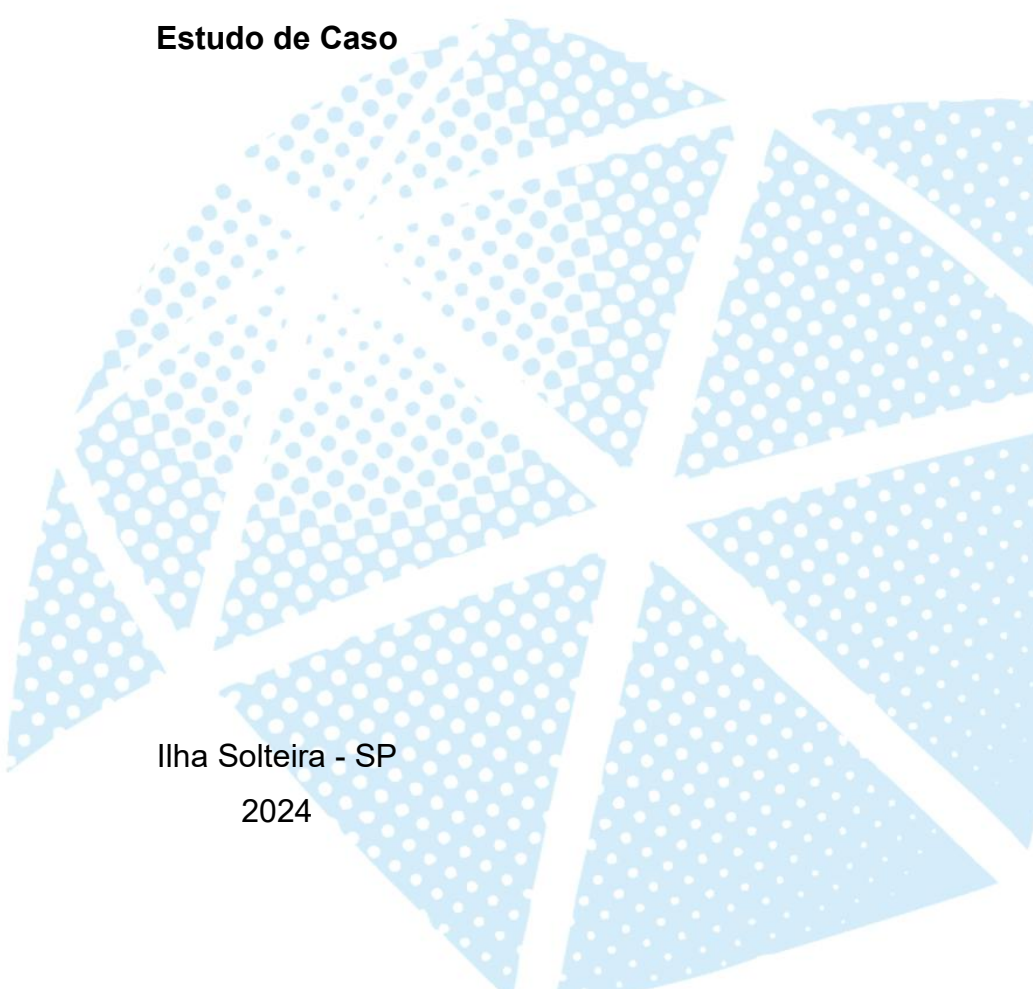


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA**

GABRIEL DE ALMEIDA MORAES

**IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO
DISTRITO RURAL ITAIÚBA DO MUNICÍPIO DE MONTE APRAZÍVEL: Um
Estudo de Caso**

Ilha Solteira - SP
2024



GABRIEL DE ALMEIDA MORAES

**IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO
DISTRITO RURAL ITAIÚBA DO MUNICÍPIO DE MONTE APRAZÍVEL: Um
Estudo de Caso**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia (FE), Ilha Solteira SP, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica

Orientador(a): Prof. Dr. Sérgio Luís de
Carvalho

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M828i Moraes, Gabriel de Almeida.
Implantação de uma estação de tratamento de esgoto no distrito rural Itaiúba do município de Monte Aprazível: um estudo de caso / Gabriel de Almeida Moraes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
86 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Sérgio Luís de Carvalho
Coorientador: Kleber Castilho Polisel
Inclui bibliografia

1. Tratamento de águas residuais. 2. Tanque séptico. 3. Eficiência de remoção de DBO. 4. Saneamento sustentável.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DEMESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: "IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO
DISTRITO RURAL ITAIÚBA DO MUNICÍPIO DE MONTE APRAZÍVEL: UM
ESTUDO DE CASO".

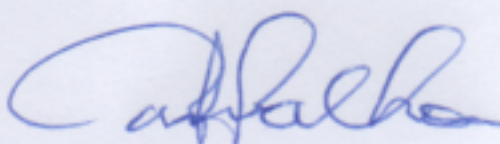
ALUNO: GABRIEL DE ALMEIDA MORAES

RA: 162054785

ORIENTADOR(A): PROF. DR. SÉRGIO LUÍS DE CARVALHO

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: ____

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Sérgio Luis de Carvalho
Presidente (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br NATÁLIA FELIX NEGREIROS
Data: 06/12/2024 17:10:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Natália Felix Negreiros

Documento assinado digitalmente
gov.br HENZO HENRIQUE SIMIONATTO
Data: 06/12/2024 17:00:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ms. Henzo Henrique Simionatto

Documento assinado digitalmente
gov.br GABRIEL DE ALMEIDA MORAES
Data: 06/12/2024 17:44:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gabriel de Almeida Moraes
Aluno

Ilha Solteira (SP), 06 de dezembro de 2024.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa possui um impacto potencial significativo em diversas áreas, com reflexos no âmbito científico, técnico, social, econômico e ambiental. O sistema de tanque séptico e filtro anaeróbico representa um avanço importante na qualidade do efluente lançado no ambiente, contribuindo para a redução da poluição hídrica e promovendo a saúde ambiental local.

Além disso, a pesquisa tem potencial para gerar inovações no setor de saneamento, estimulando novos estudos e a adoção de tecnologias acessíveis e de fácil implementação. O impacto educacional e cultural se dá pela conscientização da importância do saneamento básico e pela disseminação de soluções eficazes para comunidades de baixo recurso. Também abre portas para a internacionalização da tecnologia, uma vez que o modelo pode ser adaptado para outros contextos e regiões com desafios semelhantes.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research has a significant potential impact in various areas, with implications in the scientific, technical, social, economic, and environmental fields. The septic tank and anaerobic filter system represents an important advancement in the quality of effluent released into the environment, contributing to the reduction of water pollution and promoting local environmental health.

Furthermore, the research has the potential to generate innovations in the sanitation sector, stimulating new studies and the adoption of accessible and easily implementable technologies. The educational and cultural impact stems from raising awareness of the importance of basic sanitation and the dissemination of effective solutions for low-resource communities. It also opens doors for the internationalization of technology, as the model can be adapted to other contexts and regions with similar challenges.

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para o seu desenvolvimento.

A cada pessoa que, com seu apoio, orientação, conhecimento e incentivo, tornou possível a realização deste projeto, minha eterna gratidão. A todos que estiveram ao meu lado, direta ou indiretamente, com suas contribuições valiosas, este trabalho é dedicado a vocês.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Sem o apoio e a colaboração de muitas pessoas e instituições, este projeto não seria possível.

Primeiramente, agradeço à Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pelo apoio acadêmico essencial à realização desta pesquisa, em que foi crucial para o desenvolvimento e aprofundamento deste trabalho.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Luís de Carvalho, por sua orientação, paciência e dedicação ao longo de todo o processo. Suas valiosas contribuições foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso, e em especial à empresa ECOESP - Soluções em Saneamento, pelo suporte contínuo e pela oportunidade de vivenciar práticas profissionais relevantes para o tema do trabalho.

Agradeço, em particular, ao meu coorientador Kleber C. Polisel, pelo acompanhamento, orientação e pelas valiosas contribuições ao longo de toda a pesquisa. Sua experiência e conhecimento foram essenciais para o direcionamento das atividades, e sua colaboração foi de extrema importância para o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço, ainda, a SABESP, pela contribuição direta e indireta, seja com informações, críticas construtivas ou apoio prático.

A todos os colegas, amigos e familiares que me apoiaram com incentivo, compreensão e encorajamento durante este período, meu sincero obrigado. O apoio emocional e a força de todos vocês foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e seguir em frente.

Por fim, um agradecimento especial a todos que, de maneira direta ou indireta, auxiliaram na construção desse trabalho, seja com apoio técnico, sugestões valiosas ou incentivo constante.

Este trabalho é resultado do esforço coletivo, e a cada um de vocês, minha sincera gratidão.

"O acesso ao saneamento é um direito fundamental, essencial para a saúde e qualidade de vida."

— Organização Mundial da Saúde (OMS)

RESUMO

O saneamento básico é um elemento essencial para a saúde pública e o equilíbrio ambiental, especialmente em áreas com escassez de recursos e infraestrutura limitada. A pesquisa realizada no distrito de Itaiúba investigou a eficiência de um sistema de tanque séptico com filtro anaeróbio no tratamento de esgoto, com o objetivo de avaliar sua capacidade de remoção de poluentes e adequação às exigências ambientais estabelecidas pela legislação. O estudo foi conduzido no distrito de Itaiúba, onde foi implementado o sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio para o tratamento de esgoto doméstico. A metodologia envolveu a análise da qualidade do efluente gerado por esse sistema, com ênfase na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e outros poluentes presentes no esgoto. A eficiência do sistema foi medida através de amostragens e análises laboratoriais periódicas, que permitiram a comparação dos resultados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA. Os resultados obtidos mostraram que o sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio alcançou uma eficiência de 72% na remoção de DBO, superando a exigência mínima da legislação. Embora a eficiência obtida esteja abaixo do valor teórico máximo de 96,4%, que poderia ser alcançado com tecnologias mais sofisticadas, como sistemas aeróbios ou filtros biológicos, o desempenho do sistema proposto já representa uma melhoria significativa em relação aos métodos convencionais de tratamento, como as lagoas de estabilização. Essas lagoas, em condições normais, raramente alcançam eficiência superior a 80% na remoção de DBO, devido a fatores como clima, profundidade e carga orgânica. Em conclusão, o sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio mostrou-se uma solução eficaz e adequada para o tratamento de esgoto no distrito de Itaiúba, proporcionando um efluente com qualidade superior ao mínimo exigido por lei. A pesquisa evidencia que, mesmo com tecnologias mais simples e de menor custo, é possível alcançar melhorias substanciais na qualidade ambiental e na saúde pública local. Essa abordagem, portanto, apresenta um potencial importante para ser adotada em outras regiões com características semelhantes, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a inclusão de soluções acessíveis no setor de saneamento.

Palavras-chave: eficiência de remoção; saneamento sustentável; fossa séptica; tratamento de resíduos.

ABSTRACT

Basic sanitation is an essential element for public health and environmental balance, especially in areas with scarce resources and limited infrastructure. The research conducted in the Itaiúba district investigated the efficiency of a septic tank system with an anaerobic filter in sewage treatment, aiming to evaluate its capacity to remove pollutants and comply with environmental requirements established by legislation. The study was carried out in the Itaiúba district, where the septic tank and anaerobic filter system was implemented for domestic sewage treatment. The methodology involved analyzing the quality of the effluent generated by this system, focusing on the removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and other pollutants present in the sewage. The system's efficiency was measured through periodic sampling and laboratory analysis, allowing for comparison with the limits established by CONAMA Resolution. The results showed that the septic tank and anaerobic filter system achieved a 72% efficiency in BOD removal, exceeding the legal minimum requirement. Although the obtained efficiency is below the theoretical maximum value of 96.4%, which could be achieved with more sophisticated technologies such as aerobic systems or biological filters, the performance of the proposed system already represents a significant improvement compared to conventional treatment methods, such as stabilization ponds. These ponds, under normal conditions, rarely exceed 80% efficiency in BOD removal, due to factors such as climate, depth, and organic load. In conclusion, the septic tank and anaerobic filter system proved to be an effective and suitable solution for sewage treatment in the Itaiúba district, providing effluent of superior quality to the minimum required by law. The research demonstrates that even with simpler and lower-cost technologies, substantial improvements in environmental quality and public health can be achieved. Therefore, this approach has significant potential to be adopted in other regions with similar characteristics, contributing to sustainable development and the inclusion of accessible solutions in the sanitation sector.

Keywords: removal efficiency; sustainable sanitation; septic tank; waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do município de Monte Aprazível (A), Mapa rodoviário de Monte Aprazível ao distrito de Itaiúba (B), e Localização da ETE em relação ao distrito de Itaiúba (C), e localização do Córrego do Moinho (em linha azul).	35
Figura 2 – Itaiúba – Projeção de NLA.....	41
Figura 3 - Projeção média de habitantes por domicílio – Monte aprazível.....	42
Figura 4 – Arranjo da instalação do tanque séptico.....	59
Figura 5 – Desenho em perfil, do tanque séptico	59
Figura 6 – Arranjo da instalação do filtro anaeróbio.	62
Figura 7 – Desenho em perfil, do filtro anaeróbio	62
Figura 8 – Característica do filtro anaeróbio	63
Figura 9 – Fundo do corte do solo regularizado.	65
Figura 10 – Base de concreto e início da instalação dos fundos dos tanques.	65
Figura 11 – Aduelas utilizadas nos tanques sendo transportadas.	67
Figura 12 – Instalação das aduelas utilizadas nos tanques.	69
Figura 13 – Suporte em madeira para limitar área dos anéis.....	70
Figura 14 – Desenho Técnico ANEL PALL RING 90X90MM.	71
Figura 15 – Pré-tratamento e acabamentos de execução	72
Figura 16 – Arranjo da instalação dos tanques da ETE	72
Figura 17 – Desenho do corte para a instalação dos tanques (A) e Detalhe do tratamento (B).	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Itaiúba – Número de Ligações Atuais	39
Tabela 2 – Itaiúba – Número de Ligações Ativas de água.....	40
Tabela 3 – Monte Aprazível – Média de habitantes por domicílio.....	42
Tabela 4 – Projeção populacional, pelos métodos acima citados, para o período de 2013 a 2043 na tabela Itaiuba - Projeção Populacional.	43
Tabela 5 – Volume de Consumo Micro-medido (VCM), Número de ligações ativas (NLA) e Relação Habitantes por domicílio	44
Tabela 6 – Demanda média prevista para o período de 2013 a 2043.....	45
Tabela 7 – Coeficientes, parâmetros e dados de acordo com as preconizações	46
Tabela 8 – Vazões adotadas para o dimensionamento do sistema de Tratamento de Esgoto do distrito de Itaiúba	49
Tabela 9 – Parâmetros de vazão mínima, média e máxima	49
Tabela 10 – Vazões para vertedor triangular com ângulo igual a 90°	50
Tabela 11 – Altura de vertedor para determinada vazão	51
Tabela 12 – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....	56
Tabela 13 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária	57
Tabela 14 – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.....	57
Tabela 15 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil	57
Tabela 16 – Características do dimensionamento do tanque séptico – Entrada de dados.	58
Tabela 17 – Características do dimensionamento do tanque séptico – Resultados obtidos.....	58
Tabela 18 – Características do dimensionamento do tanque séptico – Proporções da câmara	59
Tabela 19 – Relação entre a vazão e Temperatura média do mês mais frio (°C)....	61
Tabela 20 – Características do dimensionamento do filtro anaeróbio.	61
Tabela 21 – Características do Tanque adotado	62
Tabela 22 – Características do sistema projetado	75
Tabela 23 – Dados do corpo receptor.....	75

Tabela 24 – Coeficiente K1 (Base 20° C)	76
Tabela 25 – Valores típicos de K2 (base 20°C).	77
Tabela 26 – Balanço de Carga Orgânica e OD dissolvido.....	79
Tabela 27 – Resultados semanais de DBO ₅ (mg/l) e eficiência (%) antes da implantação da estação de tratamento de esgoto com tanque séptico e filtro anaeróbio e depois da instalação.....	82
Tabela 28 – Resultados médios de DBO ₅ (mg/l) e eficiência (%) antes da implantação da estação de tratamento de esgoto com tanque séptico e filtro anaeróbio e depois da instalação	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACT	Administração Científica do Trabalho
AIT	Associação Internacional do Trabalho
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
IES	Instituição de Ensino Superior
MEC	Ministério da Educação
OMS	Organização Mundial da Saúde
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SISPERDAS	Sistema de Informações da SABESP
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
FBAS	Filtros biológicos aerados submersos
UASB	Reatores anaeróbios de fluxo ascendente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS.....	22
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1	CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	23
3.2	IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA.....	24
3.3	TECNOLOGIAS E MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL.....	26
3.3.1	Estações de tratamento de esgoto (ETEs) convencionais	26
3.3.2	Lagoas de estabilização	27
3.3.3	Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)	27
3.3.4	Reatores Anaeróbios de Fluxo ascendente (UASB).....	28
3.3.5	<i>Wetlands</i> Construídos	28
3.3.6	Tecnologias para áreas rurais.....	29
3.4	TANQUE SÉPTICO E FILTRO ANAERÓBIO	29
3.5	CONTEXTO E CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MONTE APRAZÍVEL E O DISTRITO DE ITAIÚBA.....	32
3.6	NECESSIDADES E DEMANDAS DE SANEAMENTO BÁSICO NA ÁREA.....	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA NO ESTUDO.....	38
4.2	COLETA DE DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO E PROCESSOS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	38
4.3	LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DO SISTEMA DE ESGOTO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	38
4.4	PROJETO E IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) – FASE PRELIMINAR	39
4.4.1	Projeção do Número de Ligações Ativas	39
4.4.2	Número de Habitantes por Domicílio.....	41

4.4.3	População	43
4.4.4	Consumo de Água.....	44
4.4.5	Contribuição de Esgoto	44
4.4.6	Extensão Máxima da Rede Coletora de Esgotos.....	44
4.4.7	Taxa de Contribuição de Infiltração.....	45
4.4.8	Demanda De Tratamento Previsto.....	45
4.4.9	CrITÉRIOS Gerais.....	45
4.4.10	Índice de Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário.....	46
4.5	ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – DIMENSIONAMENTO TRATAMENTO PRIMÁRIO	47
4.5.1	Premissas	47
4.5.2	Características do Sistema de Tratamento	47
4.5.3	Pre-Tratamento	48
4.5.4	Seleção da Área.....	48
4.5.5	Vazões de Dimensionamento	48
4.5.6	Tratamento Preliminar	49
4.5.7	Vertedor Triangular	50
4.5.8	Gradeamento	54
4.5.9	Gradeamento Fino.....	54
4.5.10	Gradeamento Médio	54
4.5.11	Caixa de areia	54
4.6	DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO	55
4.7	DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO.....	60
4.8	METODOLOGIA CONSTRUTIVA APLICADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	64
4.8.1	Processo de Corte, Empolamento e Compactação do Solo.....	64
4.8.2	Especificações das Aduelas de Concreto.....	66
4.8.3	Instalação de Sistemas Hidráulicos e Equipamentos	67
4.8.4	Instalação e Aplicação de Anéis <i>Pall Ring</i> em Filtros Anaeróbios	69
4.8.5	Pré Tratamento e Acabamentos.....	71
4.9	DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO EM CINCO DIAS (DBO ₅).....	74
4.10	ESTUDO DE AUTODEPURAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CORPO HÍDRICO.....	74

5	RESULTADOS.....	80
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
7	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1 INTRODUÇÃO

O esgoto gerado nas áreas rurais, quando lançado diretamente no ambiente sem o devido tratamento, representa uma ameaça significativa à saúde humana, animal e ao meio ambiente. A prática mais comum nos imóveis rurais é a utilização de fossas sépticas, também conhecidas como tanques sépticos. Esses sistemas, muitas vezes rudimentares, consistem em buracos no solo onde os resíduos são descartados, permitindo que os efluentes sejam absorvidos pelo terreno (Metcalf & Eddy et al., 2014).

