

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NICOLAS ROSA

TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO UNIFAMILIAR:  
UM BIODIGESTOR ARTESANAL SEGUIDO DE UM *WETLAND* DE FLUXO  
VERTICAL

PONTAL DO PARANÁ  
2025

NICOLAS ROSA

TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO UNIFAMILIAR:  
UM BIODIGESTOR ARTESANAL SEGUIDO DE UM *WETLAND* DE FLUXO  
VERTICAL

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Setor de Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani

PONTAL DO PARANÁ  
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Avenida Deputado Anibal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR,  
CEP 83255-976 Telefone: 4135118600 - <https://ufpr.br/>

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

NICOLAS ROSA

### **TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO UNIFAMILIAR: UM BIODIGESTOR ARTESANAL SEGUIDO DE UM WETLAND DE FLUXO VERTICAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - UFPR  
Presidente

Profa. Dra. Sílvia Pedroso Melegari - UFPR

Mestranda Serena Suhnel Lagreze - UFPR

Pontal do Paraná, 04 de julho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI**,  
**PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 09:53, conforme art. 1º, III, "b", da  
Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **SILVIA PEDROSO MELEGARI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 20:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Serena Sühnel Lagreze, Usuário Externo**, em 09/07/2025, às 20:11, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **7870011** e o código CRC **F85BA28D**.

---

Rua XV de Novembro, 1299 – Centro – CEP: 80.060-000 – Curitiba-PR  
Fone (41) 3360-5187 – E-mail: [contratos@ufpr.br](mailto:contratos@ufpr.br)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e inspiração diárias, guiando-me através desta jornada com fé e perseverança.

Um especial agradecimento aos meus pais, Marcos Aurelio Rosa e Heber Alves Costa, cujo amor, sacrifício e apoio incondicional foram a base sólida sobre a qual construí minhas aspirações e realizações. Vocês são os pilares da minha vida e desta conquista.

Ao meu irmão Alexandre Rosa, agradeço pela parceria e pelos momentos de leveza e motivação nos períodos mais desafiadores desta trajetória.

Estendo meus agradecimentos a toda minha família, cujo encorajamento e suporte emocional foram essenciais para que eu persistisse até o fim deste caminho acadêmico.

A minha grande parceira, Luiza Portugal Faria, agradeço pela parceria em todos os momentos dessa trajetória, motivando nos momentos mais críticos dessa caminhada.

Ao meu orientador, Fernando Augusto Silveira Armani, pela orientação e conhecimento compartilhados nessa etapa.

A banca examinadora, pela dedicação do tempo em avaliar e aprimorar este trabalho. A todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

“Não podemos resolver os nossos problemas com o mesmo pensamento  
que usamos quando os criamos.”  
Albert Einstein

## RESUMO

O presente estudo apresenta o desenvolvimento, dimensionamento, implementação e avaliação preliminar de um sistema descentralizado de tratamento de efluentes domésticos, concebido para atender à realidade socioambiental da comunidade insular de Eufrasina, no município de Paranaguá (PR). A proposta surge como alternativa de baixo custo e alta adaptabilidade para comunidades isoladas que enfrentam restrições estruturais, econômicas e logísticas, tornando inviável a adoção de soluções de saneamento convencionais. O sistema implantado integra um biodigestor artesanal e uma unidade de *wetland* construído de fluxo vertical, ambos seguindo as recomendações de funcionamento das normas técnicas e na literatura científica nacional e internacional. A construção priorizou o uso de materiais recicláveis e de fácil obtenção local, como bombonas plásticas, resíduos de construção civil e plásticos PET. O *wetland* foi instalada em uma caixa d'água recondicionada de 500 litros, preenchida com substratos reaproveitados e vegetada com *X. sagittifolium* (taioba), macrófita nativa com comprovada eficiência em fitorremediação. Estudos de referência indicam que sistemas semelhantes podem alcançar remoções de poluentes superiores a 70%. Embora ainda em fase inicial de operação, os resultados projetados revelam elevado potencial técnico e socioeconômico, reforçando a viabilidade de replicação em comunidades periféricas, rurais e insulares. A participação ativa da comunidade na execução favoreceu a apropriação social e sua manutenção a longo prazo.

Palavras-chave: *Wetland* construído; Saneamento descentralizado; Efluente doméstico; Comunidades isoladas.

## ABSTRACT

This study presents the development, design, implementation, and preliminary evaluation of a decentralized domestic wastewater treatment system, tailored to the socio-environmental context of the island community of Eufrasina, located in the municipality of Paranaguá (Paraná, Brazil). The proposed solution emerges as a low-cost, highly adaptable alternative for isolated communities facing structural, economic, and logistical constraints that make conventional sanitation systems unfeasible. The implemented system integrates a handmade biodigester and a vertical flow constructed *wetland* unit, both aligned with the operational recommendations established by national and international technical standards and scientific literature. The construction prioritized the use of recyclable and locally available materials, such as plastic barrels, construction debris, and PET bottles. The *wetland* was installed in a refurbished 500-liter water tank, filled with repurposed substrates and planted with *X. sagittifolium* (taioba), a native macrophyte known for its phytoremediation efficiency. Reference studies indicate that similar systems can achieve pollutant removal rates exceeding 70%. Although still in its early operational phase, the projected results demonstrate significant technical and socioeconomic potential, reinforcing the feasibility of replication in peripheral, rural, and insular communities. The active involvement of the community in the implementation process promoted social ownership and long-term maintenance of the system.

Keywords: Constructed *wetland*; Decentralized sanitation; Domestic wastewater treatment; Isolated communities.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	FLUXOGRAMA DE SISTEMA DESCENTRALIZADO PARA LOCAIS SEM DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	22
FIGURA 2	FLUXOGRAMA DE SISTEMA DESCENTRALIZADO PARA LOCAIS COM DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	22
FIGURA 3	CORTE DE TANQUE SÉPTICO.....	23
FIGURA 4	DESENHO ESQUEMÁTICO DO BIODIGESTOR ARTESANAL.....	26
FIGURA 5	DESENHO ESQUEMÁTICO GENÉRICO DE UM <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO.....	28
FIGURA 6	ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL DO <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO HORIZONTAL.....	29
FIGURA 7	ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL DO <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL.....	30
FIGURA 8	MAPA DA LOCALIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE EUFRASINA, LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	34
FIGURA 9	ESQUEMATIZAÇÃO DO BIODIGESTOR UTILIZADO NA COMUNIDADE.....	38
FIGURA 10	ESQUEMATIZAÇÃO DO <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL.....	40
FIGURA 11	BIODIGESTOR ARTESANAL NO LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO...	42
FIGURA 12	NIVELAMENTO DA CAIXA D'ÁGUA E POSICIONAMENTO DO MATERIAL FILTRANTE.....	43
FIGURA 13	EQUIPE TRABALHANDO NO AJUSTE DO MATERIAL FILTRANTE.	43
FIGURA 14	COLETA DE MUDAS DE <i>X. SAGITTIFOLIUM</i> E NIVELAMENTO DA BRITA Nº1 .....	44
FIGURA 15	SISTEMA <i>WETLAND</i> FINALIZADO PARA OPERAÇÃO.....	45

## LISTA DE TABELA

TABELA 1	DADOS DIMENSIONADOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO.....	41
----------	---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO** – Demanda Química de Oxigênio
- ETEZR** – Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes
- FUNASA** – Fundação Nacional de Saúde
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- NBR** – Norma Brasileira
- OD** – Oxigênio Dissolvido
- ODS** – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- PLANSAB** – Plano Nacional de Saneamento Básico
- PNSB** – Política Nacional de Saneamento Básico
- RAB-A** – Reator Anaeróbico Biodigestor Artesanal
- SINISA** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- SST** – Sólidos Suspensos Totais
- TDS** – Total Dissolved Solids (Sólidos Dissolvidos Totais)
- TDH** – Tempo de Detenção Hidráulica
- TB** – Tanque Biodigestor
- TSS** – Total Suspended Solids (Sólidos Suspensos Totais)
- UNICEF** – Fundo das Nações Unidas para a Infância

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1	SANEAMENTO BÁSICO.....	16
2.1.1	Situação da coleta e tratamento de esgoto no Brasil.....	17
2.2	TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO.....	18
2.3	SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	19
2.4	SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ZONA RURAL.....	20
2.5	TANQUE SÉPTICO.....	23
2.6	FILTRO ANAERÓBIO.....	24
2.7	BIODIGESTORES ARTESANAIS .....	25
2.8	<i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS.....	27
2.8.1	Tipologia do fluxo dos <i>Wetlands</i> construídos.....	29
2.8.2	Meio filtrante.....	31
2.8.3	Macrófitas.....	31
2.8.4	Atividade microbiana.....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1	ÁREA DO ESTUDO.....	34
3.2	CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO PARA BIODIGESTOR ARTESANAL.....	35
3.3	CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO PARA <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR ARTESANAL.....	37
4.2	DIMENSIONAMENTO DO <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO.....	39
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico constitui um dos pilares fundamentais da saúde pública, e do bem-estar do ser humano. Na percepção de Netto (2019), o saneamento básico compreende um conjunto de serviços essenciais, como o abastecimento de água potável, o tratamento de esgoto e o manejo adequado de resíduos sólidos, cujo objetivo é prevenir doenças e proteger o meio ambiente. Apesar de sua relevância, segundo a Unicef (2021), aproximadamente dois bilhões de pessoas no mundo ainda utilizam fontes de água contaminadas ou carecem de infraestrutura de saneamento, ficando expostas a doenças de veiculação hídrica.

