 17 ago. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **O saneamento básico no Brasil rural: reflexões para alcançar a universalização**. 2022. Disponível em:

<https://www.aguaesaneamento.org.br/noticias/o-saneamento-basico-no-brasil-rural-reflexoes-para-alcancar-a-universalizacao/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **O saneamento em Ouro Preto (MG)**.

Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/ouro-preto>. Acesso em: 28 dez. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **ODS 6: água potável e saneamento**. 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 05 ago. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11 (ODS 11): cidades e comunidades sustentáveis**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em: 4 mar. 2026.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KARIMI, A. R.; MEHRDADI, N.; HASHEMIAN, S. J.; NABI BIDHENDI, G. R.; TAVAKKOLI MOGHADAM, R. Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 8, p. 267-280, 2011.

LIMA, A. S. C. *et al.* Satisfação e percepção dos usuários dos sistemas de saneamento de municípios goianos operados pelas prefeituras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 445-454, 2017.

LIMA, F. T. da S. *et al.* Projeto de implantação de sistema de fossa séptica biodigestora e clorador no Sítio Rio Manso/RJ. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, Vassouras, v. 2, n. 2, p. 11-26, 2012.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. de. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. In: _____. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. 2013. p. 213–232.

MAGALHÃES, M. de A. S.; MORAES, L. R. S. Planejamento urbano e saneamento básico: análise sobre a implementação das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016 de Salvador. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 48–61, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v0i1.48574>. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/48574>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MARTELLI, F. H. **Saneamento básico e qualidade das águas: conceitos fundamentais, principais doenças disseminadas pela água e principais indicadores biológicos da qualidade da água.** São Carlos: Prefeitura de São Carlos, 2013.

MARTINELLI, A. et al. **Esgotamento sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

MAURER, M.; BUFARDI, A.; TILLEY, E.; ZURBRÜGG, C.; TRUFFER, B. A compatibility-based procedure designed to generate potential sanitation system alternatives. **Journal of Environmental Management**, v. 104, p. 51–61, 2012.

MEDEIROS, A. N. et al. Análise da percepção da qualidade ambiental da população de uma cidade do interior do Rio Grande do Norte. **Interações (Campo Grande)**, v. 24, n. 3, p. 869–886, 2023.

MELNYCHUK, I.; SAVKO, O.; POBIHUN, S.; HAVADZYN, N. The impact of a country's level of economic development on environmental safety. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, v. 8, p. 441–451, 2021. Disponível em: http://procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no2/15_47_Melnychuk_21.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.

MENEZES, I. S.; MENDONÇA, L. C. Avaliação do tratamento preliminar da estação de tratamento de efluentes do campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109903>.

MONTEGGIA, L. O.; SOBRINHO, P. A. Lagoas anaeróbias. In: CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 4, p. 100–115.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente.** 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NUCASE – NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. **Operação e manutenção de redes coletoras de esgoto: nível 2.** Brasília: MDR, Secretaria Nacional de Saneamento, 2008. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/operacaoemanutencaoderedescoletorasdeesgoto-nivel2.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

NUCASE – NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. **Processos de tratamento de esgoto: nível 1.** Brasília: MDR, Secretaria Nacional de Saneamento, 2008. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/processodetratamentodeesgoto-nivel1.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2021.

OLIVEIRA, G. M. D. **Proposta de uma estação de tratamento de esgoto para o município de Poço Branco/RN**. 2020. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40503>. Acesso em: 19 jun. 2025.

OLIVEIRA, G. M.; LEAL, J. T. C. P. Soluções sustentáveis para residências rurais: fossa de evapotranspiração e círculo de bananeiras. In: _____. **Tópicos em sustentabilidade & conservação**. 2017. p. 70.

OLIVEIRA, J. et al. Conceitos e tecnologias para o manejo de efluentes domésticos em pequenas comunidades rurais. 2007. p. 1–15.

OLIVEIRA, L. R. **Proposta de intervenção para melhoria do esgotamento sanitário do município de Jericó – Pombal**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso.

ONDAS – OBSERVATÓRIO NACIONAL DOS DIREITOS À ÁGUA E AO SANEAMENTO. **A regionalização do saneamento básico na Lei 14.026/2020: guia para entender e participar do processo**. Brasília, DF: ONDAS, 2021. Disponível em: <https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2021/04/Final-Guia-da-Regionalizacao-05072021-atualizado.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ONU BRASIL – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS 6: água potável e saneamento**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ONUZI, N. C. et al. “Fora Saneou, a água é do povo”: social representations of residents of Ouro Preto, Brazil. 2024.