Embora essa solução pareça ser um método simples e econômico de manejo de resíduos, ela apresenta sérios riscos. A infiltração dos efluentes no solo pode levar à contaminação das camadas mais profundas, incluindo o lençol freático, que é uma fonte vital de água para diversas atividades rurais. Quando esse recurso hídrico é comprometido, a água utilizada para irrigação de culturas agrícolas, consumo animal e até mesmo para uso doméstico, torna-se uma ameaça para a saúde da população local e para a produtividade agrícola, gerando um ciclo perigoso de contaminação e prejuízos (PNUD, 2015)

Além dos riscos imediatos à saúde, como a disseminação de doenças de origem hídrica, o manejo inadequado do esgoto em áreas rurais também contribui para impactos ambientais severos. A poluição gerada pela falta de tratamento eficaz do esgoto degrada o solo, inviabilizando sua utilização agrícola, e contamina corpos d'água como rios, lagoas e córregos. Esse fenômeno afeta diretamente a fauna e a flora da região, prejudicando o equilíbrio ecológico e gerando um processo de degradação ambiental que pode ser irreversível a longo prazo. A degradação dos ecossistemas locais compromete a biodiversidade e, conseqüentemente, a sustentabilidade ambiental da região. Infelizmente, a falta de infraestrutura adequada de saneamento em áreas rurais é um problema persistente, agravado pela adoção de soluções paliativas, que não são capazes de garantir a eficiência necessária para o tratamento adequado dos resíduos (Von Sperling, 2017).

Contudo, nos últimos anos, tem-se observado um movimento crescente em direção à melhoria dos sistemas de esgotamento sanitário em regiões rurais. A implementação de tecnologias mais avançadas e sustentáveis, como sistemas compactos de tratamento de esgoto, tem ganhado espaço como alternativas viáveis para o meio rural. Essas tecnologias buscam não apenas reduzir o impacto ambiental causado pelo manejo inadequado de esgoto, mas também proporcionar uma melhora

significativa na qualidade de vida das populações rurais. Os sistemas compactos são projetados para operar de maneira eficiente, com baixo custo de manutenção, e são ecologicamente sustentáveis, oferecendo uma solução mais integrada com o meio ambiente. Dessa forma, além de proteger os recursos hídricos, tais sistemas contribuem para a promoção da saúde pública e reduzem a incidência de doenças causadas pela contaminação da água, como diarreias, hepatites, cólera, entre outras enfermidades.

Diante dessa realidade, a escolha deste tema se justifica pela necessidade urgente de se discutir e implementar soluções para o saneamento básico em áreas rurais. A carência de serviços de saneamento nessas regiões é uma questão de saúde pública e de sustentabilidade ambiental. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento é um fator crucial para a promoção da saúde e a prevenção de doenças.

A falta de tratamento adequado de esgoto está diretamente relacionada à propagação de doenças infecciosas, muitas das quais poderiam ser evitadas com a adoção de práticas de saneamento mais eficazes. Além de afetar a saúde humana, o despejo inadequado de esgoto tem sérios impactos sobre o meio ambiente, especialmente sobre os corpos d'água, que são fontes essenciais para o abastecimento e a manutenção dos ecossistemas aquáticos. A poluição hídrica causada pelo esgoto não tratado é um dos principais fatores de degradação da biodiversidade, comprometendo a fauna e a flora aquáticas (Martins et al., 2008).

Outro ponto relevante é o impacto direto do saneamento sobre o desenvolvimento sustentável. O acesso a serviços de saneamento básico é considerado um dos indicadores essenciais para medir o desenvolvimento de uma região.

A ausência de tratamento adequado de esgoto compromete não apenas a saúde e o meio ambiente, mas também o desenvolvimento socioeconômico das populações rurais. Quando o esgoto é descartado de maneira inadequada, ele afeta a qualidade dos recursos naturais, que são a base da economia rural, como a agricultura e a pecuária. Isso cria um ciclo vicioso de pobreza, baixa produtividade e falta de infraestrutura, impedindo que essas comunidades progridam e melhorem sua qualidade de vida (PNUD, 2015).

Ademais, a questão do saneamento em áreas rurais está diretamente ligada à legislação e às políticas públicas vigentes no Brasil. A Lei de Saneamento Básico (Lei

nº 11.445/2007) estabelece diretrizes claras para a universalização dos serviços de saneamento, incluindo o tratamento de esgoto.

A legislação busca garantir que todas as regiões, urbanas e rurais, tenham acesso a serviços de saneamento adequados, protegendo assim a saúde pública e o meio ambiente. No entanto, a implementação dessas diretrizes enfrenta desafios consideráveis, especialmente em regiões mais isoladas e de menor densidade populacional, onde a infraestrutura muitas vezes não é suficiente para atender à demanda. A promoção de políticas públicas eficazes, que incentivem a adoção de novas tecnologias e ampliem o acesso ao saneamento em áreas rurais, é fundamental para garantir que essas comunidades tenham a mesma oportunidade de desenvolver-se de forma sustentável e saudável.

Diante desse cenário, o estudo sobre o saneamento básico no Distrito Rural Itaiúba, no Município de Monte Aprazível, torna-se de extrema relevância. A escolha deste tema reflete a necessidade de atender às demandas específicas da população rural, promovendo soluções que mitiguem os impactos ambientais causados pelo lançamento inadequado de esgoto, ao mesmo tempo em que se busca melhorar a qualidade de vida e a saúde pública dos moradores. A implementação de sistemas de tratamento de esgoto adequados é uma ação urgente e necessária para garantir um futuro mais sustentável e saudável para essas comunidades rurais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar o processo de dimensionamento e implantação da estação de tratamento de esgoto no Distrito Rural de Itaiúba, do Município de Monte Aprazível

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar o planejamento e elaboração do projeto da ETE, incluindo viabilidade, escolha da tecnologia e dimensionamento.

Monitorar o desempenho da ETE após sua operação, observando a qualidade do efluente e sua eficiência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto é um processo essencial para remover impurezas e poluentes dos efluentes domésticos e industriais antes de seu descarte no meio ambiente. O termo "esgoto" refere-se ao resíduo líquido proveniente de atividades domésticas, comerciais, industriais e agrícolas. Por outro lado, "efluente" é um termo mais abrangente, que inclui qualquer tipo de resíduo líquido, como o esgoto. "Esgoto" é o termo usado para designar o conjunto de águas servidas, pluviais, resíduos industriais e resíduos de tratamento de água potável provenientes de atividades humanas (Metcalf; Eddy, 2014).

O tratamento primário tem como objetivo remover sólidos grosseiros e parte da matéria orgânica presente no esgoto, geralmente por meio de processos físicos, como grades e sedimentação. O tratamento primário é responsável pela remoção dos sólidos grosseiros e parte da matéria orgânica presente no esgoto, através de processos físicos de sedimentação e filtração (Von Sperling, 2005).

O tratamento secundário visa remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão no esgoto, utilizando processos biológicos, como a oxidação microbiana, seguidos de processos físico-químicos para polir o efluente. Neste estágio, a matéria orgânica remanescente no esgoto é decomposta por microorganismos em condições aeróbias ou anaeróbias, e processos físico-químicos são empregados para remover sólidos suspensos e poluentes remanescentes (Von Sperling, 2005).

O tratamento terciário é uma etapa adicional, utilizada para remover poluentes específicos que não foram eliminados nas fases anteriores, como nutrientes (nitrogênio e fósforo) e micropoluentes. Ele envolve processos avançados de remoção de contaminantes, visando alcançar padrões de qualidade mais rigorosos para o efluente tratado (Metcalf; Eddy, 2014).

O reuso de efluente tratado refere-se à utilização do efluente para fins não potáveis, como irrigação agrícola, recarga de aquíferos e usos industriais. O reuso de efluente tratado tem sido cada vez mais adotado como uma estratégia sustentável para a gestão de recursos hídricos, reduzindo a demanda sobre fontes de água potável e minimizando o impacto ambiental do descarte de efluentes (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

O tratamento de esgoto em zonas rurais no Brasil enfrenta desafios específicos, como a dispersão populacional, a falta de infraestrutura adequada e as dificuldades de acesso a recursos financeiros e tecnológicos. O tratamento de esgoto em zonas rurais no Brasil é caracterizado por desafios específicos, incluindo a dispersão da população, a falta de infraestrutura adequada e limitações de recursos financeiros e tecnológicos (Castro; Cerezini, 2022).

Devido a essas limitações de infraestrutura, são necessárias tecnologias alternativas de tratamento adaptadas às condições locais, como sistemas simplificados, fossas sépticas, *wetlands* construídos e biodigestores. Em zonas rurais, são frequentemente utilizadas tecnologias alternativas de tratamento de esgoto, como fossas sépticas, sistemas simplificados e *wetlands* construídos, devido às limitações de infraestrutura e recursos (FUNASA, 2015).

A participação da comunidade e a educação ambiental são fundamentais para o sucesso de projetos de tratamento de esgoto em zonas rurais, pois envolvem os moradores no processo de planejamento, implantação e operação dos sistemas. Rosa *et al.*, (2023) destacam que a participação comunitária e a educação ambiental desempenham um papel crucial no sucesso de projetos de tratamento de esgoto em zonas rurais, promovendo o envolvimento e a conscientização dos moradores sobre a importância do saneamento básico.

Sustentabilidade e gestão integrada são princípios fundamentais para o planejamento e a implementação de sistemas de tratamento de esgoto em zonas rurais. Esses princípios buscam garantir a eficiência operacional, a preservação ambiental e o atendimento às necessidades da comunidade. A sustentabilidade e a gestão integrada são aspectos essenciais para o sucesso de projetos de tratamento de esgoto em zonas rurais, assegurando a eficiência operacional dos sistemas e a preservação dos recursos naturais (Peres, 2010).

3.2 IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA

A importância do tratamento de esgoto para o meio ambiente e para a saúde pública no Brasil é amplamente reconhecida devido aos seus impactos positivos na redução da poluição hídrica, na preservação dos ecossistemas aquáticos e na prevenção de doenças transmitidas por água contaminada.

A redução da poluição hídrica é crucial para diminuir a carga de poluentes lançados nos corpos d'água, minimizando a contaminação por substâncias nocivas e preservando a qualidade dos recursos hídricos. O tratamento de esgoto desempenha um papel crucial na redução da poluição hídrica, contribuindo para a preservação dos ecossistemas aquáticos e a manutenção da biodiversidade (Farias *et al.*, 2008).

O tratamento adequado de esgoto também protege os ecossistemas aquáticos, garantindo a sobrevivência das espécies aquáticas e a sustentabilidade dos recursos naturais. “O tratamento de esgoto é essencial para a preservação dos ecossistemas aquáticos, promovendo a recuperação de rios, lagos e áreas costeiras degradadas pela poluição” (Martins *et al.*, 2008).

Além disso, o tratamento de esgoto contribui para a prevenção de doenças transmitidas por água, pois reduz o risco de contaminação por agentes patogênicos, como bactérias, vírus e parasitas. Isso ajuda a prevenir doenças como diarreia, cólera e hepatite. “O tratamento de esgoto desempenha um papel fundamental na prevenção de doenças transmitidas pela água, contribuindo para a melhoria da saúde pública e o bem-estar da população” (Word Bank, 2019).

O tratamento de esgoto também está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo a saúde e o bem-estar (ODS 3) e a sustentabilidade ambiental (ODS 6), além de contribuir para o alcance de metas relacionadas à água limpa e saneamento. O tratamento de esgoto é uma medida essencial para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, promovendo a saúde, a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental em comunidades urbanas e rurais (UNESCO, 2018).

Em áreas rurais, o tratamento adequado de esgoto contribui para a preservação dos recursos naturais, evitando a contaminação do solo, das águas subterrâneas e dos ecossistemas adjacentes. O tratamento de esgoto em zonas rurais é fundamental para a preservação dos recursos naturais, protegendo o solo, aquíferos e biodiversidade contra os efeitos adversos da poluição (Figueiredo, 2019).

Por fim, o tratamento de esgoto em áreas rurais promove a sustentabilidade ambiental, assegurando a conservação dos recursos naturais e o uso racional dos ecossistemas, em conformidade com os princípios do desenvolvimento sustentável. O tratamento de esgoto em zonas rurais é uma medida essencial para promover a sustentabilidade ambiental, assegurando a conservação dos recursos naturais e a qualidade de vida das gerações futuras (UNEP, 2020).

3.3 TECNOLOGIAS E MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

O tratamento de esgoto é uma das questões mais críticas em relação ao saneamento básico no Brasil. A ausência de tratamento adequado de esgoto urbano e rural resulta em sérios impactos ambientais e de saúde pública, como a contaminação de corpos d'água, doenças transmitidas por água e degradação dos ecossistemas aquáticos. Para enfrentar essa problemática, o país adota uma variedade de tecnologias e métodos de tratamento de esgoto, que variam de sistemas tradicionais e centralizados a soluções descentralizadas, adequadas para áreas rurais e regiões com limitações de infraestrutura.

As principais tecnologias de tratamento de esgoto no Brasil incluem Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) convencionais, lagoas de estabilização, filtros biológicos aerados submersos (FBAS), reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), *wetlands* construídos, fossas sépticas, filtros anaeróbios, trincheiras de infiltração e biodigestores. Cada um desses métodos possui características específicas de operação e eficiência, que os tornam adequados a diferentes condições de uso, desde áreas urbanas densamente povoadas até regiões rurais com limitações de espaço e recursos.

3.3.1 Estações de tratamento de esgoto (ETEs) convencionais

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) convencionais são sistemas que combinam processos físicos, químicos e biológicos para remover poluentes do esgoto, sendo amplamente utilizadas em áreas urbanas de grande densidade populacional. As ETEs convencionais operam por meio de uma série de etapas, como o gradeamento, desarenação, decantação primária, filtração biológica e, eventualmente, tratamento terciário para remoção de nutrientes e desinfecção (Metcalf e Eddy, 2014).

Durante o tratamento primário, sólidos em suspensão são removidos por sedimentação, enquanto o tratamento biológico, geralmente realizado em sistemas aeróbios, utiliza microrganismos para decompor a matéria orgânica dissolvida. O tratamento terciário pode incluir a remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, frequentemente através de processos de desnitrificação e filtração química.

Embora as ETEs convencionais sejam eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos, uma das principais críticas a esses sistemas é o alto custo de

implantação e operação, especialmente em regiões com dificuldades financeiras ou logísticas para instalação de grandes infraestruturas. Além disso, a necessidade de manutenção constante e a dependência de energia elétrica tornam os sistemas convencionais desafiadores em termos de sustentabilidade (Metcalf; Eddy, 2014).

3.3.2 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento de esgoto baseados em processos naturais de decomposição biológica. Elas consistem em grandes reservatórios rasos onde ocorrem a decomposição anaeróbia e aeróbia de matéria orgânica, sendo um método comum em áreas de menor densidade populacional e regiões com recursos limitados. Conforme Von Sperling (2005), as lagoas de estabilização operam em três principais processos:

- Sedimentação e floculação, onde partículas sólidas presentes no esgoto se depositam no fundo da lagoa.
- Decomposição anaeróbia, que ocorre no fundo da lagoa, onde microrganismos decompõem a matéria orgânica em ambiente sem oxigênio.
- Decomposição aeróbia, que ocorre na superfície da lagoa, com a ajuda de microrganismos que utilizam oxigênio dissolvido para decompor a matéria orgânica.

Apesar de sua simplicidade e baixo custo de operação, as lagoas de estabilização apresentam algumas limitações, como a necessidade de grandes áreas para instalação e a dependência de condições climáticas favoráveis, como temperatura e insolação. Além disso, a remoção de nutrientes e patógenos é geralmente inferior à de sistemas mais avançados, como as ETEs convencionais (Araújo, 2016).

3.3.3 Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)

O Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS) é um sistema compacto e eficiente para tratamento de esgoto, especialmente em áreas com espaço limitado. O FBAS utiliza um meio suporte (como anéis plásticos ou materiais sintéticos) onde microrganismos aeróbios se aderem e realizam a decomposição da matéria orgânica e a remoção de nutrientes. O sistema é aerado, geralmente com a ajuda de

compressores, permitindo uma alta taxa de oxigenação e promovendo a decomposição eficiente da matéria orgânica (Araújo, 2016).

O FBAS é amplamente usado em locais onde a instalação de grandes tanques ou sistemas de tratamento convencionais seria inviável. Entre suas principais vantagens estão a menor necessidade de área para sua instalação, eficiência na remoção de poluentes e a facilidade de operação e manutenção (Araújo, 2016). No entanto, sua aplicação pode ser limitada em locais com alta carga de sólidos, pois o sistema é mais eficiente para efluentes com menor concentração de sólidos suspensos.

3.3.4 Reatores Anaeróbios de Fluxo ascendente (UASB)

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) são sistemas anaeróbios que tratam o esgoto por meio da decomposição biológica da matéria orgânica por microrganismos anaeróbios e são amplamente utilizados no Brasil devido à sua capacidade de tratar grandes volumes de esgoto com baixo consumo de energia e com a geração de biogás como subproduto, que pode ser utilizado para produção de energia (Chernicharo, 2007).

O processo ocorre em um tanque onde o esgoto é conduzido de baixo para cima, passando por uma camada de lodo ativo, onde os microrganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica. Esse sistema é altamente eficiente na remoção de sólidos e matéria orgânica, sendo uma opção econômica para áreas urbanas e industriais. No entanto, os UASBs podem ter dificuldades em remover nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de necessitarem de pré-tratamento do esgoto para garantir sua eficiência.

3.3.5 *Wetlands* Construídos

Os *wetlands* construídos são sistemas naturais ou artificiais que utilizam plantas aquáticas, substratos e microrganismos para remover poluentes do esgoto. Os *wetlands* operam através de processos físicos, químicos e biológicos, onde as plantas aquáticas ajudam na remoção de nutrientes, enquanto a matriz do solo e os microrganismos promovem a degradação da matéria orgânica (Von Sperling; Sezerino, 2018).

Esses sistemas são eficientes na remoção de nutrientes e sólidos em suspensão, além de serem ambientalmente sustentáveis, pois não requerem grandes

quantidades de energia. Contudo, sua aplicação é limitada a regiões com condições adequadas de clima e solo, e sua operação exige monitoramento constante para garantir a eficiência (Von Sperling; Sezerino, 2018) .

3.3.6 Tecnologias para áreas rurais

Para áreas rurais, onde a infraestrutura de saneamento é frequentemente limitada, o Brasil adota uma série de tecnologias descentralizadas que permitem o tratamento local do esgoto. Entre essas tecnologias, destacam-se as fossas sépticas, os filtros anaeróbios, as trincheiras de infiltração e os biodigestores.