No Brasil, a realidade é igualmente desafiadora, sobretudo em comunidades isoladas, onde o acesso ao saneamento é precário. Em áreas rurais e insulares, Silva (2023) e Von Sperling (2013) ilustram dependência de soluções rudimentares, como fossas rudimentares, o que acentua os riscos de contaminação do solo e da água, comprometendo diretamente a saúde pública. Souza *et al.* (2022) salienta que essas deficiências refletem desigualdades nas regiões periféricas que frequentemente carecem de coleta e tratamento de esgoto adequado.

O Marco Legal do Saneamento Básico, instituído pela Lei nº 14.026 de 2020, atualizando a Lei 11.445 de 2007, surgiu para transformar esse cenário precário, estabelecendo diretrizes e metas para universalizar os serviços de saneamento no Brasil até 2035. Contudo, há inúmeros percalços a serem vencidos, pois locais remotos são desprovidos quanto a coleta e tratamento dos efluentes sanitários. Para atender a essas localidades, a norma NBR 17076 de 2024 apresenta diretrizes específicas para sistemas de tratamento de esgoto de pequeno porte. Nas elucidações de Lazzaretti (2012) e Ribeiro e Rooke, (2010) a norma retrata a importância das tecnologias descentralizadas, de fácil operação e manutenção, adaptadas às condições locais, elementos essenciais para ampliar o acesso ao saneamento.

Nesse contexto, os sistemas descentralizados são relevantes perante o cenário de isolamento em infraestrutura sanitária. A escolha do modelo a ser empregado deve considerar as características e exigências locais, contribuição de efluente, viabilidade econômica e social do projeto (Pires, 2012).

Sistemas de tratamento como os biodigestores e *wetlands* construídos, configuram-se como alternativas viáveis para áreas com baixa densidade populacional e ausência de infraestrutura de saneamento convencional. De acordo com Jordão e Pessôa (2011), o tanque séptico é capaz de remover cerca de 50% dos sólidos suspensos e 30% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), enquanto o filtro anaeróbio pode elevar essa eficiência para até 85% na remoção da DBO. Nesse sentido, o biodigestor artesanal visa alcançar resultados semelhantes de forma compacta.

Os *wetlands* construídos, de acordo com Von Sperling (2014), caracterizam-se por áreas alagadas ou zonas úmidas, onde o efluente doméstico percorre os canais rasos, que abrigam plantas macrófitas e mecanismos biológicos, químicos e físicos para tratar o esgoto. Sendo o sistema de tratamento predominante aeróbio. Para Rodriguez-Dominguez *et al.* (2020) e Schroeder *et al.* (2022), o sistema de tratamento preliminar serve como complemento para qualificar o esgotamento sanitário doméstico.

Os estudos de Chen *et al.* (2024) reforçam a viabilidade dos *wetlands* construídos como solução de longo prazo para o controle da poluição em recursos hídricos. De forma convergente, Costa *et al.* (2011) e Filho (2022) destacam que tais sistemas podem alcançar eficiência de até 90% na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, mantendo os efluentes dentro dos padrões de segurança ambiental.

Além disso, esses sistemas apresentam baixos custos operacionais e de manutenção, sendo especialmente indicados para contextos descentralizados (ACHON, 2023; SOARES, 2022; KADLEC e WALLACE, 2009). Para Bezerra (2024), considera que esses sistemas de tratamento descentralizados não apenas otimizam a gestão de esgotos, como também promovem inclusão social, sendo fundamentais para comunidades com infraestrutura limitada.

Neste contexto, este estudo apresenta a construção de um sistema descentralizado deste trabalho constituído por um sistema biodigestor artesanal associado a um *wetland* construído de fluxo vertical. O sistema visou atender quatro pessoas de duas residências, na região da comunidade insular de Eufrasina, localizada no município de Paranaguá.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

As comunidades rurais e insulares historicamente enfrentam carência de infraestrutura adequada. Nessas localidades, a ausência de redes de coleta e tratamento de esgoto compromete não apenas a qualidade de vida, mas também a integridade dos recursos naturais que sustentam essas populações. Para Almeida e Predes (2021), essa deficiência no saneamento básico está diretamente relacionada à proliferação de doenças de veiculação hídrica, à contaminação do solo e à degradação dos corpos hídricos. Em Paranaguá, por exemplo, a desigualdade no acesso ao saneamento em áreas remotas, como apontado por Nocko (2020), evidencia a urgência de soluções alternativas, eficazes e adaptáveis.

Nesse cenário, iniciativas como o projeto de saneamento “Comunidades Sustentáveis”, promovido pela Portos do Paraná em parceria com a Universidade Federal do Paraná, têm demonstrado a relevância do emprego de tecnologias descentralizadas no tratamento de efluentes domésticos em comunidades da Baía de Paranaguá (PARANÁ, 2023). Essas ações estão alinhadas tanto ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 da Agenda 2030 da ONU, que defende o acesso universal ao saneamento e à higiene com foco em populações vulneráveis (WHO, 2021), quanto à Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), que estabeleceu metas de universalização do saneamento até 2035, determinando que pelo menos 90% da população tenha acesso ao tratamento de esgoto.

As soluções como biodigestores associados a *wetlands* construídos destacam-se como alternativas eficazes para comunidades não atendidas por infraestrutura pública (NADUR, 2022). Estudos como os de Pinto *et al.* (2017) demonstram seu elevado desempenho no tratamento de esgoto, aliados ao baixo custo de implantação e à adaptabilidade às condições locais. Ademais, a recente NBR 17076/2024 confere respaldo normativo ao estabelecer parâmetros técnicos e operacionais para sistemas de pequeno porte, garantindo maior segurança, padronização e confiabilidade à aplicação dessas tecnologias (SILVA, 2024; BEZERRA, 2024).

Dessa forma, este trabalho justifica-se pela necessidade concreta de oferecer uma solução de saneamento rural e insular fundamentada em evidências científicas, respaldada por normas técnicas e integrada ao arcabouço legal vigente, contribuindo

para a promoção do saneamento básico universal e sustentável na comunidade de Eufrasina, no município de Paranaguá.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi dimensionar e implementar um sistema estático de tratamento descentralizado de efluentes domésticos, composto por um biodigestor artesanal e um *wetland* construído de fluxo vertical, adaptado às condições socioambientais da comunidade de Eufrasina, em Paranaguá.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar um sistema de tratamento descentralizado de esgoto doméstico, composto por biodigestor anaeróbio e *wetland* construído, adequado às condições locais;
- Implantar o sistema em duas residências da comunidade de Eufrasina, no município de Paranaguá.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico desempenha um papel fundamental, pois segundo Roubicek (2020), envolve o abastecimento de água potável, a coleta e o tratamento de esgoto, a limpeza urbana e a gestão de resíduos sólidos, incluindo a redução e a reciclagem de resíduos. Essa definição evidencia a complexidade das ações envolvidas e amplia a percepção sobre o tema.

Borja (2006) destaca que fatores culturais e socioeconômicos influenciam essa percepção, exigindo que as políticas públicas sejam adaptadas às realidades locais. Athaydes *et al.* (2020) relatam que, historicamente, práticas inadequadas, como o despejo de resíduos em corpos hídricos sem tratamento, causaram sérios impactos ambientais. Nesse sentido, Von Sperling (2005) explica que a poluição,

quando introduzida nos corpos d'água, altera suas características e compromete seus usos legítimos. Essa deficiência, para Garcia e Ferreira (2017) e Azeredo e De Castro (2022), está intimamente ligada aos direitos relacionados à saúde pública e ao manejo ambiental, contribuindo para a incidência de doenças de origem infecciosa.