ORÇAMENTOR. **Composições de custos**. Disponível em: <https://app.orcamentor.com/composicoes>. Acesso em: 3 fev. 2026.

OURO PRETO (MG). **Plano Diretor Municipal de Ouro Preto: leitura técnica**. Volume 1. Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://sgm.ouropreto.mg.gov.br/arquivos/prestacao_contas/PDOP-LT-VOL-1-Versao-NOV-2024.pdf. Acesso em: 27 nov. 2025.

OURO PRETO (MG). **Plano Diretor Municipal de Ouro Preto (PDOP): leitura técnica**. Volume 2. Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://sgm.ouropreto.mg.gov.br/arquivos/prestacao_contas/PDOP-LT-VOL-2-PMOP-251124.pdf. Acesso em: 27 nov. 2025.

OURO PRETO (MG). **Processo de revisão do Plano Diretor e legislação complementar do Município de Ouro Preto: etapa II – diagnóstico participativo da cidade. Produto 2: relatório de leitura comunitária.** Ouro Preto, 2022.

Disponível em:

https://sgm.ouropreto.mg.gov.br/arquivos/prestacao_contas/6d43dbc129e678820f5d447f33cf5703.pdf. Acesso em: 24 nov. 2025.

OURO PRETO (MG). **Lei Municipal nº 1.126, de 20 de dezembro de 2018.** Dispõe sobre o regulamento dos serviços de saneamento básico. Ouro Preto, 2018.

OURO PRETO (MG). **Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto (PMSB).** Ouro Preto, MG: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2023. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/transparencia/pmsop>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PEIXOTO, A. L. A.; AHMED, F. V.; SALES, C. M. R. **Saneamento básico: direito de todos? Uma breve análise.** *Petróleo, Royalties e Região*, v. 19, n. 70, 2021.

Disponível em: <https://royaltiesdopetroleo.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2022/07/artigo-2.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2025.

PEREIRA, A. C. **O saneamento em comunidades isoladas no município de Itapetininga (SP).** 2013. 109 f. Monografia (Especialização em Gestão Pública Municipal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PEREIRA, L. G. **O tratamento de esgoto em Ouro Preto: aspectos históricos e técnicos dos séculos XIX ao XXI.** 2018. 95 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

PEREIRA, M. F. S. et al. **Condições de qualidade de água em um córrego urbano em Ouro Preto – MG.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32., 2022. *Anais...* Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/32cbesa/1433_tema_ii.pdf. Acesso em: 13 ago. 2025.

PIMENTEL, L. B.; MITERHOF, M. T. **O financiamento dos serviços de água e esgoto: análise do passado recente (2016-2019) e desafios da diversificação de fontes para chegar à universalização.** *Economia e Sociedade*, v. 31, n. 3, p. 735-770, 2022.

PIRES, F. J. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário – MG.** 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Plano de Saneamento Básico de Ouro Preto (PLAMSAB).** Ouro Preto, 2025. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PMSOP/PRODUTO-8-DOCUMENTO-SINTESE-DO-PLAMSAB-CONSULTA.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Distritos de Ouro Preto: panorama turístico e características**. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/turismo/distrito/147>. Acesso em: 31 jul. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Plano Diretor Participativo – leitura técnica**. Volume 1. Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://sgm.ouropreto.mg.gov.br/arquivos/prestacao_contas/PDOP-LT-VOL-1-Versao-NOV-2024.pdf. Acesso em: 31 jul. 2025.

QUEIROZ, A. P. et al. **Redes coletoras de esgoto sanitário: a influência da topografia no dimensionamento**. *Revista Multivix*, Espírito Santo, 2015. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/12/redes-coletoras-de-esgoto-sanitario-a-influencia-da-topografia-no-dimensionamento.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2026.

RESENDE, R. G.; FERREIRA, S.; FERNANDES, L. F. R. **O saneamento rural no contexto brasileiro**. *Revista Agrogeoambiental*, v. 10, n. 1, p. 131-149, 2018.

REVISTA DAE. **Rio Amazonas continua recebendo esgoto sanitário em Macapá**. *Revista DAE*, 16 out. 2008. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/noticia/309-Rio-Amazonas-continua-recebendo-esgoto-sanitario-em-Macapá>. Acesso em: 31 jul. 2025.

RIDDERSTOLPE, P. **Introduction to greywater management**. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2004.