- **Fossas Sépticas:** As fossas sépticas são sistemas subterrâneos que utilizam a decomposição anaeróbica para tratar o esgoto, reduzindo a carga de matéria orgânica antes de seu lançamento no ambiente. As fossas sépticas são de fácil instalação e baixo custo, sendo uma opção eficaz para áreas rurais com baixa densidade populacional (Von Sperling, 2005).
- **Filtros Anaeróbios:** Utilizam materiais filtrantes para promover a decomposição anaeróbia do esgoto, sendo adequados para regiões rurais com limitações de espaço e recursos (Chernicharo, 2007). Esses sistemas podem ser combinados com fossas sépticas para aumentar a eficiência do tratamento.
- **Trincheiras de Infiltração:** São estruturas lineares preenchidas com material granular que permitem a infiltração do esgoto tratado no solo, promovendo a remoção adicional de poluentes por processos naturais (Araújo, 2016). Esse método é simples e eficaz, mas depende da permeabilidade do solo e da qualidade do efluente.
- **Biodigestores:** Os biodigestores utilizam a fermentação anaeróbia para tratar o esgoto, gerando biogás como subproduto, o que possibilita a produção de energia (Chernicharo, 2007). Este sistema é eficaz na remoção de sólidos e matéria orgânica, além de ser uma fonte alternativa de energia.

3.4 TANQUE SÉPTICO E FILTRO ANAERÓBIO

O tanque séptico é um sistema primário de tratamento que visa a separação de sólidos e líquidos, permitindo a degradação anaeróbia dos materiais orgânicos. Os tanques sépticos são capazes de remover até 50% de sólidos suspensos e 30% de

matéria orgânica (Metcalf; Eddy, 2014). No entanto, o tratamento realizado em tanques sépticos é insuficiente para remover compostos dissolvidos, como nutrientes e patógenos, o que torna necessário o uso de sistemas complementares, como o filtro anaeróbio.

O filtro anaeróbio é um sistema secundário que funciona em conjunto com a tanque séptico, melhorando a remoção de poluentes, especialmente a matéria orgânica e o nitrogênio. O filtro anaeróbio é uma alternativa eficaz para o tratamento de esgoto doméstico, proporcionando uma redução significativa na carga de poluentes, em especial o carbono orgânico e, em menor grau, nitrogênio. Esse sistema é caracterizado pela utilização de materiais filtrantes (como cascalho, areia ou pedra britada) que proporcionam superfície para o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios, responsáveis pela degradação dos contaminantes (Tonetti *et al.*, 2005).

O dimensionamento de sistemas de tanque séptico e filtro anaeróbio depende de vários fatores, como a carga populacional, o tipo de efluente gerado, a vazão média de esgoto e as características do solo. O volume do tanque séptico deve ser dimensionado de forma a permitir o tempo de retenção necessário para a sedimentação de sólidos e a degradação anaeróbia da matéria orgânica. Segundo as normas da NBR 7229 (1993) e NBR 13969 (1997), a recomendação geralmente é que o tempo de retenção seja de no mínimo 24 horas, garantindo que a fase de decantação seja eficiente.

A fórmula básica para o dimensionamento de um tanque séptico envolve a determinação do volume necessário para atender ao número de usuários, considerando a vazão per capita diária (que varia entre 100 e 200 L/pessoa/dia) e o tempo de retenção necessário. Segundo as normas da NBR 7229 (1993), é proposto que o volume mínimo de um tanque séptico deve ser de 1 m³ para até cinco pessoas, com acréscimos de 0,5 m³ para cada cinco pessoas adicionais.

O filtro anaeróbio, por sua vez, deve ser dimensionado com base no tipo e na quantidade de material filtrante e na carga poluidora do efluente. O tempo de retenção no filtro anaeróbio geralmente varia entre 2 e 5 horas, dependendo da carga poluidora e do tipo de material filtrante. É recomendado que o filtro seja dimensionado para proporcionar uma taxa de fluxo que favoreça a remoção de compostos orgânicos e a desnitrificação (Tonetti *et al.*, 2005).

A implantação de sistemas de tanque séptico e filtro anaeróbio deve considerar aspectos técnicos e ambientais. O tanque séptico deve ser enterrado a uma profundidade que permita o fácil acesso para manutenção e limpeza, com uma tampa que evite a emissão de odores. Além disso, o sistema de drenagem do efluente tratado deve ser projetado de modo a evitar o acúmulo de líquidos em áreas com baixa permeabilidade. A escolha do local para instalação deve considerar a proximidade de fontes de água potável e a capacidade do solo de permitir a infiltração adequada do efluente tratado (Mancuso, 2003).

A implantação de filtros anaeróbios exige cuidados na escolha do material filtrante, que deve ter alta capacidade de retenção e permitir a circulação de água, proporcionando um ambiente adequado para o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios. O sistema pode ser instalado de forma simples, utilizando camadas de cascalho ou areia, mas é fundamental que o filtro seja dimensionado corretamente para garantir a eficiência no tratamento do esgoto. É destacado também a importância de realizar a manutenção periódica dos filtros, pois o acúmulo de matéria orgânica e a saturação do material filtrante podem comprometer sua eficiência (Chernicharo, 2007).

A eficiência de um sistema composto por tanque séptico e filtro anaeróbio depende de fatores como o tempo de retenção, a carga de poluentes no efluente, as características do solo e a qualidade do material filtrante. O tanque séptico, por ser um sistema primário, é responsável pela remoção de sólidos e pela redução da carga de matéria orgânica, mas não é eficiente na remoção de nutrientes e patógenos.

Estudos indicam que o tanque séptico pode reduzir a carga de sólidos em suspensão em até 60%, mas para a remoção de nutrientes e patógenos, é necessário o uso de sistemas complementares, como o filtro anaeróbio (Tchobanoglous *et al.*, (2003). O filtro anaeróbio pode remover até 90% de sólidos suspensos e reduzir a carga orgânica (DBO) em até 80%, tornando-o um sistema eficaz para tratar esgoto doméstico de pequenas e médias populações (Chernicharo, 2007).

O filtro anaeróbio é capaz de realizar a remoção de nitrogênio por processos de desnitrificação, especialmente em sistemas com carga elevada de nitrogênio. Em ambientes anaeróbios, a redução de nitrato e nitrito é promovida por microrganismos que convertem esses compostos em gás nitrogênio, que é liberado para a atmosfera, o que contribui para a melhoria da qualidade do efluente final (Tonetti *et al.*, 2005).

Outro aspecto importante é a eficiência no tratamento de patógenos. A remoção de bactérias e vírus em fossas sépticas e filtros anaeróbios pode ser considerável, especialmente quando o tempo de retenção é adequado. A combinação de ambos os sistemas pode reduzir a carga de coliformes fecais em até 90%, o que representa uma melhoria significativa na qualidade do efluente (Metcalf; Eddy, 2014).

Embora o tanque séptico e o filtro anaeróbio sejam soluções eficazes e econômicas para o tratamento de esgoto, sua eficiência pode ser impactada por diversos fatores. O acúmulo de sólidos no fundo do tanque, se não removido regularmente, reduz sua capacidade operacional e aumenta o risco de entupimentos. A manutenção periódica tanto do tanque séptico quanto do filtro é indispensável para garantir a eficiência do sistema, prevenindo falhas e prolongando sua vida útil (NBR 7229, 1993).

Além disso, em áreas com solos de baixa permeabilidade ou onde a carga poluidora é muito alta, a eficiência do sistema pode ser limitada. A combinação de fossas sépticas com outros sistemas, como o uso de filtros biológicos ou leitos de secagem, pode ser uma alternativa viável para aumentar a eficiência em locais com condições ambientais desfavoráveis.

O uso combinado de tanque séptico e filtro anaeróbio é uma solução eficiente para o tratamento de esgoto doméstico em áreas com baixa infraestrutura de saneamento. Esses sistemas, quando bem dimensionados e corretamente implantados, podem proporcionar a remoção significativa de sólidos, matéria orgânica, nutrientes e patógenos. Contudo, sua eficiência depende de uma série de fatores, incluindo a qualidade do material filtrante, o tempo de retenção e as características do solo.

Estudos recentes indicam que a combinação desses sistemas oferece uma solução de baixo custo e alta eficiência, desde que seja feita uma manutenção regular e o dimensionamento seja adequado às condições locais.

3.5 CONTEXTO E CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MONTE APRAZÍVEL E O DISTRITO DE ITAIÚBA

Monte Aprazível está situado a aproximadamente 480 km da capital paulista e é um município reconhecido por sua localização estratégica e paisagens variadas. Sua sede é atravessada pelas rodovias SP-310 e SP-377 (Figura 1), o que facilita o

acesso e a conexão com outras regiões. Geograficamente, Monte Aprazível faz divisa com vários municípios: Tanabi e Sebastianópolis do Sul ao norte, Bálamo e Neves Paulista a leste, União Paulista e Nipoã ao sul, e Macaubal e Nhandeara a oeste. O município ocupa uma área total de 484,3 km², e sua sede está localizada nas coordenadas 20° 46' 27" Sul e 49° 42' 41" Oeste, a uma altitude média de 460 metros acima do nível do mar. O município pertence à Região Administrativa de Governo de São José do Rio Preto (IBGE, 2010).

Segundo o Censo de 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a população do município de Monte Aprazível, em São Paulo, atingiu 22.280 habitantes. Esse número representou um crescimento de 2,4% em relação ao Censo anterior, quando a população era de 21.746 pessoas. O mesmo censo revela que atualmente o distrito de Itaúba apresenta uma população referente a 383 habitantes.

A densidade demográfica segue o padrão das cidades do interior do estado, sendo um valor de 44,96 habitantes por quilômetro quadrado. Entretanto, é valido ressaltar que a densidade demográfica na zona censitária onde o trabalho foi elaborado, apresentou uma densidade demográfica de 650,05 habitantes por km² (IBGE, 2022).

Historicamente, a região fazia parte do bioma Cerrado, mas a vegetação nativa tem sido amplamente substituída por áreas de cultivo e pastagem devido à expansão agrícola. O clima da região é tropical, caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa. Esse padrão climático é essencial para a agricultura local, que depende da água das chuvas e dos recursos hídricos para irrigação.

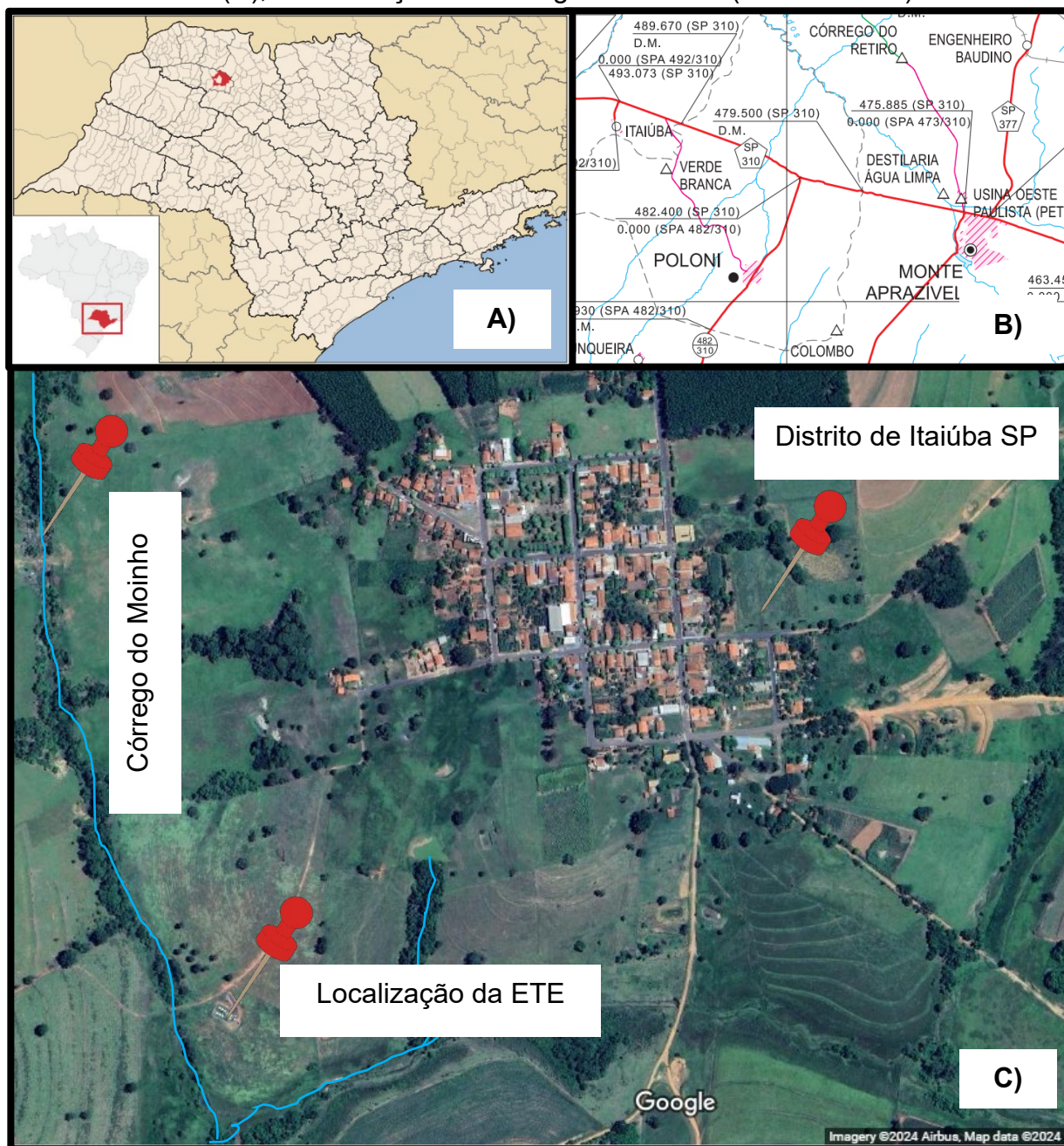
A intensificação da agricultura e da pecuária na área trouxe alguns desafios ambientais significativos. Entre eles, a degradação do solo e a redução da biodiversidade são preocupações importantes. Além disso, a gestão sustentável dos resíduos e a conservação dos recursos naturais são fundamentais para garantir a longevidade das práticas agrícolas e a saúde do ecossistema local.

Com relação ao abastecimento de água, Monte Aprazível possui atualmente aproximadamente 79.601 m de rede com 7.932 ligações de água que demanda uma produção de aproximadamente 130.010 m³/mês. Já o distrito de Itaúba possui 2.238 m de rede com 123 ligações de água, o que demanda uma produção de aproximadamente 1.683 m³/mês.

O índice de coleta de esgoto do Município de Monte Aprazível é de aproximadamente 98,01% com um total de 7.750 ligações de esgotos. A extensão total da rede coletora é de aproximadamente 73.589 m. Há um sistema de tratamento composto por uma unidade de pré-tratamento, uma Lagoa Anaeróbia, uma Lagoa Facultativa e uma por uma escada de aeração.

Esses aspectos refletem a necessidade de equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, garantindo uma qualidade de vida adequada para a população e a sustentabilidade das atividades econômicas (IBGE, 2022).

Figura 1. Mapa de localização do município de Monte Aprazível (A), Mapa rodoviário de Monte Aprazível ao distrito de Itaiúba (B), e Localização da ETE em relação ao distrito de Itaiúba (C), e localização do Córrego do Moinho (em linha azul).



Fonte: Google Earth, 2024.

3.6 NECESSIDADES E DEMANDAS DE SANEAMENTO BÁSICO NA ÁREA

Em um distrito rural que já possui água encanada, ainda há uma série de necessidades e demandas de saneamento básico que precisam ser atendidas para garantir o bem-estar da população e o desenvolvimento sustentável. De acordo com o novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) e as normas técnicas atuais da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), essas demandas vão além do simples fornecimento de água potável e abrangem quatro pilares principais: esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana e controle de enchentes, além da própria qualidade e continuidade do abastecimento de água.

1. Coleta e Tratamento de Esgoto

Mesmo em áreas rurais, onde a densidade populacional é menor, é fundamental garantir um sistema adequado para a coleta e o tratamento de esgoto. O ideal seria implementar redes de esgotamento, mas, em muitas situações, sistemas individuais ou comunitários, como fossas sépticas, podem ser a melhor solução. De acordo com as normas da ABNT, como a NBR 7229 e a NBR 13969, é importante que essas soluções sejam projetadas e construídas de forma correta para evitar contaminação do solo e das águas subterrâneas.

2. Gestão de Resíduos Sólidos

Outra necessidade urgente é a criação de um sistema eficiente de coleta e destinação de resíduos sólidos. Em muitas áreas rurais, o descarte de lixo ainda ocorre de maneira inadequada, o que traz riscos à saúde e ao meio ambiente. A ABNT, através da NBR 12235, orienta a elaboração de projetos para aterros sanitários, mas também é essencial fomentar práticas de reciclagem e compostagem, que podem ser adaptadas às necessidades locais.

3. Drenagem e Controle de Enchentes

Embora a urbanização seja menor em distritos rurais, a gestão adequada das águas pluviais é essencial. Sistemas de drenagem que evitem alagamentos e a erosão do solo precisam ser desenvolvidos. Segundo a NBR 12213 da ABNT, o planejamento deve prever valas, canais e outras estruturas que auxiliem no manejo dessas águas, especialmente em períodos de chuvas intensas.

4. Qualidade e Continuidade do Abastecimento de Água

Ainda que o distrito possua água encanada, garantir a continuidade desse serviço e a qualidade da água é uma prioridade constante. Segundo as diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de potabilidade da água, é

necessário monitorar constantemente a qualidade da água distribuída à população, assegurando que ela esteja livre de contaminantes e atenda a todos os requisitos de saúde pública.

5. Educação Ambiental e Conscientização

Por fim, além das infraestruturas físicas, é necessário investir na educação ambiental dos moradores. É preciso incentivar práticas que promovam o uso consciente da água, o descarte adequado de resíduos e a preservação dos recursos naturais. O envolvimento da comunidade é vital para que o saneamento seja sustentável a longo prazo.

De acordo com o novo Marco do Saneamento, a meta é que, até 2033, 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% esteja coberta por sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Para atingir esses objetivos, é necessário investir tanto em infraestrutura quanto na conscientização da população. A saúde pública e a qualidade de vida da comunidade dependem diretamente dessas ações coordenadas.

Essa abordagem integrada, baseada nas normas da ABNT e nas diretrizes do novo marco, visa garantir que o saneamento básico atenda às necessidades reais da população, promovendo um ambiente saudável e sustentável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA NO ESTUDO

Este estudo de caso, de natureza observacional não analítica, busca descrever as condições de saneamento básico em um distrito rural, sem realizar inferências causais. A metodologia permite observar e relatar as necessidades locais de forma detalhada, contribuindo para a compreensão dos desafios do saneamento sem intervenções experimentais.

4.2 COLETA DE DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO E PROCESSOS DE ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram coletados em parceria com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e complementados por informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), garantindo uma base sólida e confiável para a análise das condições de saneamento no distrito. Para análise dos dados utilizaram ferramentas do pacote Office para a organização e apresentação, facilitando a visualização e interpretação dos resultados obtidos no estudo.

4.3 LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DO SISTEMA DE ESGOTO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

Atualmente, o Distrito de Itaiúba enfrenta a ausência completa de infraestrutura para coleta e tratamento de esgoto, o que representa um desafio significativo para o saneamento básico e a saúde pública da comunidade local.

A análise do sistema anterior revelou diversas falhas e insuficiências que comprometem a eficácia do saneamento básico na região. Entre os principais problemas identificados estão a inexistência de coleta e tratamento de esgoto no Distrito de Itaiúba, o que leva ao descarte inadequado de resíduos e à contaminação ambiental. Essas deficiências evidenciam a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura e gestão adequada dos recursos.