Como aponta Mota *et al.* (2015), o saneamento básico frequentemente recebe pouca atenção por parte dos governos, devido à baixa visibilidade das obras subterrâneas, o que agrava os problemas sanitários e ambientais, afetando populações vulneráveis e acentuando desigualdades sociais. Nesse contexto, o manejo eficaz dos resíduos sólidos e a coleta adequada do esgoto tornam-se componentes cruciais, uma vez que, conforme ressalta Miranda (2023), a gestão correta desses resíduos impacta diretamente a qualidade de vida das comunidades. Complementarmente, Souza *et al.* (2022) destacam que, embora haja uma tendência à privatização dos serviços, a gestão pública e local tem desempenhado papel fundamental no sucesso da implantação do saneamento em diversos países.

Para alcançar avanços nessa área, Vasconcelos *et al.* (2023) enfatizam ser imprescindível adotar processos inovadores, como o uso de técnicas alternativas para o tratamento de resíduos e águas residuais. Nesse mesmo cenário, Santos e Vasques (2021) argumentam que o saneamento é parte integrante da infraestrutura necessária para que uma moradia seja considerada adequada, tornando seu investimento essencial para a regularização urbanística. Portanto, Mota (2014) e Silva *et al.* (2023), enfatizam que o saneamento básico constitui um campo interdisciplinar inserido nas políticas públicas, exigindo integração efetiva entre Estado e sociedade.

### 2.1.1 Situação da coleta e tratamento de esgoto no Brasil

O Brasil, nesse sentido, se destaca na dinâmica do saneamento básico, diretamente relacionada ao crescimento urbano. Segundo Costa (1994), o processo acelerado de urbanização a partir da década de 1950, impulsionado pela industrialização, despertou preocupações com a saúde e o bem-estar da população. Nesse cenário, a promulgação da Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020) estabeleceu metas claras de universalização do saneamento até 2035, determinando que, até o fim do prazo, pelo menos 90% da população tenha acesso ao tratamento de esgoto.

Apesar desse marco legal, o relatório do SINISA (2024) evidencia que apenas 59,7% da população total do país é atendida com rede de coleta de esgoto e, do volume coletado, 78,6% recebe algum tipo de tratamento.

Achon (2023) reforça que a Lei nº 14.026/2020 é estratégica para o setor de esgotamento sanitário, ao estabelecer diretrizes que ampliam a cobertura e melhoram a qualidade dos serviços. No entanto, Neto (2022), adverte que as metas previstas ainda não foram plenamente cumpridas, destacando falhas de implementação, descontinuidade das políticas e falta de prioridade ao esgotamento sanitário, fatores que contribuem para acentuar desigualdades regionais.

As áreas rurais, segundo Pereira (2023), enfrentam desafios ainda maiores, uma vez que a carência de infraestrutura expõe suas populações a riscos sanitários mais elevados. O relatório do SINISA (2024), demonstra que apenas 2,2% dos domicílios rurais do país são atendidos com rede de coleta de esgoto. Portanto, o distanciamento dos centros urbanos, associado à precariedade estrutural dessas localidades, evidencia a necessidade de soluções alternativas e adaptadas.

## 2.2 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO

O significado do esgoto sanitário ou águas residuárias, podem ser formadas pelas contribuições de diversas fontes, sendo desde origens domésticas, industriais, águas de infiltração e parcelas de águas pluviais (FUNASA, 2016).

Na ausência de descargas relevantes provenientes de fontes industriais, a constituição típica do esgoto doméstico tende a se manter estável, sendo formada predominantemente por água, cerca de 99,9% do total. Os 0,1% restantes correspondem a contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo sólidos em suspensão e microrganismos diversos (VON SPERLING, 2014).

Quando descartado sem o devido tratamento, o esgoto representa um grave risco ambiental, principalmente em razão da elevada demanda de oxigênio requerida para a degradação da matéria orgânica presente. Tal condição compromete o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, prejudicando diretamente a biodiversidade e afetando negativamente a fauna e a flora dos corpos d'água receptores (KUNHIKRISHNAN *et al.*, 2012). Para isso, o esgoto coletado em áreas urbanas é geralmente submetido a sistemas de tratamento convencionais, os quais são

estruturados em etapas sucessivas: preliminar, primária, secundária e terciária, também chamada de tratamento avançado (METCALF e EDDY, 2016).

Essas fases visam, sobretudo, a remoção de sólidos, com destaque para compostos de origem orgânica. Os mesmos autores, retratam que a fase preliminar tem como principal objetivo a remoção de materiais físicos presentes no efluente, como sólidos grosseiros, areia e substâncias graxas. Na etapa primária, busca-se eliminar os sólidos suspensos e parte da matéria orgânica, utilizando predominantemente métodos físicos, como a sedimentação. O tratamento secundário é voltado à degradação da matéria orgânica biodegradável e à remoção de sólidos remanescentes, por meio de processos biológicos e, em alguns casos, complementado por métodos químicos. Por fim, o tratamento terciário visa o polimento do efluente, promovendo a remoção de sólidos residuais, microrganismos patogênicos e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, empregando técnicas físicas, químicas e biológicas mais avançadas.

Para Jordão e Pessoa (2011), a seleção do nível de tratamento aplicado ao esgoto deve considerar múltiplos fatores, incluindo a composição físico-química e biológica do efluente, os usos previstos para a água a jusante do ponto de lançamento, as condições ambientais do corpo hídrico receptor e as exigências estabelecidas pela legislação vigente.

A normatização dos critérios de qualidade exigidos para o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores foi inicialmente estabelecida pela Resolução nº 357, de 2005 e complementada pela nº 430, de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa regulamentação define os parâmetros, limites e condições técnicas a serem observados para assegurar a adequada gestão ambiental dos lançamentos líquidos em águas superficiais, garantindo a proteção dos ecossistemas aquáticos e o cumprimento das diretrizes legais vigentes.

### 2.3 SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto desempenha papel fundamental na redução dos impactos ambientais, sendo diretamente condicionado por fatores técnicos, geográficos e socioeconômicos do local de implantação.

Segundo Kipnis e Castro (2020), os sistemas de esgotamento sanitário podem ser agrupados em duas categorias principais: centralizados e

descentralizados, a depender da escala de atendimento e da complexidade da infraestrutura. Os mesmos autores, consideram que os sistemas descentralizados compreendem arranjos voltados a unidades domiciliares, pequenos conjuntos habitacionais ou comunidades, com capacidade limitada a aproximadamente 90 habitantes, dividindo-se em modalidades unifamiliares, semi-coletivas ou comunitárias.

Em regiões rurais ou em localidades geograficamente isoladas, onde a infraestrutura pública de esgoto é ausente ou inviável, os sistemas descentralizados despontam como alternativas mais acessíveis. Arranjos como tanques sépticos, filtros anaeróbios e *wetlands* se adequam bem a esses cenários, apresentando baixo custo inicial, facilidade de implantação e manutenção simplificada. Essas tecnologias podem ser projetadas de modo a atender os padrões sanitários, contribuindo para a mitigação de riscos microbiológicos, frequentemente monitorados por indicadores como a concentração de coliformes termotolerantes (SILVA, 2023; FUNASA, 2004). Por empregarem predominantemente mecanismos naturais, tais sistemas configuram-se como alternativas sustentáveis (MATSUMOTO, 2023). No entanto, o desempenho satisfatório desses sistemas descentralizados depende da aplicação criteriosa de normas técnicas e de rotinas de manutenção periódica, que devem considerar aspectos como relevo, clima e disponibilidade de materiais locais (ACHON, 2023). Portanto, os modelos descentralizados possuem benefícios e limitações que precisam ser avaliados conforme o contexto ambiental, social e econômico de cada região.

#### 2.4 SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ZONA RURAL

Devido ao afastamento dos centros urbanos e à inexistência de rede pública coletora de esgoto nas proximidades, comunidades rurais e isoladas podem recorrer à implantação de sistemas descentralizados para o tratamento de efluentes domésticos. Segundo a FUNASA (2020) os sistemas podem ser projetados tanto para uso individual quanto coletivo, conforme a necessidade e a estrutura da localidade. As soluções individuais têm como objetivo realizar o tratamento e a disposição final do esgoto no próprio imóvel onde o resíduo é gerado, promovendo autonomia sanitária e adaptabilidade às limitações geográficas e infraestruturais.