SÁ, R. V. O. **Avaliação das condições de saneamento básico em áreas de interesse social do município de Ouro Preto**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO CIDADES + RESILIENTES, 1., 2020. *Anais...*

SAAE ITABIRITO. **Sistema de esgoto**. Itabirito, MG. Disponível em: <https://www.saaeita.mg.gov.br/pagina/view/7/sistema-de-esgoto>. Acesso em: 17 fev. 2026.

SANEAR BRASIL. **Filtro anaeróbio 1.600 litros – Sanear Brasil**. Disponível em: <https://sanearbrasil.com.br/products/filtro-anaerobio-1-600litros-sanear-brasil>. Acesso em: 17 fev. 2026.

SANEOURO. **FAQ – Perguntas frequentes**. Disponível em: <https://www.saneouro.com.br/faq/>. Acesso em: 28 dez. 2025.

SANEOURO. **Manual do Empreendedor**. Ouro Preto, 2021. Disponível em: <https://www.saneouro.com.br/media/upload/ckeditor/2021/09/03/manual-do-empendedor-2021.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2026.

SANEOURO. **Resolução ARISB-MG nº 308/2024**. Disponível em: https://www.saneouro.com.br/media/upload/ckeditor/2024/12/03/resolucao_308_2024_arisb_mg.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.

SANEOURO. **Saneouro obtém licenciamento ambiental da ETE São Bartolomeu**. Ouro Preto, 2024. Disponível em: <https://www.saneouro.com.br/noticias/saneouro-obtem-licenciamento-ambiental-da-ete-sao-bartolomeu/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SIDÔNIO, Y. J. S. **Proposta de um sistema de tratamento de efluentes domésticos para um prédio comercial localizado na cidade de Belém/PA**. *Brazilian Journal of Development*, v. 10, n. 1, 2024.

SILVA, J. C. A. **Tratamento de esgoto doméstico através de círculo de bananeiras e tanque de evapotranspiração**. João Pessoa, 2017.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**. Campinas: Unicamp, 2018.

TONETTI, A. L. et al. **Cost confrontation study for decentralized wastewater treatment: when to adopt a cluster or onsite system?** *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03327-w>.

TOSETTO, M. S. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano**. 2005. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2011.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil**. *Revista Água Latinoamérica*, v. 4, n. 4, p. 20-25, jul./ago. 2004.

UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010: the human right to water and sanitation**. New York, 2010. Disponível em: <https://docs.un.org/en/A/RES/64/292>. Acesso em: 1 jul. 2025.

VOLQUID, R. **Falta de saneamento básico e os prejuízos econômicos, ambientais e sociais**. *IHU On-Line*, São Leopoldo, 20 jun. 2014. Disponível em: <https://ihu.unisinos.br/entrevistas/532512-falta-de-saneamento-basico-e-os-prejuizos-economicos-ambientais-e-sociais-entrevista-especial-com-rafael-volquid->. Acesso em: 7 jul. 2025.

VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C. A. L. *Urban wastewater treatment technologies and implementation of discharge standards in developing countries. Urban water*. v. 4. p. 105-114. 2002.

VON SPERLING, Marcos. Critérios e dados para uma seleção preliminar de sistemas de tratamento de esgotos. **Bio – Engenharia Sanitária e Ambiental**, Encarte Técnico, ano III, n. 1, p. 7-21, jan./abr. 1994.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

WEBGENTE OURO PRETO. **Mapa interativo de Ouro Preto: cadastro sede, SEAGRO e CAR – imóveis**. Disponível em: https://webgente.ouropreto.genteufv.com.br/#/-20.3108784856795/-43.4726643562317/17/ouro_preto:cad_sede_p,ouro_preto:seagro_bcr_p,ouro_preto:car_imovel_a. Acesso em: 20 dez. 2025.

ZAGO, Mayara; DUSI, Luciane. Tratamento de esgoto por fossa séptica e unidades complementares: estudo de caso na cidade de Fraiburgo-SC. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, v. 6, n. 2, p. 95-114, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1414/711>. Acesso em: 05 fev. 2026.

ZENG, G.; JIANG, R.; HUANG, G.; XU, M.; LI, J. *Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of Environmental Management*, v. 82, p. 250-259, 2007.

ANEXO A – TABELAS DA NBR 17076/2024

Tabela 1 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante

Unid.: L

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1

Tabela 2 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Tabela 3 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Tabela 4 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Tabela 4 - Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias)

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15 °C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1 500	1,17	1,0	0,92
De 1 501 a 3 000	1,08	0,92	0,83
De 3 001 a 4 500	1,00	0,83	0,75
De 4 501 a 6 000	0,92	0,75	0,67
De 6 001 a 7 500	0,83	0,67	0,58
De 7 501 a 9 000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50