4.4 PROJETO E IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) – FASE PRELIMINAR

4.4.1 Projeção do Número de Ligações Ativas

Para definir a demanda por tratamento de esgotos do distrito de Itaiuba foi necessário conhecer a atual população urbana e a população para final de plano em 2043. A definição da população atual (2013) e futura para o distrito de Itaiuba foram utilizados os dados referentes ao número de ligações ativas (NLA) disponíveis no banco de dados da Sabesp (SisPerdas).

Tabela 1. Itaiúba - Número de Ligações Atuais (NLA)

jan/06	115	jan/10	118
jan/07	115	jan/11	119
jan/08	118	jan/12	121
jan/09	119	jan/13	123

Fonte: Sistema SisPerdas – Sabesp

A tendência esperada para o crescimento do número de ligações ativas para o distrito de Itaiúba é de que seja regida pela curva logística (Equação de *Verhulst*) e apresente um limite máximo de crescimento ou saturação.

A curva de projeção para o NLA foi obtida por meio da interpolação de uma curva logística sobre os dados do SisPerdas. A determinação da curva logística melhor ajustada foi feita pelo Método dos Mínimos Quadrados, que determinou os valores de r (velocidades específicas de crescimento) e k (limite máximo de saturação) de forma que o quadrado dos desvios entre o dado do SisPerdas e a curva seja o mínimo possível.

Tabela 2. Itaiúba - Número de Ligações Ativas de Água

Característica Metodologia r = 0,01620 k = 2000		NLA Logística (Σ) Mínimos Quadrados 98,602	
Ano	SisPerdas	t	Projeção
2006	115	0	115
2007	115	1	117
2008	118	2	119
2009	119	3	120
2010	118	4	122
2011	119	5	124
2012	121	6	126
2013	123	7	128
2014		8	130
2015		9	132
2016		10	134
2017		11	136
2018		12	138
2019		13	140
2020		14	142
2021		15	144
2022		16	147
2023		17	149
2024		18	151
2025		19	153
2026		20	156
2027		21	158
2028		22	160
2029		23	163
2030		24	165
2031		25	168
2032		26	170
2033		27	173
2034		28	175
2035		29	178
2036		30	180
2037		31	183
2038		32	186
2039		33	189
2040		34	191
2041		35	194
2042		36	197
2043		37	200

Fonte: Sistema SisPerdas – Sabesp, cálculos do autor.

Curva Logística:

$$N(t) = \frac{N_0 K}{N_0 + (K - N_0)e^{-rt}} \quad (1)$$

Onde:

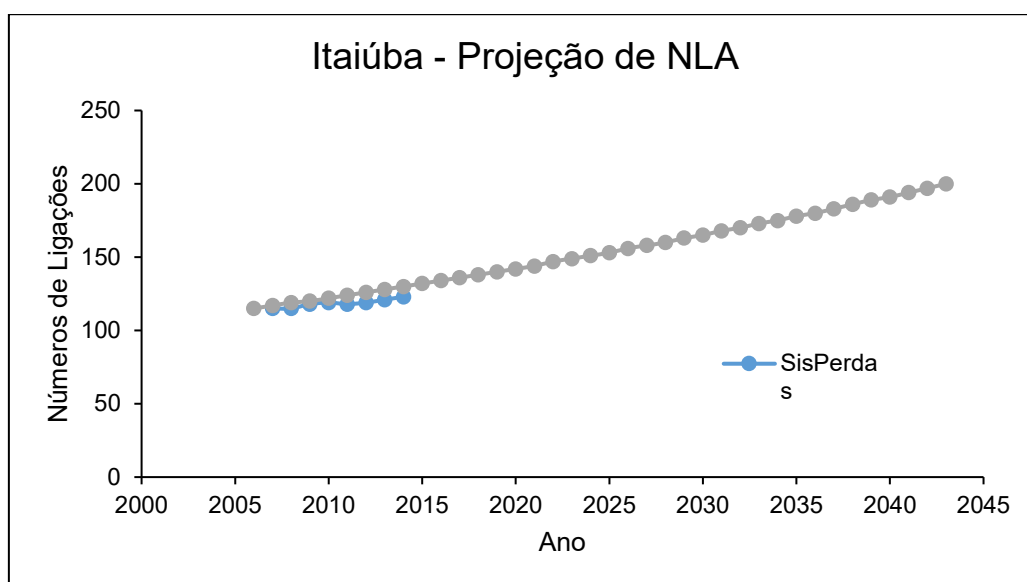
N_0 : NLA inicial;

k: Limite máxima de saturação;

r: Taxa específica de crescimento;

t: Tempo em anos.

Figura 2. Itaiúba – Projeção de NLA.



Fonte: Sabesp, cálculos do autor.

4.4.2 Número de Habitantes por Domicílio

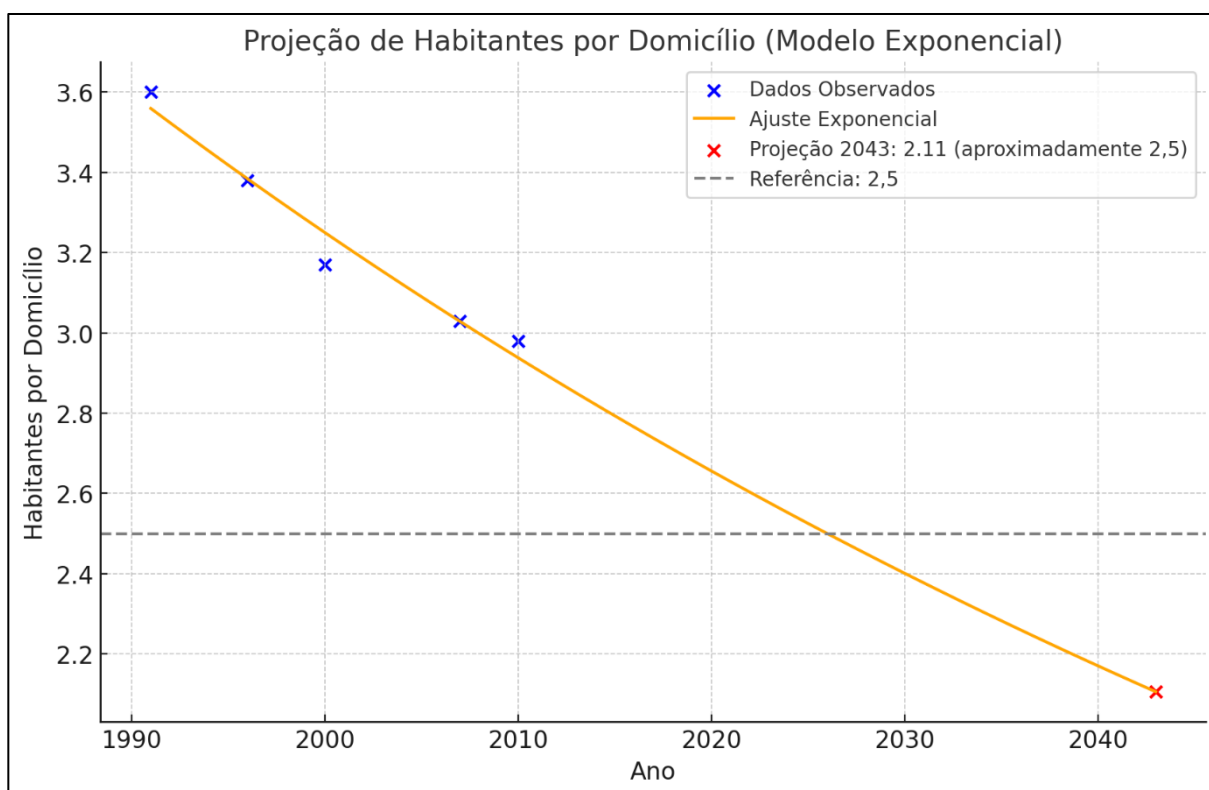
Para a projeção do número de habitantes por domicílio foram utilizados os dados obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE referentes ao município de Monte Aprazível (IBGE, 2010).

Tabela 3. Monte Aprazível - Média de Habitantes por Domicílio

Ano	Hab/domicílio
1991	3,6
1996	3,38
2000	3,17
2007	3,03
2010	2,98

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

A projeção para final de plano (ano de 2043) foi obtida através da extrapolação dos dados obtidos de uma curva de tendência do tipo exponencial, que apresentou uma boa "aderência" ($R^2 = 0,9617$ - coeficiente de correlação linear²) para os dados do IBGE referente ao município de Monte Aprazível.

Figura 3. Projeção média de habitantes por domicílio – Monte aprazível.

Fonte: Sabesp, IBGE (2010), cálculos do autor.

Com base nos resultados apresentados no gráfico (Figura 3), o modelo demonstrou um bom coeficiente de ajuste. Para a projeção populacional de 2043, foi adotado o limite de 2,5 habitantes por domicílio como referência para o dimensionamento. Esse valor está alinhado com a tendência cultural identificada no Brasil, onde as famílias buscam maior estabilização, refletindo mudanças demográficas como a redução no número médio de moradores por residência, conforme apontado pelo IBGE, que registrou essa queda em seus indicadores recentes sobre condições de vida no país (IBGE, 2022).

4.4.3 População

Embasado nas projeções da média de habitantes por domicílio e no número de ligações ativas de água foi definida a população do distrito de Itaiúba para o período de 2013 a 2043. Foi adotado o número de ligações ativas como sendo o número de domicílios uma vez que não há grandes verticalizações nem um número considerável de aglomerações de domicílios em uma mesma ligação. Acrescido ao fato de que este número possui uma maior segurança do que o número de domicílios fornecidos pelo IBGE, isto é justificado pelo fato de que a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp - faz uma atualização mensal desde valor.

Tabela 4. Projeção populacional, pelos métodos acima citados, para o período de 2013 a 2043 na tabela Itaiuba - Projeção Populacional.

Ano	NLA	Média hab./dom	População (NLAxMéd. hab/dom.)	Ano	NL A	Média hab./dom	População (NLAxMéd.h ab/dom.)
2013	128	2,72	348	2029	163	2,50	407
2014	130	2,69	349	2030	165	2,50	413
2015	132	2,66	351	2031	168	2,50	419
2016	134	2,63	352	2032	170	2,50	425
2017	136	2,59	352	2033	173	2,50	432
2018	138	2,56	353	2034	175	2,50	438
2019	140	2,53	354	2035	178	2,50	445
2020	142	2,50	356	2036	180	2,50	451
2021	144	2,50	361	2037	183	2,50	458
2022	147	2,50	366	2038	186	2,50	465
2023	149	2,50	372	2039	189	2,50	472
2024	151	2,50	378	2040	191	2,50	479
2025	153	2,50	383	2041	194	2,50	486
2026	156	2,50	389	2042	197	2,50	493
2027	158	2,50	395	2043	200	2,50	500
2028	160	2,50	401				

Fonte: Sisperdas, IBGE, cálculos do autor.

4.4.4 Consumo de Água

Para a determinação do consumo por ligação ativa de água foi utilizada a média dos valores obtidos pela divisão do Volume de Consumo Micro-medido (VCM) do período de 2006 até 2012 disponíveis no SisPerdas da Sabesp pelo número de habitantes referentes ao mesmo período, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 5. Volume de Consumo Micro-medido (VCM), Número de ligações ativas (NLA) e Relação Habitantes por domicílio.

Ano*	VCM_med (m³/mês)	NLA	Relação Hab./Dom.	Habitantes	Consumo (l/hab.dia)
2006	1558	115	3,20	341	152,5
2007	1580	115	3,16	336	156,5
2008	1604	118	3,13	341	156,7
2009	1584	119	3,09	340	155,3
2010	1719	118	3,05	333	172,1
2011	1776	119	3,02	332	178,4
2012	1663	121	2,98	333	166,3
Média					162,6

*Mês de maior consumo no ano. Fonte: Sisperdas.

4.4.5 Contribuição de Esgoto

O volume de esgoto coletado foi calculado utilizando um coeficiente de retorno de 0,8 (80%) corrido em 1,08 (8%) relativo a erros de sub medição.

$$q_{esq} = 0,80 \times 1,08 \times q_{\text{água}} = 0,80 \times 1,08 \times 162,6 = 140,5 \text{ l/hab.dia} \quad (2)$$

Foi adotado para a contribuição per-capita de esgoto o valor de 130 l/hab.dia, conforme NBR 12209 (1992) e NBR 13969 (1997), que está de acordo com o padrão médio de habitação que corresponde à realidade de Itaiúba.

4.4.6 Extensão Máxima da Rede Coletora de Esgotos

Conforme a projeção de 200 NLA de água para final de plano haverá, portanto, 77 novas ligações de água. Será admitida a extensão máxima da rede coletora de esgotos com base de definição 10 m (fator k1) para cada nova ligação, que se somará aos 2.100 m a serem implantados no início do projeto.

$$LE = 2,100 + (77 \times 10) = 2,870 \text{ m} \cong 3,000 \text{ m} \quad (3)$$

4.4.7 Taxa de Contribuição de Infiltração

Foi admitido, de acordo com a NBR 9649 (1986) Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, a Taxa de Contribuição de Infiltração de 0,05 l/km.s o que produzirá a vazão diária de infiltração para final de plano de 12,96 m³/dia.

$$Q_{inf} = 0,05 \times \left(\frac{l}{km.s} \right) \times 3000 \text{ m} = 0,15 \text{ l/s} = 12,96 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (4)$$

4.4.8 Demanda De Tratamento Previsto

Com base na projeção populacional e na contribuição per-capita de esgoto de Itaiúba foi realizada a previsão, para o período de 2013 até 2043, do Volume de Esgoto Coletado e que será encaminhado para tratamento.

Tabela 6. Demanda média prevista para o período de 2013 a 2043.

Ano	Pop.	Vazão (m ³ /dia)	Ano	Pop.	Vazão (m ³ /dia)	Ano	Pop.	Vazão (m ³ /dia)
2013	348	58,20	2024	378	62,04	2034	438	69,91
2014	349	58,38	2025	383	62,78	2035	445	70,76
2015	351	58,56	2026	389	63,53	2036	451	71,62
2016	352	58,73	2027	395	64,29	2037	458	72,49
2017	352	58,72	2028	401	65,06	2038	465	73,37
2018	353	58,88	2029	407	65,84	2039	472	74,27
2019	354	59,03	2030	413	66,63	2040	479	75,17
2020	356	59,18	2031	419	67,44	2041	486	76,09
2021	361	59,88	2032	425	68,25	2042	493	77,02
2022	366	60,59	2033	432	69,08	2043	500	77,96
2023	372	61,31						

Fonte: Do autor.

4.4.9 Critérios Gerais

Foram adotados alguns parâmetros, coeficientes e dados de acordo com as preconizações feitas pelas Normas Brasileiras NBR 9648 (1986), NBR 9649 (1986), NBR 12207 (1989), NBR 12209 (1990), NBR 13969 (1997) e NBR 7229 (1993) e outros estudos.

Tabela 7. Coeficientes, parâmetros e dados de acordo com as preconizações.

Coeficiente de máxima vazão diária (k1)	1,25;
Coeficiente de máxima vazão horária (k2)	1,50;
Coeficiente de mínima vazão horária (k3)	0,50;
Diâmetro mínimo para rede/emissário	150 mm;
Distância máxima entre estruturas de inspeção	100 m;
Declividade mínima na rede/emissário	0,002 m/m;
Velocidade máxima na rede/emissário	5 m/s;
Queda máxima sem tubo de queda	0,75 m;
Carga orgânica	54 gDBO _{5,20} /hab.dia;
Coliformes Fecais do afluente	1,0x10 ⁶ NMP CF/100 ml.

Fonte: Normas Brasileiras NBR - 9648/86, NBR - 9649/86, NBR - 12.207/89, NBR - 12.209/90, NBR - 13.969/97 e NBR - 7.229/93.

A declividade mínima é determinada pela expressão:

$$I_o = 0,0055 \times Qi^{-0,47}, (\text{com coeficiente de Manning}, n = 0,013) \quad (5)$$

Atendendo aos critérios da tensão trativa média de valor mínimo igual a 1,0 Pa. A declividade máxima é consequência da velocidade máxima de 5,0 m/s.

Deve-se atentar para o fato de que a lâmina d'água nos coletores/emissários deve ser igual ou inferior a 75% do diâmetro, para a vazão final de plano, e igual ou inferior a 50% do diâmetro, para a vazão cuja velocidade final seja superior a velocidade crítica.

4.4.10 Índice de Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário

O índice de atendimento de coleta dos esgotos no distrito de Itaiúba será considerado correspondente a praticamente 100% das ligações ativas de água, tendo em vista as ações da RT - Unidade de Negócios do Baixo Tietê e Grande que focam na meta de esgotar praticamente todos os imóveis com ligações de água.

Sabe-se que esta meta é impraticável por existirem limitações econômicas e técnicas que não permitem o esgotamento por gravidade. Porém apenas critérios de dimensionamento do sistema essa premissa será considerada.

4.5 ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – DIMENSIONAMENTO TRATAMENTO PRIMÁRIO

4.5.1 Premissas

A Estação deverá atender a demanda prevista para final de plano (2043) conforme os parâmetros da NBR 13969 (1997) (habitação padrão médio) e NBR-12209 (1992).

▶ População total	500 habitantes;
▶ Vazão de contribuição	65,00 m ³ /dia;
▶ Vazão de infiltração	12,96 m ³ /dia;
▶ Vazão total	77,96 m ³ /dia;
▶ Contrib. de carga orgânica	0,054 kgDBO/hab.dia;
▶ Carga orgânica	27,00 kgDBO/dia;
▶ Concentração orgânica	0,346 kgDBO/m ³ ;
▶ Eficiência esperada	> 80%.

4.5.2 Características do Sistema de Tratamento

O Sistema de Tratamento de Esgotos será composto, em projeto, por:

- Sistema de Tratamento Preliminar; Gradeamento Médio; Gradeamento Fino;
- Caixa de desarenação; Vertedor Triangular.
- Tanque séptico, em série com;
- Tanque anaeróbio, em série;
- Emissário Final de Efluente Tratado.

4.5.3 Pre-Tratamento

A Estação de Tratamento de Esgotos por tanque séptico e filtro anaeróbio será constituída por um sistema de tratamento preliminar, composto por um conjunto de gradeamento (médio e fino) seguido por uma caixa de desarenação e por final um Vertedor Triangular.

Após o pré-tratamento a ETE é composta por tanque séptico e tanque anaeróbio. A primeira possui finalidade de remover a carga orgânica presente no esgoto afluente, enquanto o segundo é responsável pela remoção dos coliformes fecais.

Este sistema deve atender as exigências de remoção de carga orgânica (> 80%) e de Coliformes Fecais ($CF < 10^3/100$ ml) para que o lançamento seja feito no Córrego do Moinho, o qual é enquadrado, segundo o Decreto 10.755, de 22 de novembro de 1977, do Governo do Estado de São Paulo e, também regulamentado pelo Decreto 8.468 de 08 de setembro de 1976, como sendo um corpo d'água Classe 2.

4.5.4 Seleção da Área

A área prevista para a construção da Estação de Tratamento de Esgotos - ETE - atende às condições preconizadas nas recomendações da CETESB, NBR-12207/89 e principalmente, as seguintes premissas:

- Topografia favorável;
- Características mecânicas do solo quanto à compacidade;
- Posição do nível do lençol freático,
- Sentido e direção de ventos predominantes;
- Posição da área em relação a habitações isoladas e ao perímetro urbano;
- Capacidade de autodepuração dos efluentes pelo corpo hídrico receptor.