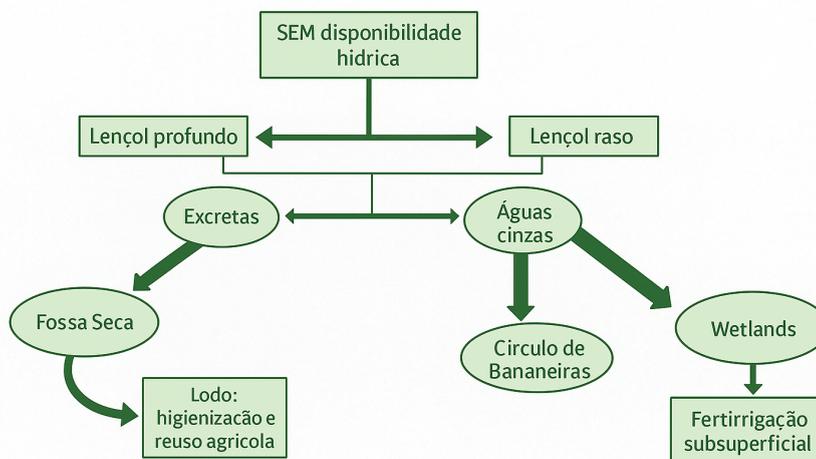
Diante disso, os sistemas descentralizados de esgotamento sanitário emergem como soluções eficazes para pequenas comunidades e assentamentos afastados de áreas urbanas (PEREIRA, 2023). Esses sistemas viabilizam a coleta e o tratamento local dos efluentes, reduzindo custos operacionais e simplificando a gestão.

Nesse cenário, a revisão normativa introduzida pela NBR 17.076/2024 representa um marco relevante no aprimoramento do tratamento de esgoto em unidades de pequeno porte, ao substituir e atualizar as diretrizes das antigas NBR 7229/1993 e NBR 13.969/1997. A nova norma amplia o escopo técnico ao incorporar soluções mais modernas, como os sistemas de *wetlands* construídos, que até então não eram oficialmente reconhecidos como alternativas relevantes. Com essa inclusão, a regulamentação passa a oferecer critérios mínimos de dimensionamento e operação para tais tecnologias, proporcionando maior respaldo técnico e segurança na implantação de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes sanitários.

A escolha da tecnologia apropriada deve considerar a aceitabilidade social, fator determinante para o êxito da implantação (MASSOUD, 2008). Os diagnósticos participativos são fundamentais para compreender as necessidades e a realidade de cada comunidade, orientando o desenvolvimento de soluções condizentes com o contexto local (FIGUEIREDO, 2019).

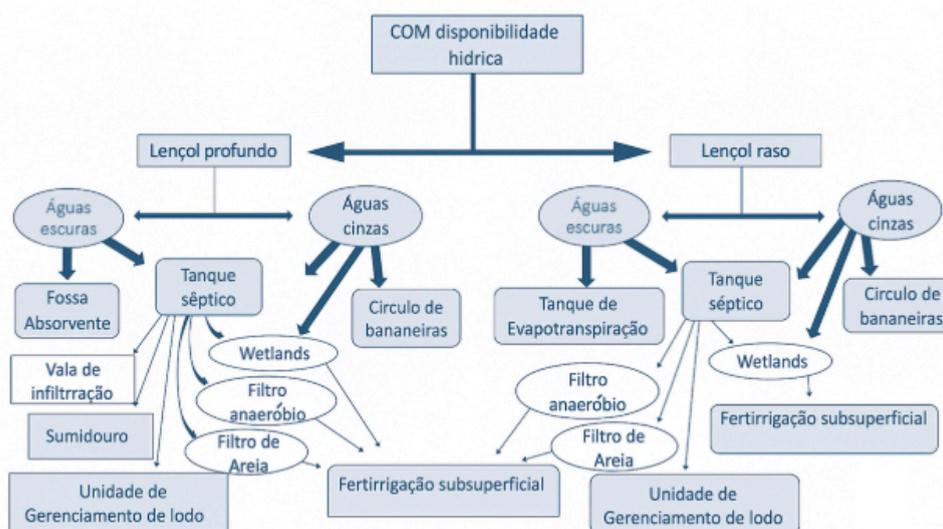
O Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR) define critérios técnicos para orientar a seleção das tecnologias individuais destinadas ao tratamento de esgoto doméstico. Entre os principais parâmetros considerados estão a disponibilidade hídrica local, a profundidade do lençol freático e a necessidade de separação entre as águas residuárias (BRASIL, 2019). Com base nesses critérios, o PNSR apresenta fluxogramas que orientam a escolha de sistemas descentralizados, tanto para contextos com escassez de recursos hídricos quanto para regiões com acesso a água. Esses fluxos decisórios estão representados nas FIGURAS 1 e 2, que ilustram as alternativas recomendadas para cada cenário.

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA LOCAIS SEM DISPONIBILIDADE HÍDRICA



FONTE: Modelo adaptado de Brasil (2019).

FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA LOCAIS COM DISPONIBILIDADE HÍDRICA



FONTE: Modelo adaptado de Brasil (2019).

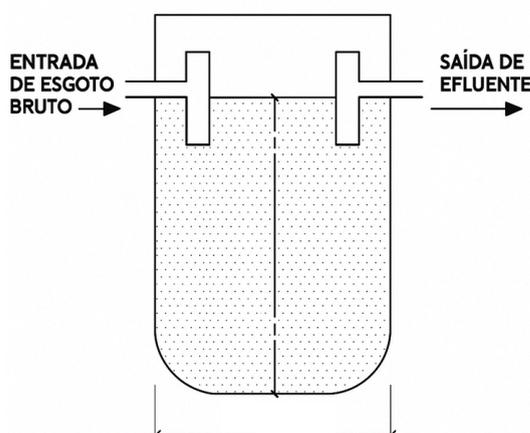
Os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto configuram-se como alternativas essenciais para comunidades isoladas. A combinação de biodigestores com *wetlands* construídos, como as zonas de raízes, apresenta-se como uma solução eficaz e adaptável às especificidades dessas regiões (MERCADO, 2018). Além de atender aos critérios técnicos, essas abordagens favorecem o engajamento comunitário, contribuindo para a eficiência e a durabilidade dos sistemas implantados. A adoção de sistemas descentralizados, especialmente em áreas rurais e comunidades isoladas, auxilia na prevenção da contaminação do solo e dos lençóis freáticos, bem como evita o descarte a céu aberto e a consequente sobrecarga de matéria orgânica nos corpos hídricos (SILVA, 2014).

## 2.5 TANQUES SÉPTICOS

De acordo com a NBR 17.076/2024, o tanque séptico consiste em uma unidade de tratamento de esgoto com escoamento horizontal, onde predominam os processos físicos de sedimentação e flotação, aliados à digestão.

Complementando o conceito da norma técnica, Von Sperling (2007) destaca que os tanques sépticos ou fossas sépticas, operam como unidades de tratamento primário. Nesses sistemas, ocorre a separação dos sólidos em suspensão por meio de sedimentação, permitindo que esses materiais permaneçam por um período suficiente para sua estabilização, sendo posteriormente removidos por procedimentos de manutenção. A FIGURA 3 ilustra o corte de um tanque séptico em funcionamento.

FIGURA 3 - CORTE DE TANQUE SÉPTICO.



FONTE: Adaptado da NBR 17076/2024.

Jordão e Pessôa (2011), em consonância com os parâmetros normativos, afirmam que o tanque séptico é projetado para receber efluente doméstico, proporcionando um nível de tratamento compatível com sua estrutura simples e baixo custo operacional. Além da sedimentação física, há a transformação biológica dos compostos orgânicos presentes, os quais são degradados em substâncias mais simples e estáveis por meio de processos anaeróbios.

Tonetti *et al.* (2018) acrescenta que, embora o tanque séptico possa processar diferentes tipos de esgoto doméstico, sua eficiência pode ser prejudicada caso receba águas pluviais ou efluentes provenientes de fontes não apropriadas, como produtos de limpeza proveniente da higienização do vaso sanitário, podendo comprometer o equilíbrio do processo de tratamento.

Quando devidamente projetado e operado, o tanque séptico pode alcançar níveis consideráveis de remoção de poluentes. Segundo Scalize e Bezerra (2020), a eficiência na retenção de sólidos suspensos gira em torno de 60%, enquanto a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) varia entre 30% e 45%. De forma semelhante, a remoção de coliformes fecais ou termotolerantes pode alcançar índices de 25% a 75%. Em consonância com esses dados, Jordão e Pessôa (2011) relatam uma eficiência média de aproximadamente 50% na retenção de sólidos e 30% na redução da DBO. No entanto, diferentemente do primeiro estudo, os autores destacam que a ausência de manutenção periódica, como a limpeza adequada do sistema, pode comprometer significativamente o desempenho do tratamento.