4.5.5 Vazões de Dimensionamento

A seguir são apresentadas as vazões adotadas para o dimensionamento do sistema de Tratamento de Esgoto do distrito de Itaiúba. Adotaremos os seguintes anos como referências para um planejamento operacional da Nova

Estação de Tratamento de Esgoto.

Tabela 8. Vazões adotadas para o dimensionamento do sistema de Tratamento de Esgoto do distrito de Itaiúba.

Ano	População	Esgoto					
		Qe (l/s)	Qinf (l/s)	Qm (l/s)	Qdia (l/s)	Q horaria (l/s)	Qmin (l/s)
2013	330	0,52	0,15	0,67	0,80	1,13	0,41
2023	383	0,56	0,15	0,71	0,85	1,20	0,43
2033	450	0,65	0,15	0,80	0,96	1,37	0,48
2043	500	0,75	0,15	0,90	1,09	1,56	0,53

Fonte: Sisperdas, IBGE, cálculos do autor.

Sendo:

- Qe= Vazão de esgoto doméstico (l/s);
- Qinf= Vazão de infiltração (l/s);
- Qm= Vazão média de esgoto doméstico afluente à ETE ($Q_c + Q_{inf} - l/s$);
- Qdia= Vazão máxima diária de esgoto doméstico afluente à ETE ($Q_c \cdot 1,25 + Q_{inf} - l/s$);
- Qhoraria = Vazão máxima horária de esgoto doméstico afluente à ETE ($Q_c \cdot 1,25 \cdot 1,5 + Q_{inf} - l/s$);
- Qmin= Vazão mínima de esgoto doméstico afluente à ETE ($Q_c \cdot 0,50 + Q_{inf} - l/s$).

4.5.6 Tratamento Preliminar

Com o objetivo de reter e remover sólidos grosseiros suspensos e areia no esgoto bruto será previsto um tratamento preliminar para a nova ETE. Este tratamento preliminar será composto de gradeamento médio, de gradeamento fino, caixa de areia e um vertedor triangular para controle de velocidade.

Tabela 9. Vazão mínima, média e máxima do dimensionamento do tratamento preliminar.

Vazão	l/s	m³/s
Qmín	0,53	$0,53 \times 10^{-3}$
Qméd	0,90	$0,90 \times 10^{-3}$
Qmáx	1,56	$1,56 \times 10^{-3}$

Fonte: SABESP

4.5.7 Vertedor Triangular

Será utilizado para controle da velocidade, e medição, na caixa de areia um medidor do tipo vertedor triangular. Para as vazões menores que 30 l/s, os vertedores triangulares oferecem uma precisão maior do que as calhas do tipo "Parshall".

A equação de descarga para este tipo de vertedor com ângulo central igual a 90° é dada por:

$$Q = 1,4 \times H^{\frac{5}{2}} \quad (6)$$

Onde:

Q = Vazão em m³/s;

H = Altura da lâmina d'água medida a partir do vértice do triângulo, em metros (m).

A tabela a seguir apresenta valores de vazão em l/s para altura em centímetros (cm), para um vertedor triangular de ângulo central igual a 90°.

Tabela 10. Vazões para vertedor triangular com ângulo igual a 90°

H (cm)	Q (m³/s)	Q(l/s)
4,0	0,00045	0,45
4,5	0,00060	0,60
5,0	0,00078	0,78
5,5	0,00099	0,99
6,0	0,00123	1,23
6,5	0,00151	1,51
7,0	0,00181	1,81
7,5	0,00216	2,16
8,0	0,00253	2,53

Fonte: SABESP.

Assim temos, para as vazões de projeto, as seguintes alturas conforme tabela abaixo

Tabela 11. Altura de vertedor para determinada vazão

Vazões	Q (l/s)	H _{vertedor} (mm)
Q _{máx.}	1,56	66
Q _{méd.}	0,90	53
Q _{mín.}	0,53	43

Fonte: SABESP.

Deverá ser feito um rebaixamento no vertedor triangular a fim de garantir uma lâmina d'água constante na caixa de areia a ser instalada a montante deste dispositivo.

Este rebaixamento é dado por:

$$Z = \frac{Q_{máx} \times h_{mín} - Q_{mín} \times h_{máx}}{Q_{máx} - Q_{mín}} \text{ fs} \quad (7)$$

$$Z = \frac{1,56 \times 43 - 0,53 \times 66}{1,56 - 0,53} = 31 \text{ mm} = 0,031\text{m}$$

4.5.8 Gradeamento

São dispositivos constituídos por barras paralelas igualmente espaçadas que se destinam a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes.

É a primeira unidade de urna Estação de Tratamento de Esgoto, sendo que essa unidade, só não deve ser prevista, na ausência total de sólidos grosseiros no efluente a ser tratado.

O gradeamento será composto por dois níveis de grade, uma grade média e urna grade fina, onde faremos o dimensionamento dessas grades pelas características da grade fina.

4.5.9 Gradeamento Fino

A grade fina será construída com barras de 3/8" x 1 1/2" (10 x 40 mm) sendo, a espessura da grade (t) igual a 10 mm e a abertura (a) de 12 mm.

A eficiência (E) da grade é calculada por:

$$E = \frac{a}{a + t} \therefore E = \frac{12}{12 + 10} = 0,55 = 55,0\% \quad (8)$$

Considerando-se uma velocidade de escoamento entre as barras da grade (V_g) de 0,60 m/s. E que o canal possui a mesma largura que o da caixa de areia tem-se:

$$B = [(Nb + 1) \times 0,012 + Nb \times 0,010] \quad (9)$$

$$0,20 = [(Nb + 1) \times 0,012 + Nb \times 0,010] \therefore Nb = 8,5 \cong 9 \text{ barras}$$

Assim temos:

$$A = (h_{\text{máx}} - Z) \times [(Nb + 1) \times a + Nb \times t] \quad (10)$$

$$A = (0,066 - 0,031) \times 0,20 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$V_o = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} = \frac{0,00156}{0,007} = 0,222 \text{ m/s}$$

Por fim:

$$H_2 = 1,42 \times \frac{V_g^2 - V_{go}^2}{2g} = 1,42 \times \frac{0,6^2 - 0,222^2}{2 \times 9,8} = 0,023 \text{ m} \cong 2,5 \text{ cm} \quad (11)$$

Sendo que para a grade obstruída em 50% de sua área total, temos:

$$H_2 = 1,42 \times \frac{V_g^2 - V_{go}^2}{2g} = 1,42 \times \frac{1,2^2 - 0,222^2}{2 \times 9,8} = 0,101 \text{ m} \cong 10 \text{ cm}$$

4.5.10 Gradeamento Médio

A grade média será construída com barras 3/8" x 1 1/2" (10 x 40 mm) sendo, então a espessura da grade (t) igual a 10 mm e a abertura (a) de 22 mm.

A eficiência (E) da grade é calculada por:

$$E = \frac{a}{a + t} \dots E = \frac{22}{22 + 10} = 0,687 = 68,7\%$$

Considerando-se uma velocidade de escoamento entre as barras da grade (Vg) de 0,60 m/s. E que o canal possui a mesma largura que o da caixa de areia tem-se:

$$B = [(Nb + 1) \times 0,022 + Nb \times 0,010]$$

$$0,20 = [(Nb + 1) \times 0,022 + Nb \times 0,010] \dots Nb = 5,5 \cong 6 \text{ barras}$$

Assim temos:

$$A = (h_{\text{máx}} - Z + \Delta H) \times [Nh + 1] \times a + Nb \times t$$

$$A = (0,066 - 0,031 + 0,100) \times 0,20 = 0,027 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} = \frac{0,00156}{0,027} = 0,058 \text{ m/s}$$

Por fim:

$$\Delta H = 1,42 \times \left(\frac{Vg^2 - V_0^2}{2g} \right) = 1,42 \times \left(\frac{0,6^2 - 0,058^2}{2 \times 9,8} \right) = 0,026 \text{ m} \cong 2,6 \text{ cm}$$

Sendo que para a grade obstruída em 50% de sua área total, temos:

$$\Delta H_2 = 1,42 \times \left(\frac{Vg^2 - V_0^2}{2g} \right) = 1,42 \times \left(\frac{1,2^2 - 0,058^2}{2 \times 9,8} \right) = 0,104 \cong 11 \text{ cm}$$

4.5.11 Caixa de Areia

A montante do Vertedor Triangular será instalado um desarenador, de câmaras duplas, dimensionado para trabalhar entre as vazões máximas e mínimas apresentadas. A velocidade (V) a ser mantida nos canais será de 0,27 m/s, com tolerância de $\pm 20\%$, e a Taxa de Escoamento Superficial (TES) entre 600 e 1200 m³/m².dia. A velocidade de sedimentação para particular com diâmetro de 0,2 mm é de 2 cm/s.

A largura (b) do canal é determinada por:

$$b = \frac{Q_{\text{máx}}}{(h_{\text{máx}} - Z) \times V} \quad (12)$$

$$b = \frac{0,00156}{(0,066 - 0,031) \times 0,27} = 0,16 \cong 0,20 \text{ m}$$

O comprimento do canal (L), com um coeficiente de segurança (K) igual a 1,10, será dado por:

$$L = K \times \frac{(h_{\text{máx}} - Z) \times V}{V_{\text{sedimentação}}} = 1,10 \times \frac{(0,066 - 0,031) \times 0,27}{0,02} = 0,52 \cong 0,55 \text{ m} \quad (13)$$

A verificação da Taxa de Escoamento Superficial é feita pela formulação abaixo, onde (A) é a área superficial do canal:

$$TES = \frac{Q_{\text{méd}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right)}{A \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{Q_{\text{méd}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times 86.400 \left(\frac{\text{s}}{\text{dia}} \right)}{L \text{ (m)} \times b \text{ (m)}} \quad (14)$$

4.6 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO

Após visitas aos possíveis locais para implantação da Estação de Tratamento de Esgotos do distrito de Itaiúba, determinou-se a melhor área possível, considerando que todo o esgoto coletado venha por gravidade através de um emissário de esgotos de 150 mm de diâmetro.

Em decorrência do tipo de solo da melhor área possível para instalação da Estação de Tratamento de Esgotos no distrito de Itaiúba, considerou-se uma alternativa ao invés de uma lagoa de tratamento de esgotos. O sistema será por meio de um tanque séptico compartimentada sem contato com o meio externo, sendo assim, não ocasionará odores às proximidades.

Para elaboração do projeto deste sistema, também chamado de reator anaeróbio compartimentado, foi consultada a Norma da ABNT 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. De acordo com a presente norma brasileira, alguns parâmetros estabelecidos no subitem anterior não serão considerados, pois ela apresenta parâmetros próprios, conforme informações a seguir:

O volume útil total do **tanque séptico** foi calculado pela fórmula:

$$V = 1.000 + N.(CT + KL_f) \quad (15)$$

Onde:

V = volume útil, em litros

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 1)

T = período de detenção, em dias (Tabela 2)

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (Tabela 3)

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 1)

O número de habitantes a ser considerado é o mesmo que foi estabelecido na projeção populacional, ou 513 habitantes no ano de 2046.

É possível verificar na tabela abaixo que as características dos habitantes do distrito em análise enquadram-se como ocupantes permanentes de padrão médio, sendo assim, $C = 130 \text{ L / unidade x dia}$ e $L_f = 1 \text{ L / unidade x dia}$.

Tabela 12. Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C)	Unid.: L 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
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,3
- escritório	pessoa	50	0,2
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,2
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,2
- bares	pessoa	6	0,1
- restaurantes e similares	refeição	25	0,1
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Fonte: Tabela retira da NBR 7229/1993.

Tabela 13. Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1	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 9001	0,50	12

Fonte: Tabela retirada da NBR 7229/1993.

Tabela 14. 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

Fonte: Tabela retirada da NBR 7229/1993.

Tabela 15. 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	1,2	2,2
De 6,0 a 10,0	1,5	2,5
Mais que 10,0	1,8	2,8

Fonte: SABESP.

Conforme tabela 13 da norma 7229/93, associa-se a contribuição diária de esgotos como acima de 9.000 L, ou seja, o tempo de detenção que se correlaciona é 0,50 Dia. Quanto a taxa de acumulação total do lodo (K), fixando um ano de intervalo entre limpezas e temperatura ambiente acima de 20°C, retira-se K = 57.

Aplicando a fórmula fornecida anteriormente, temos:

$$V = 1.000 + 513 \times (130 \times 0,50 + 1 \times 57) = 63.586,00 \text{ L ou } 63,59 \text{ m}^3$$

Tabela 16. Características do dimensionamento do tanque séptico – Entrada de dados.

Número de ligações de água	300	admite-se 3 hab/ligação	
Número de habitantes	500	Cota per capita (L)	
Tipo de ocupação	médio	140,5	
Volume de esgotos (L)	70250		
Tempo de detenção (h)	12		
Temperatura (°C)	25		
Intervalo entre limpezas (anos)	1		
K (taxa de acumulação total de lodo)	57		
Volume do tanque (L)	64625	64,625	m³
Profundidades (m)	mínima	máxima	
	1,2	2,8	

Fonte: Do autor.

Tabela 17. Características do dimensionamento do tanque séptico – Resultados obtidos.

Característica	Valor adotado	
Formato do tanque	CILÍNDRICO	CILÍNDRICO
Altura (M)	2,8	
Volume 01 Tanque	19,79203372	
Volume De Uma Celula - 04 Tanques	79,16813487	
Número De Celulas	0,8	
Câmara única	40	3,00
Volume da 2ª câmara	20	3,00
Volume da 3ª camara	20	3,00
Volume total		79
Tempo de detenção (h) - real		29,9 horas

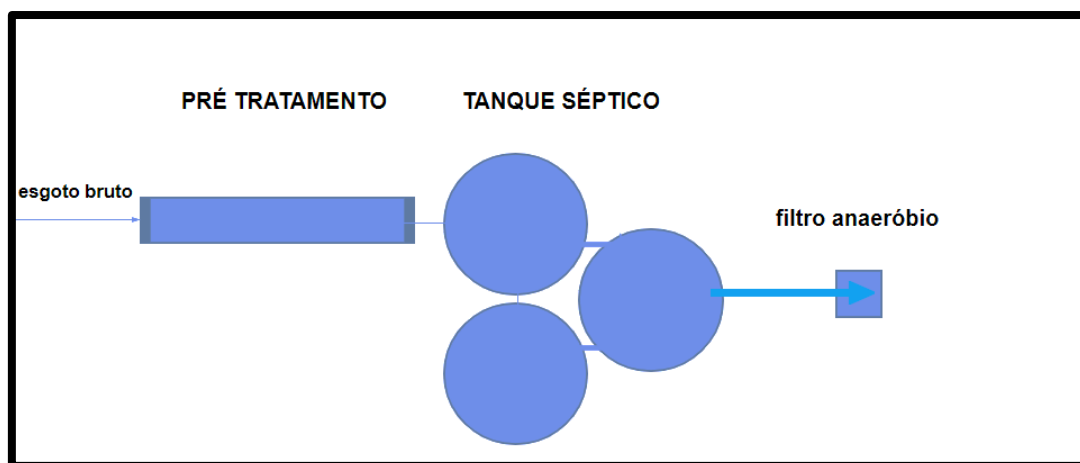
Fonte: Do autor.

Tabela 18. Características do dimensionamento do tanque séptico – Proporções da câmara.

Característica	Valor adotado
Diâmetro da entrada (m)	0,15
$a \geq$	0,05
$b \geq$	0,05
$c (1/3 h) =$	0,93
$h =$ profundidade útil	2,8
$h =$ altura interna total	1,2
diâmetro (m)	3,00
Relação L/W: entre 2:1 e 4:1	

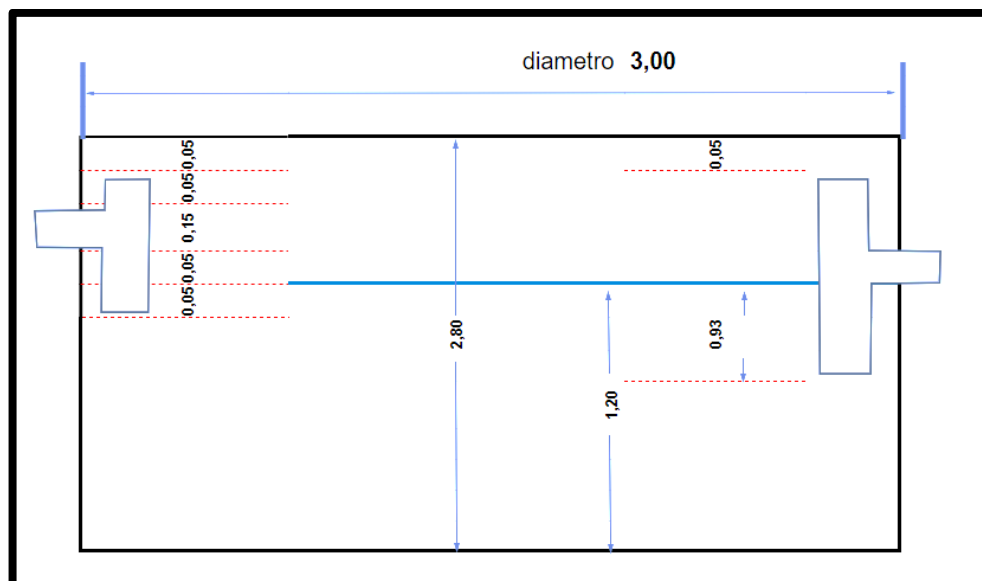
Fonte: Do autor.

Figura 4. Arranjo da instalação do tanque séptico.



Fonte: Do autor.

Figura 5. Desenho em perfil, do tanque séptico.



Fonte: Do autor.

4.7 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO

Para a elaboração do dimensionamento do Filtro Anaeróbio de Leito Fixo, a norma a ser consultada é a NBR 13969/1997 – Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos e NBR 7229:2020 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

O filtro anaeróbio utilizando anéis Pall Ring é uma tecnologia eficiente para o tratamento de esgoto doméstico e industrial. O processo é simples: o esgoto é introduzido no reator anaeróbio, um tanque fechado onde a decomposição ocorre na ausência de oxigênio. Dentro do tanque, há um meio de suporte composto pelos anéis Pall Ring.

Esses anéis possuem um design específico que aumenta a área de contato entre o esgoto e o biofilme – uma camada de bactérias que se desenvolve sobre os anéis. Essas bactérias têm a função de decompor a matéria orgânica presente no esgoto, transformando-a em subprodutos, como água e gases (principalmente metano e dióxido de carbono).

Esse processo de decomposição ocorre em três etapas:

- Hidrólise: onde as moléculas maiores são quebradas em partes menores.
- Acidogênese: que converte esses pedaços menores em ácidos e outros compostos.
- Metanogênese: que gera metano a partir dos ácidos formados.

Os anéis Pall Ring são utilizados porque otimizam o espaço dentro do reator, facilitam o fluxo do esgoto e são duráveis e resistentes à corrosão. Essa tecnologia pode ser combinada com outros métodos de tratamento para melhorar ainda mais a qualidade do esgoto antes de sua disposição final.