## 2.6 FILTRO ANAERÓBIO

De acordo com a NBR 17.076/2024, os filtros anaeróbios são caracterizados como reatores biológicos de fluxo ascendente, nos quais o tratamento do esgoto ocorre através da atuação de microrganismos anaeróbios. Esses microrganismos se desenvolvem tanto nos vazios do reator quanto aderidos às superfícies do meio suporte ou material de enchimento. A norma também destaca que a eficiência dos processos anaeróbios é diretamente influenciada por fatores como a temperatura do esgoto e o tempo de detenção hidráulica.

Para garantir uma sedimentação eficaz dos sólidos e uma adequada purificação biológica da fração líquida, é recomendado que os tanques sépticos

operem com tempo de detenção entre 12 e 24 horas. No caso específico dos filtros anaeróbios, a atividade microbiológica é favorecida quando a temperatura do efluente se mantém acima de 20 °C, sendo idealmente entre 25 °C e 38 °C. Isso ocorre porque o aumento da temperatura favorece a aceleração das reações químicas e biológicas envolvidas nos processos de tratamento, atuando como um catalisador natural dentro do filtro anaeróbio. Dessa forma, temperaturas mais elevadas intensificam a atividade microbiológica, promovendo maior eficiência na degradação da matéria orgânica e na estabilização do efluente (BAUMGARTEN e POZZA, 2001).

Complementando as orientações da NBR 17.076/2024, Von Sperling (2007) e Tonetti (2018) definem o filtro anaeróbio como uma tecnologia de tratamento que promove a estabilização da matéria orgânica carbonácea em condições anaeróbias. Esse processo ocorre por meio da ação de bactérias que se fixam ao material suporte, comumente composto por pedras ou elementos similares. Para seu funcionamento eficiente, é indispensável que o efluente passe por uma etapa de decantação primária anterior, geralmente realizada em tanques sépticos.

Na pesquisa realizada por Mombach (2016) revelam que filtros anaeróbios em atuação prática, apresentam um desempenho modesto na remoção de poluentes, com eficiências médias de 52,28% para sólidos sedimentáveis, 20,36% para demanda química de oxigênio (DQO), 32,96% para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), 20,69% para óleos e graxas, e 96,47% para coliformes termotolerantes.

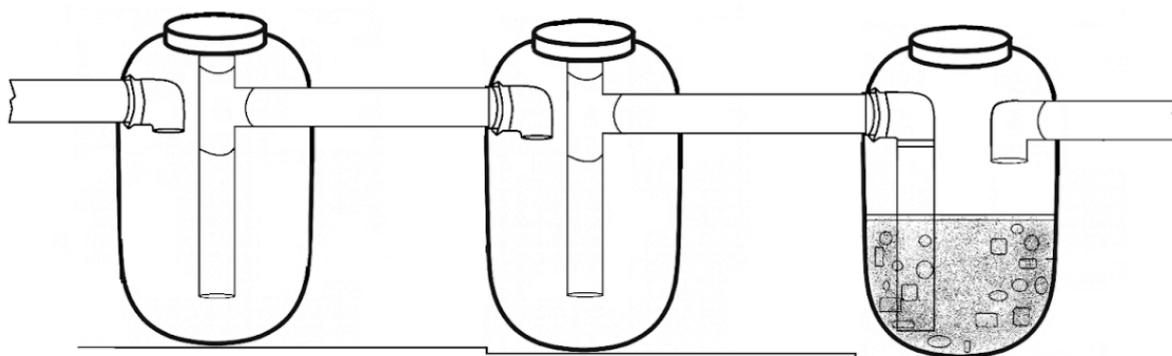
Em contraste, Jordão e Pessoa (2011) destacam que filtros anaeróbios bem projetados e adequadamente operados podem alcançar eficiências muito superiores na remoção de matéria orgânica, com taxas variando entre 70% e 85% para DBO. Essa eficácia é atribuída à intensa atividade microbiológica dentro do reator, onde forma-se o biofilme e ocupa os espaços vazios, proporcionando condições ideais para a degradação anaeróbia dos compostos orgânicos.

## 2.7 BIODIGESTORES ARTESANAIS

Dentre essas soluções, destaca-se como uma estratégia viável e eficaz para o tratamento de efluentes domésticos, a união das funções de um tanque séptico e filtro anaeróbio, a combinação entre tanques sépticos e filtros anaeróbios, pode

ampliar significativamente a eficiência do tratamento de esgoto. De acordo com Azevedo *et al.* (1977), esse arranjo de sistema pode ser capaz de atingir as eficiências de 40% a 60% na remoção de microrganismos patogênicos. As pesquisas These (2021) e Eckelberg *et al.* (2023), utilizando sistemas similares, evidenciam essa união de funções de tanque séptico e filtro anaeróbio, onde os sistemas utilizam bombonas em série, as duas primeiras tendo a função de tanque séptico e a terceira como filtro anaeróbio. A FIGURA 4 exibe um modelo de biodigestor.

FIGURA 4 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO BIODIGESTOR ARTESANAL.



FONTE: Autor (2025).

Os biodigestores anaeróbios são sistemas amplamente utilizados no tratamento de efluentes orgânicos. Como define Arruda *et al.* (2002) e Gaspar (2003), os biodigestores são recipientes fechados e controlados (bombonas ou construídos com alvenaria), sendo um ambiente interno ausente de oxigênio, promovendo a decomposição da matéria orgânica através da ação de microrganismos (como bactérias) em que ocorrem processos anaeróbios.

Para Amaral *et al.* (2019), esse processo resulta na produção de biogás e na geração de biofertilizantes. Portanto, para Costa e Jacob (2018), o uso de biodigestores no tratamento de esgoto representa uma etapa essencial na degradação da matéria orgânica, promovendo a estabilização do efluente.

Portanto, a adoção de biodigestores representa um importante avanço no saneamento de comunidades rurais, por oferecerem soluções acessíveis, no entanto, é fundamental considerar as limitações de cada sistema. Na observação de

Fernando e Pereira (2014), a adição de um tratamento complementar permite uma remoção mais abrangente da matéria orgânica, atuando tanto sobre a fração dissolvida quanto sobre a particulada, por meio da atividade microbiana, garantindo maior qualidade do efluente final.

## 2.8 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Conforme estabelece a NBR 17076 (2024), os *wetlands* construídos consistem em sistemas projetados para o tratamento de efluentes sanitários, podendo ser configuradas como tanques rasos, canais ou bacias artificiais.

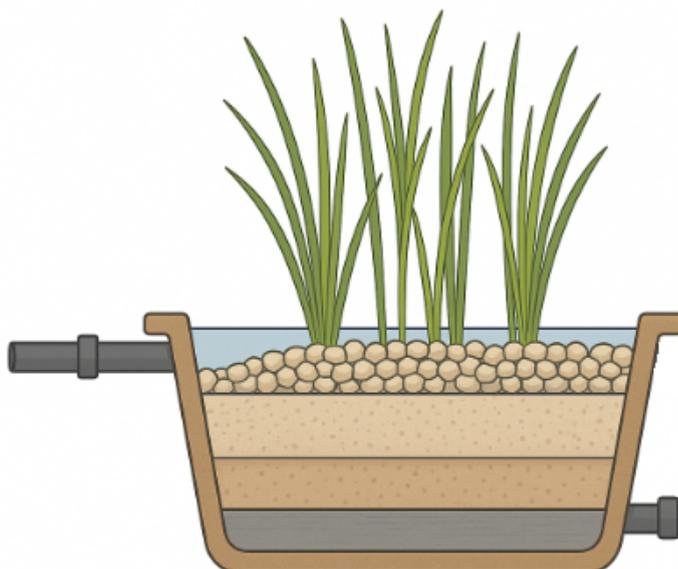
Essas estruturas são preenchidas com um meio suporte, que atua como substrato físico para o crescimento de espécies vegetais compatíveis. O esgoto percola por esse leito, sendo submetido a mecanismos predominantemente biológicos, promovidos pela interação entre as raízes das plantas, os microrganismos aderidos ao substrato e os próprios materiais filtrantes utilizados.

Em complemento, Sezerino *et al.* (2018), os sistemas de *wetlands* construídos são desenvolvidos com a função similar dos processos naturais que ocorrem em ecossistemas alagados, como brejos, pântanos e manguezais. Esses sistemas são amplamente empregados no tratamento de efluentes provenientes de diversas fontes, incluindo resíduos domésticos, industriais, agrícolas e águas pluviais.

Do ponto de vista construtivo, a NBR 17076 (2024), indica que os *wetlands* construídos são organizados em camadas que compõem o meio suporte, geralmente constituído por materiais de granulometria controlada, como areia e brita. Esse leito é dividido em zonas funcionais: entrada, onde se distribui o efluente bruto; zona de tratamento, onde ocorrem os principais processos de filtração; e saída, que conduz o efluente tratado.

Ainda conforme Sezerino *et al.* (2018), embora exista diferenciação no fluxo de escoamento entre as modalidades, existe uma característica que é comum em todas, a presença de plantas (macrófitas). Conforme ilustra a FIGURA 5 sobre o desenho esquemático genérico de um *wetland* construído.

FIGURA 5 - DESENHO ESQUEMÁTICO GENÉRICO DE UM WETLAND CONSTRUÍDO.



FONTE: Autor (2025).

Segundo Sezerino *et al.* (2018), os *wetlands* construídos, baseiam-se em três elementos fundamentais: o meio filtrante, as plantas macrófitas e a atividade microbiológica. Esses componentes atuam de forma integrada para promover o tratamento dos efluentes, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos. No âmbito dos processos físicos, destaca-se a retenção de sólidos suspensos através da filtração exercida pelo leito de substrato.

No aspecto químico, ocorrem reações de adsorção nas superfícies dos grãos do material filtrante, que auxiliam na remoção de compostos dissolvidos. Já os processos biológicos compreendem a degradação da matéria orgânica por microrganismos anaeróbios e facultativos, além da fitoextração de nutrientes promovida pelas raízes das macrófitas, que também colaboram na oxigenação do meio e no estímulo à atividade microbiana.

### 2.8.1 Tipologia do fluxo dos *Wetlands* construídos

A NBR 17076 estabelece parâmetros específicos para o dimensionamento dos sistemas de *wetlands* construídos, adotando as classificações de *Wetland* de

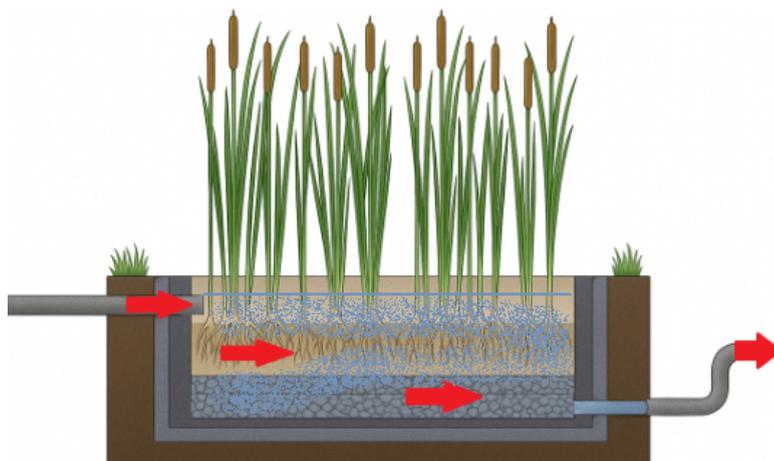
fluxo vertical e *Wetland* de fluxo horizontal, para suas diferentes configurações (ABNT, 2024).

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), há múltiplas tipologias de *wetlands* artificiais, porém três são amplamente reconhecidas e recorrentes na literatura técnica: o modelo com escoamento subsuperficial horizontal, a variante de escoamento vertical e o chamado sistema francês de escoamento vertical. As duas primeiras versões requerem uma etapa de tratamento prévio do esgoto, como o uso de tanque séptico, ao passo que a terceira, mais robusta, pode operar diretamente com esgoto bruto, dispensando pré-tratamento.

No caso das unidades com fluxo horizontal, o efluente é introduzido em uma extremidade do leito e percorre lentamente o material filtrante por entre os poros, deslocando-se até o ponto de saída de forma paralela à superfície. Durante esse percurso, o esgoto interage com diferentes zonas de oxidação e redução, onde predominam condições aeróbias, anaeróbias e anóxicas, permitindo que múltiplos processos de purificação ocorram simultaneamente (VYMAZAL *et al.*, 1998).

Na FIGURA 6 é mostrado um esquema de um *wetland* de fluxo Horizontal.

FIGURA 6 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL DO *WETLAND* CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO HORIZONTAL.



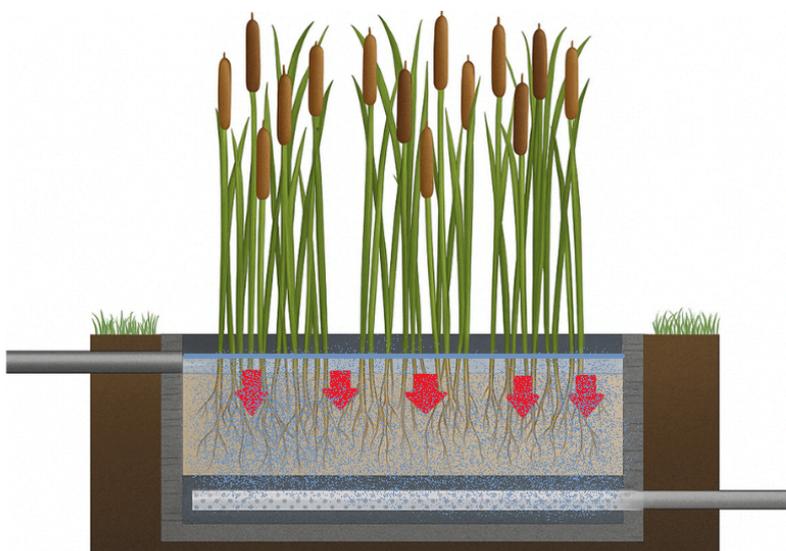
FONTE: Autor (2025)

Nos sistemas de *wetlands* construídos com escoamento vertical, onde o efluente é introduzido diretamente na superfície do leito. A água percola de forma descendente através do meio filtrante até atingir os drenos instalados na base do sistema, por onde é coletada e direcionada para o descarte ou tratamento posterior (VYMAZAL *et al.*, 1998).

Esses sistemas são caracterizados por apresentarem uma superfície plana e serem preenchidos com materiais inertes, como areia lavada e brita, que servem tanto como suporte físico quanto como meio de filtragem. O efluente é distribuído uniformemente sobre toda a superfície e infiltra verticalmente, o que permite o contato com camadas do meio onde predominam condições aeróbias, favorecidas pela entrada de oxigênio atmosférico que acompanha o esgoto durante o processo de percolação (PHILIPPI e SEZERINO, 2004; OLIJNYK, 2008).

Na FIGURA 7 ilustra o esquema de um *wetland* de fluxo vertical.

FIGURA 7 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL DO *WETLAND* CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL



FONTE: Autor (2025)

### 2.8.2 Meio filtrante

Conforme estudos realizados por Borges (2007), os materiais utilizados como meio filtrante em sistemas de tratamento como cascalho, areia, brita, argila e resíduos orgânicos, desempenham papel essencial na retenção de poluentes, além de proporcionarem suporte físico à fixação das espécies vegetais. Para Lohmann (2011), a escolha adequada dos substratos deve garantir a permeabilidade, de modo que o escoamento seja contínuo do efluente, bem como sua capacidade de troca iônica e compatibilidade com a atividade microbológica.

Nesse sentido, torna-se fundamental a seleção de materiais que mantenham boa condutividade hidráulica ao longo do tempo e que apresentem propriedades

adsortivas para compostos inorgânicos, como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), conforme destaca Sezerino (2006). O autor observa que a brita e a areia permanecem como os substratos mais empregados em *wetlands* construídos, tanto para o tratamento direto de esgotos sanitários quanto para etapas de polimento em processos secundários e terciários.

Ainda segundo Zanella (2008), substratos como areia e solo são mais indicados em sistemas com escoamento superficial, dada sua eficácia na fixação das plantas. Já para unidades com escoamento subsuperficial, o ideal é optar por materiais que dificultem o entupimento e facilitem eventuais manutenções.

Sezerino (2006) ressalta a importância de conhecer previamente os materiais filtrantes, suas propriedades físicas e químicas e de estimar sua eficácia na retenção de contaminantes. Nesse sentido, Philippi e Sezerino (2004) complementam que as propriedades químicas dos substratos podem influenciar diretamente na retenção de compostos inorgânicos, como amônia e ortofosfato. Contudo, os autores também reconhecem que o potencial adsorativo dos meios de enchimento ainda é limitado, em razão da multiplicidade de variáveis que interferem nesse processo.