O volume útil do leito filtrante (V_u) do **filtro anaeróbio**, em litros, é obtido pela equação:

$$V_u = 1,6 \cdot N \cdot C \cdot T \quad (16)$$

Onde:

N = número de contribuintes;

C = contribuição de despejos, em litros x habitantes / dia (conforme tabela 3 da norma);

T = tempo de detenção hidráulica, em dias (conforme tabela 4 da norma).

Nota – O volume útil mínimo do leito filtrante deve ser de 1.000 L.

De acordo com a tabela 3 da norma, verifica-se no item de ocupantes permanentes como padrão médio, 130 L/dia referente a contribuição de esgoto por pessoa. Conforme tabela 13 da norma, enquadrando-se o sistema como vazão acima de 9.000 L/dia, estabelecendo temperatura entre 15° e 25°, retira-se tempo de detenção hidráulica de esgotos ($T = 0,50$ Dia).

Aplicando a fórmula para o filtro anaeróbio, temos:

$$V_u = 1,6 \times 513 \times 130 \times 0,50 = 53.352,00 \text{ L ou } 53,35 \text{ m}^3$$

Tabela 19. Relação entre a vazão e Temperatura média do mês mais frio (°C).

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15 °C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1500	1,17	1,00	0,92
De 1501 a 3000	1,08	0,92	0,83
De 3001 a 4500	1,00	0,83	0,75
De 4501 a 6000	0,92	0,75	0,67
De 6001 a 7500	0,83	0,67	0,58
De 7501 a 9000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50

Fonte: Tabela retirada da NBR 7229/1993.

Tabela 20. Características do dimensionamento do filtro anaeróbio.

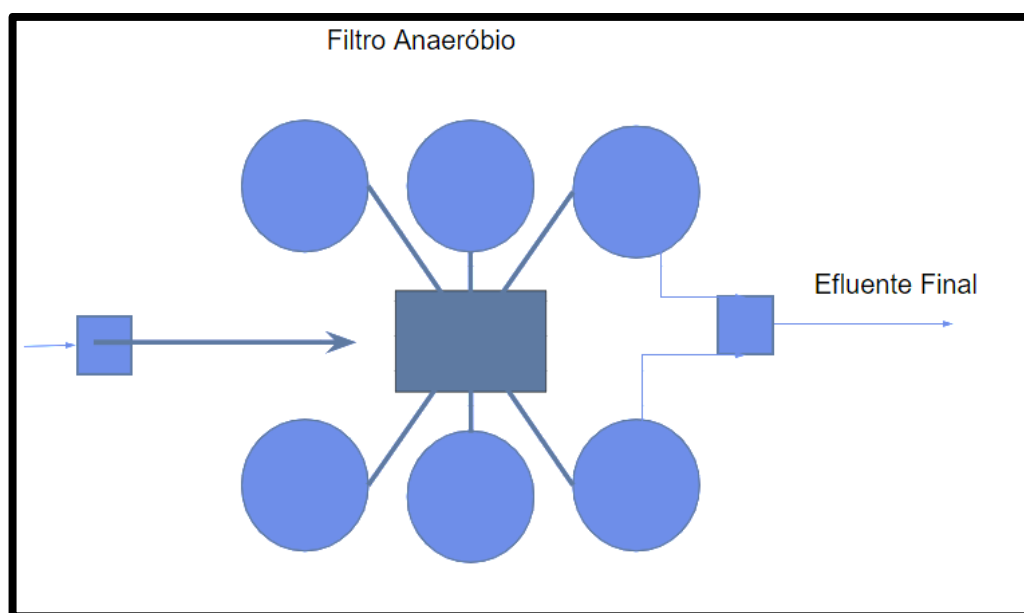
Características	Valor calculado / adotado	Unid.
Vazão	70,25	m ³ /d
Td em função de V	0,75	0,5
Temperatura °c	20	
Td (d)	0,5	
Vu	53	m ³
Altura - leito filtrante	1,2	m
Área útil	44,46	m ²
Diâmetro considerando um único reator	7,52	
Diâmetro considerando dois reatores	5,46	
Diâmetro considerando tres reatores	4,46	
Fundo falso	0,5	m
Espessura da laje	0,5	m
Espessura do substrato	1,2	m
Altura da calha coletora	0,1	m
Altura sobressalente	0,2	m

Fonte: Produção do próprio autor.

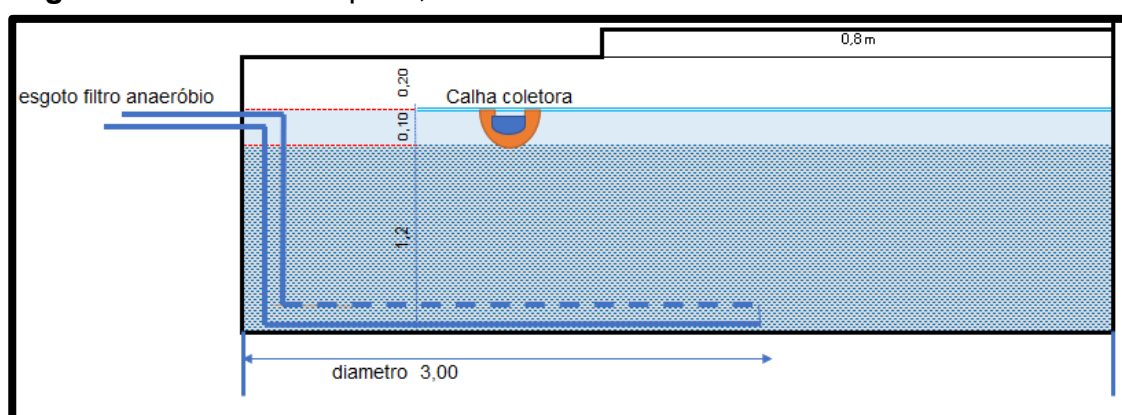
Tabela 21. Características do Tanque adotado

Característica	Valor calculado / adotado	Unid.
Altura útil	1,5	m
Diametro	3,00	m
Área	7,1	m ²
Total de filtros	6	unidades

Fonte: Produção do próprio autor.

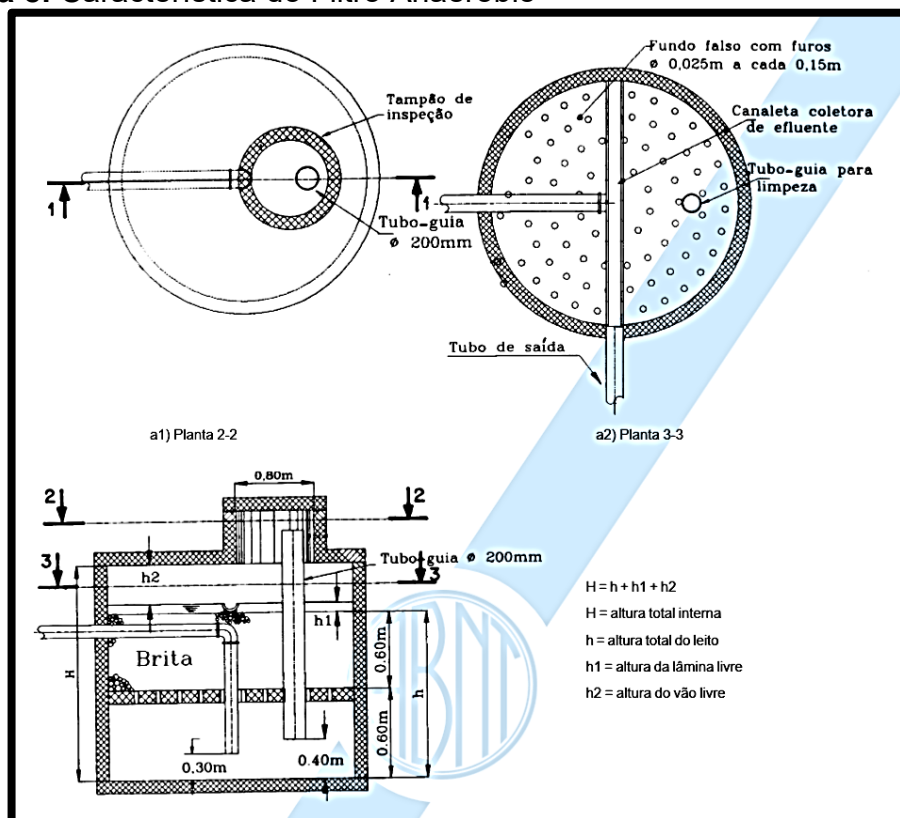
Figura 6. Arranjo da instalação do filtro anaeróbio:

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 7. Desenho em perfil, do filtro anaeróbio.

Fonte: Do autor.

Figura 8. Característica do Filtro Anaeróbio



Fonte: NBR 13969/1997

4.8 METODOLOGIA CONSTRUTIVA APLICADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Além da aprovação do licenciamento ambiental para instalação, fornecido pelo órgão CETESB, e da outorga concedida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica para o uso de recursos hídricos superficiais, foi garantida a conformidade do empreendimento com as exigências legais e técnicas para operação, assegurando a viabilidade ambiental do projeto.

4.8.1 Processo de corte, empolamento e compactação do solo

Realizou-se o processo de corte e empolamento que faz parte das etapas de movimentação de solo em obras de engenharia civil, especialmente em escavações e terraplenagem. De forma simples, ele foi executado em três passos principais:

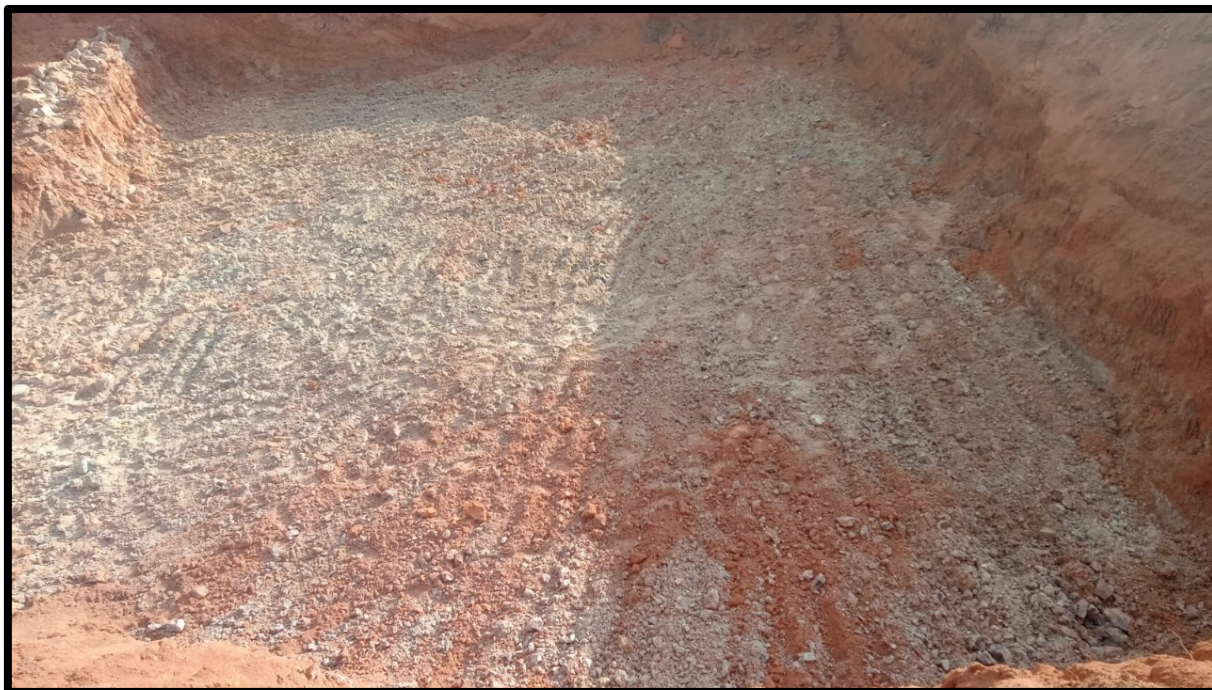
- **Corte (Escavação):** O solo foi retirado do seu estado natural utilizando máquinas como escavadeiras e tratores. Nesse momento, ele perdeu a compactação natural, o que fez com que seu volume aumentasse.
- **Empolamento:** Após o corte, o solo ficou mais "solto" e ocupou mais espaço, já que se formaram espaços vazios entre as partículas. Esse aumento de volume, chamado empolamento, variou conforme o tipo de solo argiloso, empolaram até 50%.
- **Reassentamento:** O solo empolado foi transportado e compactado no novo local, o que reduziu seu volume, embora ele não tenha retornado ao estado original. A compactação dependeu da força aplicada e das características do solo.

O empolamento apresentou-se como um fator crítico no planejamento da movimentação de terras, impactando diretamente os cálculos relacionados ao transporte e armazenamento do material. Sua consideração permitiu prever e minimizar discrepâncias no volume efetivo de solo a ser manejado, otimizando a logística da operação. Complementarmente, foi executada a compactação e regularização técnica do fundo da vala, garantindo a estabilidade e adequação do substrato às exigências do projeto (Figura 11).

Com o objetivo de otimizar a montagem e garantir maior precisão dimensional, o fundo foi regularizado com a aplicação de uma camada de concreto. Essa etapa

assegurou uma base uniforme e estável, contribuindo para a eficiência estrutural e facilitando o alinhamento e nivelamento das estruturas subsequentes (Figura 12).

Figura 9. Fundo do corte do solo regularizado.



Fonte: Do autor.

Figura 10. Base de concreto e início da instalação dos fundos dos tanques.



Fonte: Do autor.

4.8.2 Especificações das aduelas de concreto

A presente especificação refere-se à execução das atividades de fornecimento, montagem e instalação de aduelas circulares pré-moldadas de concreto armado, com lajes de fundo e superior acopladas, destinadas à construção de estações elevatórias de esgoto com diâmetros nominais (DN) entre 1500 mm e 4000 mm. O projeto foi realizado de acordo com as especificações normativas aplicáveis e cumpriu todas as etapas planejadas, assegurando a qualidade e funcionalidade da estrutura.

As aduelas utilizadas foram pré-moldadas em concreto armado, com diâmetro nominal de 3000 mm e altura de 500 mm por módulo, totalizando a altura necessária de até 6 metros conforme especificação do projeto.

- O concreto empregado apresentou resistência característica à compressão (fck) mínima de 40 MPa, classificado como C40, conforme ABNT NBR 8953:2015.
- A armadura principal foi executada em aço CA 50 soldável, com diâmetro de 8 mm, enquanto as barras verticais, utilizadas para montagem e localização, possuíam diâmetro de 6,3 mm. O cobrimento mínimo seguiu as especificações das normas ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 9062:2017, com 40 mm de espessura.
- Os módulos foram fabricados com encaixes tipo macho-fêmea, assegurando alinhamento concêntrico e estabilidade estrutural.

A execução envolveu as etapas descritas a seguir:

1. **Fornecimento e transporte:** As aduelas foram transportadas até o local de instalação em conformidade com os requisitos logísticos e de segurança. Durante o processo, foram utilizados dispositivos de içamento dimensionados para suportar os pesos individuais das peças, conforme especificado.
2. **Preparação do local:** A base foi previamente regularizada e recebeu uma camada de concreto conforme o projeto estrutural, garantindo o apoio uniforme e a precisão da instalação.
3. **Montagem modular:** A montagem das aduelas foi realizada por meio de acoplamento dos módulos, formando uma estrutura contínua e estável. Os encaixes tipo macho-fêmea asseguraram o alinhamento adequado, minimizando desalinhamentos entre os elementos estruturais.

4. **Instalação das lajes:** Após a montagem das aduelas, a laje de fundo e a laje superior foram posicionadas e fixadas, conferindo resistência e estanqueidade ao conjunto.

Durante a execução, todas as atividades foram inspecionadas para garantir a conformidade com as normas técnicas aplicáveis, incluindo ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 5739:2018 e ABNT NBR 8953:2015. Testes de compressão e ensaios não destrutivos foram realizados nas peças fornecidas para validação de sua resistência e durabilidade.

Figura 11. Aduelas utilizadas nos tanques sendo transportadas.



Fonte: Do autor.

4.8.3 Instalação de sistemas hidráulicos e equipamentos

A instalação das aduelas foi realizada com o auxílio de caminhões equipados com braços articulados de capacidades de 45 toneladas e 23 toneladas, garantindo precisão e segurança no manuseio. As aduelas foram fixadas utilizando argamassa

do tipo ACIII, aplicada conforme os requisitos técnicos da NBR 14081, reconhecida pela alta aderência em revestimentos de baixa absorção. Após a instalação, o sistema foi impermeabilizado internamente com revestimento bicomponente do tipo *Viaplus Dique* ou similar, que oferece excelente resistência química e propriedades de vedação contra infiltrações.

Complementando o sistema hidráulico, foram utilizados tubos coletores fabricados em PVC-U (PVC rígido) na cor ocre, com diâmetro nominal de 100 mm. Esses tubos são adequados para instalações prediais de esgoto e águas pluviais, sendo amplamente empregados em sistemas condominiais e residenciais.

Características Técnicas dos Tubos

- **Matéria-prima:** PVC-U (PVC rígido);
- **Cor:** Ocre;
- **Estrutura:** Tubos de parede maciça, constituída por uma única camada de PVC rígido;
- **Dimensões:** Tubos ponta-bolsa com 6 metros de comprimento total, disponíveis em bitolas DN 100 a DN 400;
- **Sistema de vedação:** Junta Elástica Removível Integrada (JERI), fabricada em borracha EPDM ou NBR;
- **Classe de rigidez:** 2500 Pa para tubos até DN 200; 3200 Pa para tubos de DN 250 a DN 400;
- **Condições operacionais:** Condução de fluidos à temperatura de até 40°C;
- **Resistência mecânica:** Projetados para instalação enterrada, operando sob pressão atmosférica (gravidade) e suportando até 0,2 MPa por 24 horas contínuas.

Para a impermeabilização, foi utilizado um revestimento bicomponente (A+B) composto por cimentos especiais, aditivos minerais e resina acrílica, ideal para aplicações em estruturas sujeitas a infiltrações severas, como reservatórios enterrados e estruturas expostas ao lençol freático. O produto cumpre as normas técnicas NBR 11905 (2015), NBR 9575 (2010) e NBR 9574 (2008), apresentando as seguintes características:

- **Resistência química:** Alta resistência a ácidos, bases e solventes (sob consulta);

- **Aderência:** Excelente aderência em superfícies de concreto, aumentando a durabilidade da estrutura;
- **Aplicações típicas:** Estações de tratamento de esgoto (ETE), caixas de gordura, diques de contenção e bacias.

Essas soluções foram implementadas para garantir o desempenho estrutural, funcionalidade e durabilidade do sistema hidráulico instalado, atendendo aos padrões normativos e requisitos técnicos do projeto.

Figura 12. Instalação das aduelas utilizadas nos tanques.



Fonte: Do autor.

4.8.4 Instalação e Aplicação de Anéis *Pall Ring* em Filtros Anaeróbios

Foram utilizados anéis *Pall Ring* em todos os filtros anaeróbios do sistema de tratamento de esgoto, visando maximizar a eficiência dos processos de filtração. A instalação incluiu a utilização de um suporte projetado em madeira, dimensionado para posicionar os anéis de forma precisa e otimizar a eficácia do sistema de filtragem.