### 2.8.3 Macrófitas

Em *wetlands* construídos aplicados no tratamento de esgotos, as plantas também possuem uma grande importância para operação e correto funcionamento da tecnologia.

Hu *et al.* (2017) destacam que as macrófitas são essenciais para o funcionamento eficaz desses sistemas, visto que contribuem para a remoção de nutrientes, retenção de sólidos em suspensão e melhoria da qualidade da água.

Estas são amplamente empregadas em climas tropicais e subtropicais, além de proporcionarem geração de biomassa aproveitável, ao contrário de sistemas tradicionais que produzem grandes volumes de lodo.

Kadlec *et al.* (2009) observam que a vegetação contribui para a oxigenação do substrato, fator que favorece a atividade de microrganismos, otimizando os processos de purificação. Dessa forma, a escolha das espécies vegetais deve ser coerente com as condições ambientais do local de implantação. Valentim (1999) categoriza as macrófitas em três tipos: flutuantes, submersas e emergentes.

Plantas como *Typha* sp., *Juncus* sp. e *Xanthosoma* sp. são reconhecidas pela sua resistência e eficiência nesse contexto. As raízes dessas espécies transportam oxigênio ao substrato, promovendo a atividade microbiana, aumentando a oxigenação do leito e auxiliando na eliminação de contaminantes (KADLEC *et al.*, 2009; VALENTIM, 2003; MOREL & DIENER, 2006).

Um destaque nesse cenário é a *Xanthosoma sagittifolium* (taioba), nativa do sul do Brasil, que demonstrou excelente desempenho em estudo conduzido por Suganya *et al.* (2023). A autora revela remoções de até 88% de sólidos suspensos totais, 58% de sólidos dissolvidos, 40% de DBO e 37,6% de DQO, especialmente em fluxos baixos.

Esteves (1998) assinala que, em regiões tropicais, o crescimento contínuo das plantas promove um equilíbrio entre absorção e liberação de nutrientes. Já em áreas de clima temperado, a sazonalidade afeta o metabolismo vegetal, reduzindo a capacidade de absorção durante períodos de maior biomassa.

Dessa forma, segundo Sezerino *et al.* (2015), o plantio das macrófitas não obedece a um padrão único, mas recomenda-se a substituição das plantas que não se adaptarem após o transplante do ambiente natural. Philippi e Sezerino (2004) orientam que, em casos de raízes fixas, deve-se escavar manualmente o substrato para acomodar o sistema radicular e garantir que o caule fique parcialmente acima da superfície.

Cunha (2006) afirma que a fase inicial de implantação de um *wetland* é crítica, pois envolve o ajuste conjunto entre substrato, vegetação e microbiota às novas condições. Para Brix (1997) e Gopal (1999) as macrófitas promovem a desaceleração do fluxo hídrico, auxiliam na sedimentação dos sólidos, prolongam o tempo de retenção dos efluentes no sistema e evitam obstruções do meio filtrante.

#### 2.8.4 Atividade microbiana

Nos sistemas de *wetlands* construídos, como observado por Sezerino (2006) a presença ativa de uma variedade de organismos microscópicos, incluindo protozoários e pequenos metazoários, que compõem a microfauna essencial ao funcionamento do sistema.

Entre os agentes biológicos mais relevantes para o tratamento do esgoto destacam-se bactérias, fungos e protozoários, que são os principais envolvidos no

tratamento dos esgotos (LOHMANN, 2011). As bactérias, em especial, são responsáveis por reações fundamentais, como a oxidação da matéria orgânica carbonácea, além das etapas de nitrificação e desnitrificação (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Esses microrganismos distribuem-se em diferentes compartimentos do sistema, estando presentes no efluente em trânsito, aderidos ao substrato do leito filtrante e concentrados na rizosfera das plantas, onde se desenvolvem biofilmes biológicos ao longo do tempo (PELISSARI, 2013). À medida que esse biofilme se expande, a taxa de consumo de oxigênio aumenta nas camadas superiores, criando zonas anaeróbias logo abaixo da superfície do meio filtrante (OLIJNYK, 2008).

Cada estrato do biofilme exerce uma função específica na remoção de poluentes: nas regiões com oxigênio disponível, há oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito e em seguida a nitrato nas regiões aeróbias, desnitrificação nas camadas anóxicas e formação de ácidos orgânicos e redução de sulfatos nas regiões anaeróbias (VON SPERLING, 1996).

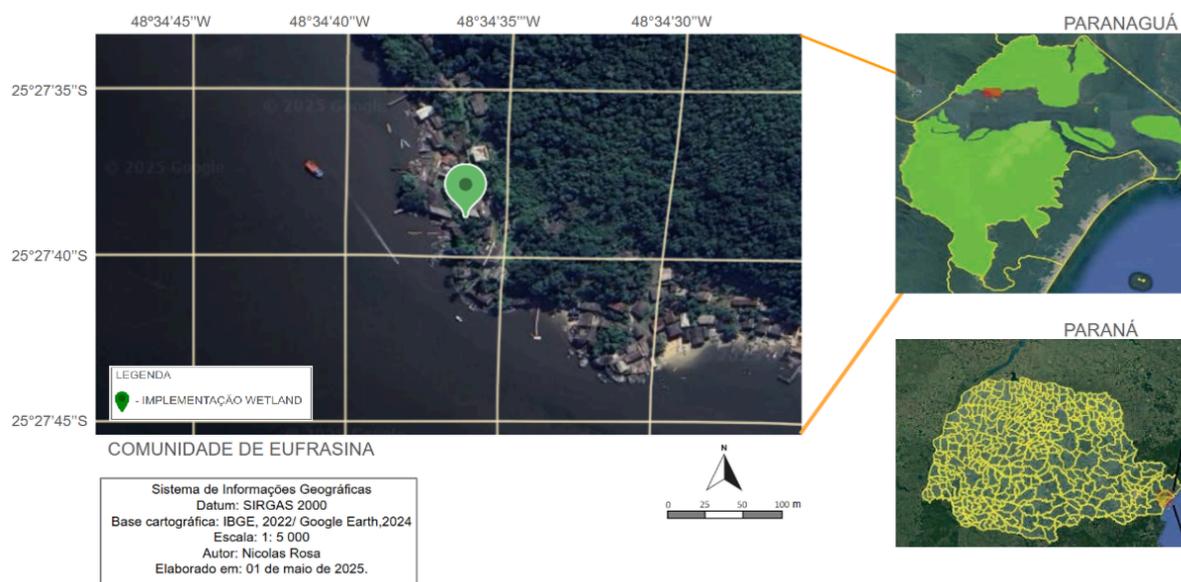
Os microrganismos aderidos ao suporte entram em uma fase de crescimento endógeno, na qual a escassez de carbono os torna menos eficientes e passíveis de desprendimento. A passagem do efluente então remove parte da biomassa inativa, favorecendo a colonização por microrganismos com maior atividade metabólica, os quais passam a formar uma nova camada biológica mais eficaz (OLIJNYK, 2008).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 ÁREA DO ESTUDO**

A comunidade de Eufrasina está situada no município de Paranaguá, no complexo estuarino de Paranaguá, e é composta por aproximadamente 170 residentes (PARANÁ, 2023). O projeto do sistema de tratamento foi desenvolvido para duas residências, próximas à associação de moradores de comunidade e próximo ao mar, situadas nas coordenadas geográficas de latitude 25°27'38" sul e longitude 48°34'36" Oeste, como ilustra a FIGURA 8.

FIGURA 8 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE EUFRASINA, LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO.



Fonte: Autor (2025)

O clima da região é classificado como subtropical úmido (CFA), segundo a classificação de Köppen, apresentando verões com temperaturas médias superiores a 25 °C e invernos com médias inferiores a 16 °C. Essas condições climáticas favorecem o desempenho de sistemas naturais de tratamento, como os *wetlands* construídos, uma vez que temperaturas elevadas potencializam os processos microbiológicos envolvidos na depuração dos efluentes.

### 3.2. CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO PARA O BIODIGESTOR ARTESANAL.

O biodigestor artesanal utilizado para este estudo foi construído a fim de atender as recomendações da NBR 17.076/2024 em relação ao volume de esgoto produzido por pessoa.

Para definir as dimensões do biodigestor, é necessário, inicialmente estimar o volume diário de esgoto gerado, em seguida, calcular o volume útil, com base nas equações consagradas na literatura técnica, conforme NBR 17.076/2024, Oliver *et al.* (2015) e Kunz *et al.* (2019).