O *Pall Ring* é um componente fundamental em filtros anaeróbios, especialmente desenvolvido para estações de tratamento de esgoto. Sua principal função é ampliar a área de contato entre os microrganismos e os resíduos orgânicos

presentes no esgoto, promovendo maior eficiência no processo de degradação da matéria orgânica. As principais vantagens técnicas do *Pall Ring* incluem:

1. **Aumento da Área de Contato:** A estrutura geométrica do anel maximiza a área superficial disponível para a formação de biofilmes microbiológicos, facilitando a remoção de matéria orgânica e nutrientes presentes nos efluentes.
2. **Redução do Risco de Entupimento:** O design inovador minimiza a obstrução dos filtros, tornando o sistema mais confiável e de fácil manutenção.
3. **Alta Durabilidade:** Fabricado com materiais resistentes à corrosão, o *Pall Ring* é capaz de suportar ambientes agressivos, como os encontrados em estações de tratamento de esgoto, assegurando uma longa vida útil e reduzindo custos de reposição.
4. **Flexibilidade de Aplicação:** Este material se adapta a diferentes configurações de sistemas de tratamento e demandas operacionais, sendo uma solução versátil para otimização de processos em variadas condições.

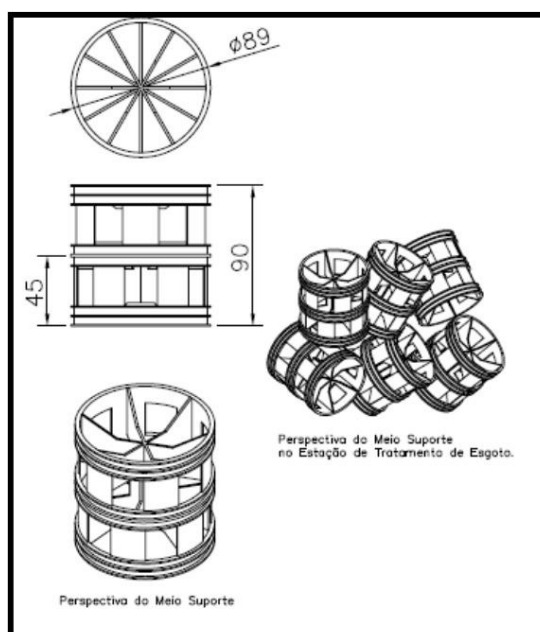
Cada filtro anaeróbio foi preenchido com aproximadamente **4,25 m³ de anéis *Pall Ring*** de dimensões **90 mm x 90 mm**, resultando em uma camada uniforme de **60 cm** de material filtrante. Essa configuração foi projetada para garantir a máxima eficiência operacional, atendendo às exigências técnicas do projeto e promovendo um tratamento sustentável e eficaz dos efluentes.

Figura 13. Suporte em madeira para limitar área dos anéis.



Fonte: Do autor.

Figura 14. Desenho Técnico ANEL PALL RING 90X90MM



Fonte: ECOESP Saneamento.

4.8.5 Pré tratamento e acabamentos

A execução da calha *Parshall*, caixa de areia, gradeamento e caixas de distribuição com vertedouro triangular foi realizada com alvenaria de alta resistência, acompanhada de impermeabilização rigorosa para evitar infiltrações e garantir a durabilidade estrutural.

Para os acabamentos, como *stop logs* e o vertedouro da calha *Parshall*, foram empregados componentes sob medida, totalmente confeccionados em PRFV (Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro). Esses elementos receberam um revestimento gel *coat* especial, formulado para garantir a compatibilidade com ambientes agressivos de esgoto, proporcionando alta resistência à corrosão e ao desgaste.

Figura 15. Pré-tratamento e acabamentos de execução.



Fonte: Do autor.

Figura 16. Arranjo da instalação dos tanques da ETE.



Fonte: Do autor.

4.9 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO EM 5 DIAS (DBO₅)

A análise de DBO₅ foi realizada com o objetivo de determinar a quantidade de oxigênio dissolvido consumido por microrganismos durante a degradação da matéria orgânica em um período de 5 dias a 20°C. o procedimento seguiu as diretrizes da *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* - APHA (1999) e da ABNT NBR 12614 (2019).

As amostras foram coletadas semanalmente, após a instalação da ETE, em recipientes estéreis, devidamente vedados e protegidos da luz. Após a coleta, as amostras foram homogeneizadas. quando necessário, foram diluídas em água destilada previamente saturada com oxigênio para ajustar a concentração de matéria orgânica.

As amostras foram transferidas para frascos de DBO, preenchendo-os completamente para evitar a presença de bolhas de ar. O oxigênio dissolvido inicial foi determinado utilizando um medidor digital de OD. Os frascos de DBO foram selados e incubados em termostato a 20°C por 5 dias, em ambiente escuro, para evitar interferências de processos fotossintéticos.

Após o período de incubação, os frascos foram removidos da incubadora e o oxigênio dissolvido final foi medido utilizando o mesmo método empregado para a determinação inicial. A DBO₅ foi calculada com base na diferença entre o oxigênio dissolvido inicial (OD₀) e o oxigênio dissolvido após 5 dias (OD₅), utilizando a equação: $DBO_5 = OD_0 - OD_5$

4.10 ESTUDO DE AUTODEPURAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CORPO HÍDRICO

Foi avaliada a capacidade do Córrego do Moinho em receber e assimilar (autodepurar-se) o lançamento dos efluentes tratados do distrito de Itaiuba. O interesse principal do estudo foi estimar, baseado em dados previamente conhecidos, as variações de concentração que esta carga poluidora causará no Córrego do Moinho, em função da posição e do tempo de seu ponto de lançamento.

Para o estudo de autodepuração foi adotado o modelo de Streeter e Phelps (1925), que aborda dois aspectos importantes: o consumo de oxigênio pela oxidação da matéria e a produção de oxigênio pela reaeração atmosférica. A hipótese básica

do modelo é que o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem.

Assim, nesse tipo de reação, a taxa de redução da matéria orgânica é proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um dado instante de tempo. Já para o cálculo da concentração de Oxigênio Dissolvido - OD, o equacionamento combina os processos de reaeração e desoxigenação pelo decaimento da matéria orgânica.

Tabela 22. Características do sistema projetado.

Característica	Valor	Unidade	Observação
População	500	hab.	Final de Plano
Vazão de esgoto	1,56	l/s	Final de Plano
Contribuição orgânica	0,054	kgDBO/hab.dia	Adotado
Concentração orgânica	346	mgDBO/l	-
Eficiência do tratamento	85,1	%	Mínimo
Carga remanescente	51,5	mgDBO/l	-
OD - efluente	5,0	mg/l	-
Temperatura do efluente	25	°C	Adotado

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 23. Dados do corpo receptor.

Nome	Córrego do Moinho		
Característica	Valor	Unidade	Observação
Classe de enquadramento	2	-	-
Altitude	400	m	-
Vazão mínima - $Q_{7,10}$	8,0	l/s	-
Velocidade	1,0	m/s	-
Profundidade	0,8	m	-
Temperatura da água	20	°C	Adotado
DBO - montante do lançamento	5,0	mgDBO/l	Adotado - Classe 2
OD - montante do lançamento	7,8	mg/l	90% do OD de saturação
Cs- OD de saturação	8,7	mg/l	-

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Coeficiente de Desoxigenação - K_1**

O coeficiente de desoxigenação depende do tipo da matéria orgânica e do grau de tratamento, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras. Efluentes tratados possuem taxa de degradação mais lenta, pelo fato da maior parte da matéria orgânica mais facilmente assimilável já ter sido removida, restando apenas à parcela de estabilização mais vagarosa. A tabela abaixo apresenta valores médios para o coeficiente de desoxigenação K_1 .

Será adotado $K_1=0,24 \text{ dia}^{-1}$ (efluente secundário). Não haverá necessidade de correção de temperatura, pois, a temperatura estimada do rio é em torno de 20°C .

Tabela 24. Coeficiente K_1 (base 20°C).

Origem	$K_1 \text{ (d}^{-1}\text{)}$
Água resíduo concentrada	0,35 - 0,45
Água residual de baixa concentração	0,30 - 0,40
Efluente primário	0,30 - 0,40
Efluente secundário	0,12 - 0,24
Efluente terciário	0,10 - 0,20
Rios com águas limpas	0,09 - 0,21
Água para abastecimento público	< 0,12

Fonte: Von Sperling (2005)

- **Coeficiente de Reaeração - K_2**

O valor do coeficiente de reaeração K_2 de um corpo d'água pode ser determinado por meio de métodos estatísticos. Os dados de entrada são oxigênio dissolvido (OD) a diversos tempos (t). Já a temperatura influencia na oxigenação do corpo d'água de duas formas: reduz a concentração de saturação da água e acelera o processo de absorção de oxigênio. Observa-se, de modo geral, que a água previamente desoxigenada absorve menos oxigênio da atmosfera à medida que a temperatura se eleva, se todas as outras condições permanecerem constantes.

A seleção do valor do coeficiente K_2 tem uma maior influência nos resultados do balanço do oxigênio dissolvido do que o coeficiente K_1 , pelo fato de faixas de

variação do último ser mais estreitas. Existem três métodos para obtenção do coeficiente K_2 :

- Valor em função das características hidráulicas do corpo d'água;
- Valor correlacionado com a vazão do curso d'água, descrito pela fórmula:
 $K_2 = mQ^n$, sendo m e n coeficiente de ajuste;
- Valor médio tabelado.

Será adotado o valor tabelado de $K_2 = 0,69 \text{ dia}^{-1}$ (rios com velocidade normal). Para K_2 , também não haverá necessidade de correção de temperatura.

Tabela 25. Valores típicos de K_2 (base 20°C).

Corpo D'Água	$K_2 \text{ (d}^{-1}\text{)}$	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	> 1,15	> 1,61

Fonte: Von Sperling (2005)

- **Concentração de Oxigênio da Mistura (C_o):**

$$C_o = \frac{Q_r \times ODr + Q_e \times ODe}{Q_r + Q_e} = 7,82 \text{ mg/l} \quad (17)$$

- **Déficit de Oxigênio:**

$$D_o = C_s - C_o = 8,7 - 7,82 = 0,88 \text{ mg/l} \quad (18)$$

- **Constante de Transformação da $DBO_{5,20}$ para $DBO_{\text{última}}$:**

$$Kt = \frac{DBO_u}{DBO_{5,20}} = \frac{1}{1 - 10^{-5 \times 0,24}} = 1,07 \quad (19)$$

- **Concentração de DBO após a mistura:**

$$DBOm = \frac{Qt \times CBO_r + Qe \times DBO_e}{Qr + Qe} = 12,59 \text{ mg/l} \quad (20)$$

- **Demanda última de oxigênio da mistura:**

$$Lo = DBOm - Kt = 12,59 \times 1,07 = 13,44 \text{ mg/l} \quad (21)$$

- **Tempo Crítico:**

$$tc = \frac{1}{K_{2,T} - K_{1,T}} \times \log \left\{ \frac{K_{2,T}}{K_{1,T}} \times \left[1 - \frac{D0 \times (K_{2,T} - K_{1,T})}{L0 \times K1} \right] \right\} = 0,8208 \text{ dia} \quad (22)$$

- **Distância Crítica:**

$$Dc = tc \times v \times 3,6 \times 24 = 0,8208 \times 1,0 \times 3,6 \times 24 = 70,91 \text{ m} \quad (23)$$

- **Déficit Crítico de Oxigênio:**

$$Dc = \frac{K_{1,T}}{K_{2,T}} \times L0 \times 10^{-K1 \times tc} = \frac{0,24}{0,69} \times 13,44 \times 10^{-0,24 \times 0,8208} = 2,97 \text{ mg/l} \quad (24)$$

- **Concentração Crítica de Oxigênio Dissolvido:**

$$Cc = Cs - Dc = 8,7 - 2,97 = 5,73 \text{ mg/l} \quad (25)$$

Tabela 26. Balanço de Carga Orgânica e OD dissolvido.

Espaço	Tempo	Balanço de Carga Orgânica			Balanço de OD Dissolvido		
		DBOu(t)	DBOe(t)	DBOr	OD sat	Def. OD	OD rio
(km)	(dia)	(mg/L)	(mg/L) ¹	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L) ²	(mg/L)
0	0,00	13,44	0,00	13,44	8,7	1,33	7,37
4	0,05	13,44	0,34	13,10	8,7	1,56	7,14
8	0,09	13,44	0,67	12,77	8,7	1,77	6,93
12	0,14	13,44	0,99	12,45	8,7	1,96	6,74
16	0,19	13,44	1,31	12,13	8,7	2,12	6,58
20	0,23	13,44	1,61	11,83	8,7	2,27	6,43
24	0,28	13,44	1,91	11,53	8,7	2,39	6,31
28	0,32	13,44	2,20	11,24	8,7	2,50	6,20
32	0,37	13,44	2,49	10,95	8,7	2,60	6,10
36	0,42	13,44	2,76	10,68	8,7	2,68	6,02
40	0,46	13,44	3,03	10,41	8,7	2,75	5,95
44	0,51	13,44	3,30	10,14	8,7	2,81	5,89
48	0,56	13,44	3,55	9,89	8,7	2,86	5,84
52	0,60	13,44	3,80	9,64	8,7	2,90	5,80
56	0,65	13,44	4,04	9,40	8,7	2,93	5,77
60	0,69	13,44	4,28	9,16	8,7	2,95	5,75
64	0,74	13,44	4,51	8,93	8,7	2,96	5,74
68	0,79	13,44	4,74	8,70	8,7	2,97	5,73
71	0,82	13,44	4,90	8,54	8,7	2,97	5,73
72	0,83	13,44	4,96	8,48	8,7	2,97	5,73
76	0,88	13,44	5,17	8,27	8,7	2,96	5,74
80	0,93	13,44	5,38	8,06	8,7	2,96	5,74
84	0,97	13,44	5,58	7,86	8,7	2,94	5,76
88	1,02	13,44	5,78	7,66	8,7	2,92	5,78
92	1,06	13,44	5,98	7,46	8,7	2,90	5,80
96	1,11	13,44	6,16	7,28	8,7	2,88	5,82
100	1,16	13,44	6,35	7,09	8,7	2,85	5,85
104	1,20	13,44	6,53	6,91	8,7	2,82	5,88
108	1,25	13,44	6,70	6,74	8,7	2,79	5,91
112	1,30	13,44	6,87	6,57	8,7	2,76	5,94
116	1,34	13,44	7,04	6,40	8,7	2,72	5,98
120	1,39	13,44	7,20	6,24	8,7	2,68	6,02
124	1,44	13,44	7,36	6,08	8,7	2,65	6,05
128	1,48	13,44	7,51	5,93	8,7	2,61	6,09
132	1,53	13,44	7,66	5,78	8,7	2,57	6,13

5 RESULTADOS

Considerando os parâmetros de um projeto teórico para atender às exigências da Resolução CONAMA nº 430/2011, que regula os sistemas de tratamento de efluentes, foram realizados cálculos para avaliar a eficiência do sistema proposto, baseado no uso de tanque séptico e filtro anaeróbio. O desempenho foi avaliado utilizando dados de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) antes e depois do tratamento.

Os resultados obtidos demonstram que o sistema de tratamento no distrito de Itaiúba promoveu uma redução significativa na DBO_5 , passando de 465 mg/L para 127 mg/L. Isso corresponde a uma eficiência de remoção de 72%, que supera o mínimo exigido pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (60%). Apesar disso, o desempenho prático observado é inferior ao valor teórico de 96,4% relatado em estudos anteriores, indicando possíveis limitações operacionais do sistema em relação ao seu potencial ideal.

Após a implantação da ETE, houve uma redução significativa nos valores de DBO_5 no efluente tratado, alcançando eficiências elevadas, como 92% e 93%, em determinados períodos. Contudo, verificou-se uma oscilação na eficiência, variando de 44% a 93%, provavelmente influenciada por condições variáveis do afluente, sobrecargas hidráulicas ou orgânicas e possíveis falhas operacionais, além de padrões de consumo e descarte da população atendida, efluentes industriais não tratados e eventos climáticos, como chuvas, que podem aumentar ou diluir a concentração de contaminantes, dependendo do tipo de coleta e transporte do esgoto.

A análise estatística realizada utilizou o teste F (ANOVA) para avaliar se houve diferença estatisticamente significativa entre os resultados de eficiência na remoção de DBO "ANTES" e "DEPOIS". O valor calculado da estatística $F=4,52$ foi comparado com o valor crítico de $F=1,86$, considerando um nível de significância de $\alpha=0,05$ (95% de confiança) e graus de liberdade $df_1=29$ e $df_2=29$. Como o F calculado foi maior que o valor crítico, rejeitou-se a hipótese nula (H_0), que afirmava não haver diferença significativa entre as médias das eficiências "ANTES" e "DEPOIS" do tratamento. Portanto, conclui-se que o tratamento impactou significativamente os valores de eficiência na remoção de DBO . O p -valor associado ao teste F é menor que o nível de significância ($p<0,05$), indicando que as diferenças observadas não são devidas ao acaso, mas a um efeito real do tratamento aplicado. Assim, com 95% de confiança,

pode-se afirmar que as eficiências observadas "DEPOIS" do tratamento são significativamente diferentes das observadas "ANTES".

O córrego do Moinho, receptor do efluente tratado, demonstrou boa capacidade de autodepuração. Após o lançamento do efluente, o oxigênio dissolvido (OD) atingiu um valor crítico de 5,73 mg/L a 71 metros do ponto de lançamento, com recuperação gradual ao longo de 132 km do curso hídrico. A concentração inicial de DBO no corpo receptor foi de 12,59 mg/L, reduzindo-se para menos de 7 mg/L ao longo do percurso, evidenciando um eficiente processo de autodepuração natural. Esses resultados estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água de Classe 2, reafirmando a viabilidade ambiental do lançamento de efluentes tratados neste corpo hídrico.

Tabela 27. Resultados semanais de DBO₅ (mg/l) e eficiência (%) antes da implantação da estação de tratamento de esgoto e depois da instalação.

DBO ₅ (mg/l)		EFICIENCIA (%)
ANTES	DEPOIS	
438	34	92%
383	33	91%
180	40	78%
320	60	81%
500	85	83%
402	65	84%
640	160	75%
900	65	93%
480	95	80%
420	135	68%
250	130	48%
360	160	56%
480	230	52%
640	360	44%
480	200	58%
370	170	54%
700	280	60%
300	130	57%
490	90	82%
750	300	60%
440	80	82%
500	100	80%
416	76	82%
520	100	81%
319	59	82%
437	87	80%
700	138	80%
440	135	69%
237	92	61%
465	127	72%

Tabela 28. Resultados médios de DBO₅ (mg/L) eficiência (%) antes da implantação da estação de tratamento de esgoto e depois da instalação

DBO ₅ (mg/l)		EFICIÊNCIA (%)
ANTES	DEPOIS	
465	127	72% ($p < 0,05$)

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A eficiência de 72% do sistema de tratamento de efluentes no distrito de Itaiúba pode ser considerada positiva, uma vez que está acima do mínimo exigido pela legislação. No entanto, o valor de eficiência observado também evidencia que há espaço para melhorias. Essa eficiência pode ser atribuída a diversos fatores, como o tipo de tecnologia empregada (tanque séptico e filtro anaeróbio), a composição do esgoto a ser tratado e a operação e manutenção do sistema. Esses aspectos são discutidos a seguir com base na literatura existente.

A Resolução Conama nº 430/2011 exige uma remoção mínima de 60% da DBO, que o sistema avaliado superou, apresentando 72%, o que demonstra que está dentro dos parâmetros aceitáveis para um sistema de tratamento de efluentes em regiões com infraestrutura limitada, como é o caso de Itaiúba. No entanto, a eficiência teórica de 96,4% apresentada em outros estudos pode ser vista como um valor ideal para sistemas com tecnologias mais avançadas e com maior controle operacional (Iwaki, 2017).

A diferença entre a eficiência teórica e a observada sugere que o sistema de tratamento proposto no distrito de Itaiúba, embora eficaz, ainda não alcança o desempenho máximo que poderia ser obtido com a implementação de tecnologias mais sofisticadas, como filtros biológicos ou processos aeróbios. Essa diferença pode ser atribuída a uma série de fatores operacionais e ambientais. Oscilações na eficiência de remoção da DBO foram observadas, variando de 44% a 93%, o que reflete a influência de condições variáveis do afluente, como carga orgânica elevada e condições climáticas adversas. Por exemplo, períodos de chuva podem diluir ou concentrar a matéria orgânica no afluente, dificultando a operação eficiente do sistema. Além disso, a eficiência pode ser influenciada por fatores como a carga orgânica do esgoto, o tempo de detenção no sistema e a qualidade dos materiais filtrantes utilizados no processo (Peres *et al.*, 2010).

Vários fatores podem influenciar a eficiência de um sistema de tratamento de efluentes, e muitos deles estão fora do controle direto da tecnologia empregada. Dentre eles, a capacidade do sistema pode ter sido limitada por sobrecargas hidráulicas ou orgânicas, especialmente em momentos de alta concentração de DBO no afluente. Essas situações podem resultar na saturação dos processos biológicos, comprometendo a eficiência. A manutenção inadequada de equipamentos, como aeradores e recirculadores de lodo, e as variações de temperatura e nutrientes no

afluente são outros fatores que afetam diretamente a remoção de matéria orgânica. A composição do esgoto é um desses fatores críticos. Efluentes com altas concentrações de matéria orgânica, como os gerados por áreas rurais ou de menor urbanização, podem demandar maiores esforços de tratamento (Peres *et al.*, 2010). No caso do distrito de Itaiúba, a DBO inicial de 465 mg/L sugere uma carga orgânica relativamente alta, o que pode ter contribuído para a eficiência de 72%, ainda que superior ao mínimo exigido.

Outro fator importante é o tempo de retenção no sistema, que segundo alguns estudos, sistemas que permitem maior tempo de contato entre o efluente e o material filtrante têm maior eficiência na remoção de DBO (Von Sperling, 2005). O tanque séptico, por ser um sistema de tratamento passivo, pode ter limitações quanto ao tempo de detenção necessário para uma remoção mais eficaz da matéria orgânica. A combinação com o filtro anaeróbio, que auxilia na decomposição de sólidos, contribui para a remoção de DBO, mas pode não ser suficiente para alcançar níveis ideais de eficiência.

Além disso, a operação e a manutenção do sistema são cruciais para garantir a eficiência a longo prazo. O sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio depende de uma gestão adequada, como a limpeza periódica dos filtros e a remoção dos lodos acumulados. Deficiências na operação podem reduzir significativamente a eficiência do tratamento e a falha na manutenção de sistemas de tratamento de efluentes pode levar a uma redução na capacidade de remoção de poluentes, mesmo que o sistema tenha sido projetado para uma eficiência maior (NBR 7229, 1993).

No corpo receptor, a recuperação do oxigênio dissolvido reforça a importância dos processos de autodepuração natural. A eficiência de reaeração do córrego, associada às suas características hidráulicas, como profundidade e velocidade, garantiu a recuperação do OD a níveis adequados para a biota aquática. Esse processo é fundamental para minimizar os impactos da carga remanescente de DBO, que, apesar de significativamente reduzida pelo sistema de tratamento, ainda exige a capacidade natural do corpo d'água para manter sua qualidade.

A opção por um sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio em vez de um sistema convencional com lagoas de estabilização pode ser justificada por uma série de razões, que vão desde a eficiência de remoção de poluentes até as questões econômicas e ambientais envolvidas.

As lagoas de estabilização, também conhecidas como lagoas aeradas ou facultativas, são uma solução de tratamento de esgoto amplamente utilizada em sistemas de grande porte ou em áreas com condições climáticas favoráveis. Esse sistema, baseado em processos naturais de decomposição de matéria orgânica por ação bacteriana e algas, apresenta algumas limitações em termos de eficiência, especialmente em regiões com clima quente e alta carga orgânica (Von Sperling, 2017). Embora a remoção de DBO em lagoas de estabilização possa ser razoavelmente eficiente em condições ideais, o controle da eficiência depende de vários fatores como a profundidade da lagoa, a temperatura e o tempo de retenção do efluente.

Por outro lado, um sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio pode alcançar uma remoção de poluentes mais consistente, como demonstrado no estudo do distrito de Itaiúba, com uma eficiência de 72%. Essa eficiência é conseguida com menor variabilidade em relação a variáveis ambientais, como a temperatura e a quantidade de luz solar, que influenciam diretamente as lagoas (Carrilho; Carvalho, 2016). Além disso, o tanque séptico, por ser um sistema fechado e com controle de fluxo, permite uma remoção mais eficiente de sólidos em suspensão e matéria orgânica, minimizando riscos de contaminação ambiental e de saúde pública.

Sobre a questão econômica, observa-se que as lagoas de estabilização exigem grandes áreas de terreno e são altamente dependentes do clima local, o que pode torná-las inviáveis em regiões com limitações de espaço ou condições climáticas desfavoráveis (Silva Filho, 2007). Em áreas como o distrito de Itaiúba, onde os recursos para construção e manutenção de infraestrutura são limitados, a instalação de um sistema de lagoas pode se tornar uma opção não sustentável.

O sistema de tanque séptico, por outro lado, é mais compacto e exige menos área para instalação, além de ter custos operacionais mais baixos, já que não depende de complexos equipamentos de aeração e não requer grandes volumes de energia elétrica, como as lagoas de estabilização aeradas (Santos, 2018). Além disso, a manutenção de um sistema de tanque séptico é menos onerosa, necessitando apenas da remoção periódica dos lodos acumulados e da verificação de eventuais falhas no filtro anaeróbio, o que o torna uma solução mais viável economicamente para regiões com restrições orçamentárias.

Do ponto de vista ambiental, o sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio representa uma alternativa mais eficiente para a remoção de contaminantes do que

as lagoas de estabilização, especialmente em regiões com alta carga orgânica. A remoção de sólidos e matéria orgânica em um sistema de tanque séptico pode ser mais eficaz em prevenir a poluição de corpos d'água, como rios e lagos, e evitar a eutrofização desses recursos hídricos, um problema recorrente em locais que utilizam lagoas de estabilização (Peres *et al.*, 2010).

Embora a eficiência do sistema de tanque séptico não seja tão alta quanto a de tecnologias avançadas, a remoção de nutrientes e matéria orgânica já contribui significativamente para melhorar a qualidade do esgoto lançado no ambiente. Estudos indicam que o tanque séptico é capaz de remover até 70% dos sólidos suspensos e 60% dos nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, o que reduz o risco de eutrofização e a contaminação de recursos hídricos (Von Sperling, 2005). Além disso, a redução de patógenos também é mais eficiente em sistemas com filtro anaeróbio, o que minimiza os riscos de doenças de veiculação hídrica.

A instalação e manutenção de sistemas de lagoas de estabilização, além de serem mais dependentes de fatores climáticos e de espaço, exigem maior monitoramento em termos de controle de cargas de nutrientes e sólidos. Em regiões de alta urbanização ou com problemas de disponibilidade de terreno, como em Itaiúba, a instalação de lagoas de estabilização pode ser inviável, além de demandar um gerenciamento mais complexo para evitar problemas como o acúmulo de algas e a formação de maus odores (Carrilho; Carvalho, 2016).

O sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio, por ser passivo e mais simples de operar, permite uma maior flexibilidade em termos de implementação em áreas com espaço limitado. Além disso, sua operação requer menos intervenção técnica, sendo mais fácil de manter em locais remotos ou com pouco acesso a recursos técnicos especializados.

No cenário mundial, as principais formas de destinação do lodo gerado por Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) com tanque séptico e filtro anaeróbio incluem a incineração, a disposição em aterros sanitários e o uso agrícola. Essas opções somam cerca de 90% das formas de destinação utilizadas globalmente (Iwaki, 2017). A incineração é uma opção eficiente para a eliminação de patógenos e a redução de volume, mas envolve elevados custos operacionais e pode gerar emissões prejudiciais ao ambiente, caso não sejam adequadamente controladas.

A disposição em aterros sanitários é uma das alternativas mais comuns, no entanto, também representa um alto custo, além de possíveis impactos ambientais,

como a contaminação do solo e da água subterrânea. Já a aplicação do lodo no setor agrícola, que pode fornecer nutrientes valiosos para o solo, exige rigorosas análises da composição do lodo para garantir que não haja substâncias tóxicas ou patógenos que possam comprometer a saúde humana ou o equilíbrio ecológico (Iwaki, 2017).

No Brasil, ainda existem poucas opções alternativas eficazes e sustentáveis para a destinação do lodo, e o método predominante continua sendo a disposição em aterros sanitários. No entanto, esse método apresenta não apenas um elevado custo financeiro, mas também riscos ambientais a longo prazo, o que o torna uma opção cada vez mais questionada em termos de sustentabilidade (Bettiol; Camargo, 2006).

No caso específico do distrito de Itaiúba, a destinação do lodo gerado por uma Estação de Tratamento de Esgoto com tanque séptico e filtro anaeróbio dependerá de uma série de análises detalhadas da composição físico-química do lodo. Essas análises são essenciais para avaliar a viabilidade de sua disposição final, seja em aterros ou por outros métodos. A composição do lodo pode variar conforme diversos fatores, incluindo o tipo de esgoto tratado e a eficiência do sistema de tratamento, que no caso de Itaiúba utiliza a combinação de tanque séptico e filtro anaeróbio. Portanto, a análise do lodo é fundamental para identificar a presença de substâncias contaminantes, metais pesados, patógenos e outros compostos que possam representar riscos para a saúde humana ou para o meio ambiente.

Um fator crucial para a escolha da destinação do lodo no distrito de Itaiúba é a viabilidade da própria região, incluindo a infraestrutura disponível para o manejo e disposição do material. Para garantir uma destinação segura e ambientalmente correta, é necessário avaliar se o distrito conta com as condições adequadas, como instalações para transporte e armazenamento do lodo, além de adequados mecanismos de controle ambiental. A região também precisa atender aos requisitos técnicos e legais estabelecidos para a disposição de resíduos sólidos, que visam prevenir impactos negativos, como contaminação de solos e corpos d'água, e garantir a segurança da população local.

Além disso, é importante considerar a implementação de alternativas que possam reduzir os custos e os impactos ambientais, como o aproveitamento do lodo como fertilizante ou a adoção de tecnologias mais avançadas para o tratamento e reuso do material. No entanto, essas alternativas exigem investimentos em infraestrutura e capacitação técnica, além de uma avaliação rigorosa para garantir que o lodo seja seguro para essas finalidades.

7 CONCLUSÃO

O sistema de tratamento de efluentes dimensionado para o distrito de Itaiúba, utilizando tanque séptico e filtro anaeróbio, demonstrou uma eficiência de remoção de DBO de 72%, superando a exigência mínima de 60. Embora esse valor seja adequado do ponto de vista normativo e ambiental, ele está aquém da eficiência teórica de 96,4% mencionada em estudos anteriores. Fatores como a carga orgânica do esgoto, o tempo de retenção no sistema e a manutenção adequada influenciam diretamente os resultados obtidos.

A escolha por um sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio em vez de um sistema convencional com lagoas de estabilização no distrito de Itaiúba é uma decisão fundamentada em diversos fatores, incluindo a eficiência de remoção de poluentes, as considerações econômicas e logísticas, além dos benefícios ambientais e sanitários. Embora a eficiência teórica de um sistema convencional com lagoas possa ser superior em determinadas condições, as vantagens do sistema proposto, como menor necessidade de área, custos mais baixos e maior controle sobre o tratamento, tornam-no mais adequado para as condições locais de Itaiúba.

A literatura existente respalda essa escolha, demonstrando que sistemas baseados em tanque séptico e filtro anaeróbio são eficientes, econômicos e adequados para áreas com restrições orçamentárias e espaço limitado. Assim, a implementação desse sistema representa uma solução sustentável e apropriada para o tratamento de esgoto em regiões de menor infraestrutura, como o distrito de Itaiúba.

A destinação do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto com tanque séptico e filtro anaeróbio no distrito de Itaiúba demanda uma análise cuidadosa da sua composição e da viabilidade da região para garantir uma solução que seja ao mesmo tempo ambientalmente segura e financeiramente viável.

A realização de estudos de campo e monitoramento contínuo será essencial para validar a eficiência do sistema e identificar áreas de melhoria para garantir que os benefícios ambientais e sanitários sejam otimizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANCO. **Manual Técnico Colefort**. Revisão Dezembro/2008. Disponível em: http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/45/Manual_Tecnico_Colefort-Rev_dez.08.pdf. Acesso em: 22 nov. 2024.

APHA, AWWA, WEF. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª ed. Washington, D.C.: APHA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12213:2017** - Drenagem urbana - Diretrizes para projetos de sistemas de manejo das águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648:1986** - Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:1986** - Coleta de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:1997** - Tanques sépticos – Unidades complementares de tratamento e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12207:1989** - Redes de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:1990** - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12235:1992** - Elaboração de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229:1993** - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3144>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11905:2015** - Sistema impermeabilizante composto por cimento impermeabilizante e polímeros. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575:2010** - Impermeabilização – Sistemas e projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574:2008** - Execução da impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081** - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, [sem data].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953:2015** - Concreto para uso estrutural - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062:2017** - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7362-1:2005** - Sistemas enterrados para condução de esgoto - Parte 1: Requisitos para tubos de PVC com junta elástica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7362-2** - Sistemas enterrados para condução de esgoto - Parte 2: Requisitos para tubos de PVC com parede maciça. Rio de Janeiro: ABNT, [sem data].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7367** - Projeto e assentamento de tubulações de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, [sem data].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9814** - Execução de rede coletora de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, [sem data].

ARAÚJO, D. E. M. **Avaliação dos parâmetros oxigênio dissolvido e pH em esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização**. 2016. 45 f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/35653>.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Org.). *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-36. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/14956/1/2006PL028.pdf>.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agua/portarias>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CARRILHO, S. M. A. V.; CARVALHO, E. H. **Avaliação da disposição de lodos de fossa e tanque sépticos em lagoas de estabilização que tratam lixiviados de aterro sanitário.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 183-196, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/M8ryfwk79bjP5nxGcLMBkhp/>.

CASTRO, C. N. D.; CERZINI, M. T. **Saneamento rural no Brasil: desafios para a ampliação do acesso.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11879/37/BRUA_28.pdf#page=32.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/roteiros/sistemas-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios/sistemas-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CHAPRA, S.C. Surface water quality modeling. Colorado, USA: MacGraw-Hill, 1997.843p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Anaerobic reactors.** IWA Publishing, 2007. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=13o8v5ABPQwC&oi=fnd&pg=PR5>.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Brasília, 2011. Disponível em: <https://saneamentoinclusivo.org.br/publicacao/resolucao-conama-n-430-de-13-de-maio-de-2011>. Acesso em: 18 nov. 2024.

Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Complementa a regulamentação da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição ambiental no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 23 nov. 1977. Disponível em: <https://www.legislacao.sp.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Regulamenta a Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 9 set. 1976. Disponível em: <https://www.legislacao.sp.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

EMBRAPA. **Saneamento básico rural: a saúde da água, do solo e da família em suas mãos.** 2015.

FARIAS, M.; NETO, J. D.; LIRA, V.; FRANCO, E. **Impactos ambientais em uma bacia urbana e as consequências na qualidade da água superficial**. *Enciclopédia Biosfera*, v. 4, n. 5, 30 mar. 2008. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4928>.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2019. Tese (Doutorado). Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=465901&tipoMidia=0>.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=37225&t=resultados>. Acesso em: 18 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)a. Síntese de Indicadores Sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9110-estatisticas-do-registro-civil.html>. Acesso em: 09 dez. 2024. DOI: 10.29386/indicadores-sociales.v20i1.

IWAKI, G. **Destinação final de lodos de ETAs e ETEs**. 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-finalde-lodos-de-et-as-e-et-es/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

MANCUSO, P. C. S. **Reúso de água**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2003. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=ATxDFRuxlnUC&oi=fnd&pg=PR13>.

MARTINS, C. D. C.; GOMES, F. B. A.; FERREIRA, J. A.; MONTONE, R. C. **Marcadores orgânicos de contaminação por esgotos sanitários em sedimentos superficiais da Baía de Santos, São Paulo**. *Química Nova*, v. 31, p. 1008-1014, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/JPcf4QHW7gjfGXnThcxDrnp/>.

METCALF & EDDY et al. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. McGraw Hill Education, 2014.

PERES, L. J. S.; HUSSAR, G. J.; BELI, E. **Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora**. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 7, n. 1, p. 20-36, 2010. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1010&article=460&mode=pdf>.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Relatório de Desenvolvimento Humano 2015**: O trabalho como motor do desenvolvimento humano. Nova Iorque: PNUD, 2015. Disponível em: <https://hdr.undp.org>. Acesso em: 18 nov. 2024.

QUARTZOLIT. **Cimentcola flexível ACIII cinza Quartzolit**. Boletim técnico, Rev. 01/2019. Disponível em: https://www.quartzolit.weber/files/br/2019-06/BT_-_cimentcola_flexivel_ACIII_cinza_quartzolit_REV.01.2019.pdf. Acesso em: 22 nov. 2024.

RODRIGUES, R.B. **Modelagem dos poluentes orgânicos em corpos d'água superficiais**. In: Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. NUVOLARI, A. (coordenador).

ROSA, M. N.; TEIXEIRA, D.; HORA, K. E. R. **Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas**. *Saúde e Sociedade*, v. 32, p. e201040pt, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/sausoc/2023.v32n2/e201040pt/>.

SANTOS, F. N. B. **Análise comparativa dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018. Trabalho de conclusão de curso. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31029>.

SILVA FILHO, P. A. D. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/16020>.

STREETER, H.W.; PHELPS, E.B. A study of the natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin 146, U.S. Public Health Service, Washington, 1925.

TONETTI, A. L. et al. **Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, p. 209-218, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/kfn63d5kHtBLjrYFBxrQpvz/?lang=pt&format=html>.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. *Journal of the American Water Works Association*, v. 95, n. 5, p. 201, maio 2003. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/82d18bbd088cd47b8eee58569f8f6a36/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142>.

UNESCO. Organização das Nações Unidas. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. Soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Paris, 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Sustainability in action: tackling rural wastewater management for environmental conservation**. Nairobi: UNEP, 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Materiais e Métodos de Engenharia Civil: Processos de Corte e Empolamento de Solo**. São Paulo: USP, [ano de publicação]. Disponível em: <https://www.usp.br>. Acesso em: 22 nov. 2024.

VIAPOL. **Viapulus Dique**. Ficha técnica, 24 nov. 2016. Disponível em: <https://viapol.com.br/media/189130/ft-viapulus-dique-24-11-2016.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA17>.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. *Boletim Wetlands Brasil*, edição especial, p. 2359-0548, 2018. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-1.pdf>.

WORLD BANK. **Wastewater**: From waste to resource - The case of Nagpur, India. Washington, DC: World Bank Group, 2019.