O Volume diário de carga ( $V_C$ ) determina com a Equação 1, a quantidade de efluente que entra no biodigestor por dia:

$$V_c = P \times q \quad (1)$$

$P$ : população atendida.

$q$ : contribuição por pessoa ( L/ (hab. dia))

Com base na vazão obtida, o volume útil do biodigestor ( $V_b$ ) foi calculado pela Equação 2, relaciona o volume diário de carga ( $V_C$ ) com o tempo de detenção hidráulica (TDH):

$$V_b = V_c \times TDH \quad (2)$$

Onde:

$V_b$  o Volume do biodigestor (L);

$V_c$  o volume diário de carga (L);

$TDH$  é tempo de detenção hidráulica (dia).

Neste projeto, o sistema biodigestor foi dimensionado para receber exclusivamente os efluentes oriundos dos vasos sanitários. De acordo com a NBR 17076/2024, a contribuição de esgoto em uma residência padrão médio é de 130 litros por dia.

### 3.2.2 CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO PARA WETLAND CONSTRUÍDO.

Para complementar o tratamento e melhorar a qualidade do efluente, foi incorporada uma unidade de *wetland* construído de fluxo vertical, que atua como polimento final. Este sistema promove a depuração adicional por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos.

O dimensionamento dessa unidade foi orientado por parâmetros construtivos e recomendações fornecidos na norma NBR 17076/2024. Contudo, a norma não oferece a base de cálculo para o dimensionamento padronizado, sendo necessário complementar com os estudos e equações da literatura, como de Von Sperling (2018), Vieira *et al.* (2019) e Rosa *et al.* (2014).

O tempo de detenção hidráulica no leito do *wetland* foi determinado pela Equação 3:

$$t = n \frac{V}{Q} \quad (3)$$

Onde:

*t* é o tempo de detenção hidráulica (dia);

*n* a porosidade do leito filtrante ( $m^3$  vazios/ $m^3$  material);

*V* o volume do leito ( $m^3$ );

*Q* a vazão a ser tratada ( $m^3/d$ ).

A taxa de remoção de matéria orgânica foi estimada com base em cinética de primeira ordem, com a constante de reação ajustada à temperatura local, conforme a Equação 4:

$$Kt = K_{20} \cdot (1,06)^{T-20} \quad (4)$$

Sendo *T* a temperatura de operação ( $^{\circ}C$ ), e  $K_{20}$  a constante de reação a  $20^{\circ}C$ .

A área superficial necessária do sistema foi obtida a partir da seguinte expressão:

$$A = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \cdot n \cdot H} \quad (5)$$

Onde:

*Q* é a vazão a ser tratada;

*C<sub>o</sub>* a concentração afluyente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

*C<sub>e</sub>* é a concentração efluyente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

*K<sub>t</sub>* a constante de reação da cinética de primeira ordem, dependente de *T* ( $d^{-1}$ );

*H* a altura da coluna d'água do reator.

A aplicação dessas equações assegura um dimensionamento técnico robusto, adequado às condições operacionais do sistema e ao perfil de geração de esgoto, conciliando simplicidade construtiva e eficiência sanitária.

Outra forma de dimensionamento de sistemas de *wetlands* construídos comumente se baseia em critérios estabelecidos pela literatura especializada, sendo a área por habitante um dos parâmetros mais utilizados. Diversos estudos utilizam

essa relação como referência principal, ajustando-a conforme as propriedades específicas do efluente analisado. De acordo com Sezerino *et al.* (2004), a faixa mais recorrente para esse tipo de dimensionamento situa-se entre 1 m<sup>2</sup> e 5 m<sup>2</sup> por pessoa, representando uma média aplicável à maioria das condições operacionais encontradas em sistemas de pequeno porte.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR ARTESANAL.

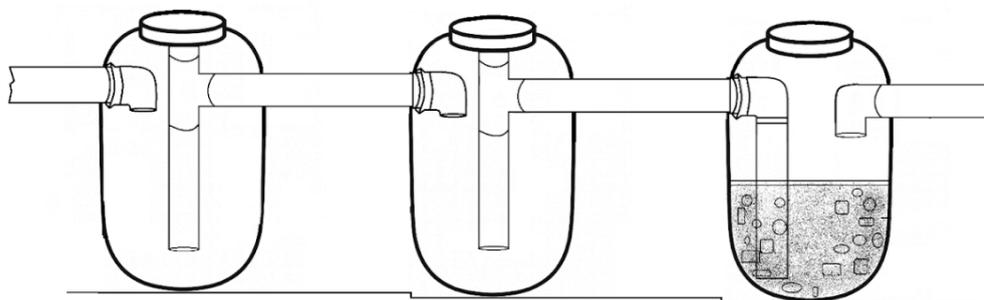
O cálculo das dimensões do biodigestor artesanal, adotou-se como referência uma residência de padrão médio, com população estimada em quatro habitantes. De acordo com a NBR 17076:2024, a geração média diária de esgoto por habitante em residências deste perfil é de aproximadamente 130 litros por dia. Aplicando-se essa taxa à população atendida, obteve-se, por meio da Equação 1, um volume diário de carga ( $V_c$ ) de 520 litros.

O sistema implantado é composto por três bombonas de 250 litros cada. As duas primeiras unidades atuam na sedimentação dos sólidos e na separação das fases líquida e sólida do efluente. Devido à geometria das bombonas e à necessidade de espaço para gases e lodo, considera-se um volume útil de aproximadamente 85%, que representa 212,5 litros em cada uma, totalizando 425 litros das duas bombonas.

A terceira bombona funciona como um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, preenchido com aproximadamente 100 litros de materiais filtrantes (equivalente a 40% da sua capacidade). Considerando que há uma perda do volume da bombona de 10% por espaços vazios sem líquido, 50% do volume da bombona de 250 litros, 125 litros são destinados para o efluente. Assim, o volume útil das três bombonas é de 550 litros, o que assegura o cumprimento do tempo de detenção hidráulica de 1 dia.

A FIGURA 9 apresenta o esquema ilustrativo da configuração do biodigestor artesanal adaptado na comunidade. O fluxo do sistema ocorre da esquerda para a direita, em direção à unidade de *wetland* construído.

FIGURA 9 - ESQUEMATIZAÇÃO DO BIODIGESTOR UTILIZADO NA COMUNIDADE.



Fonte: Autor (2025).

Em algumas residências, o biodigestor instalado recebe o efluente proveniente exclusivamente de vaso sanitário, reduzindo o volume de entrada e, conseqüentemente, amplia o tempo real de retenção do esgoto no sistema. Essa característica favorece a estabilização da matéria orgânica e o desempenho microbiológico, elevando a eficiência da estabilização da carga orgânica antes do encaminhamento à unidade de polimento (*wetland* construído). Conforme descrito em Gonzatto (2024), o biodigestor anaeróbico de natureza artesanal, quando corretamente dimensionado e operado, demonstra bom desempenho no tratamento de esgotos domésticos, atingindo eficiências superiores a 50% na remoção de poluentes.

#### 4.2 DIMENSIONAMENTO DO *WETLAND* CONSTRUÍDO.

Após o tratamento preliminar realizado no biodigestor, os efluentes são encaminhados à unidade de tratamento complementar, composta por um *wetland* construído de fluxo vertical.

Para determinar a capacidade de carga da unidade, obtém-se inicialmente com a Equação 3 o tempo de detenção hidráulica (*TDH*) de 2 dias. Como aponta Von Sperling e Sezerino (2018), o volume efetivamente disponível para o escoamento do efluente em sistemas filtrantes é determinado pela porosidade do material utilizado. Esse índice, que representa o percentual de vazios no meio filtrante, depende diretamente da granulometria do substrato e deve ser verificado em fontes técnicas específicas ou nas fichas do fornecedor. Os mesmo autores, consideram que em condições ideais, com leito limpo, a porosidade costuma variar

entre 0,30 a 0,40 (30% e 40%). Contudo, ao longo do tempo, com o acúmulo de sólidos, esse valor tende a diminuir, comprometendo a eficiência hidráulica do sistema.

Ainda segundo Conley *et al.* (1991), uma maior porosidade do leito resulta em menores volumes, porém propicia um maior escoamento. Com isso, os autores mencionam que sistemas com britas ou cascalhos são menos propensos ao entupimento e ao escoamento com uma boa remoção de poluentes. Solos coesos apresentam porosidade de 0,42, areia de 0,35 e cascalho igual a 0,30.

Portanto a porosidade adotada segundo literatura é de 0,30, valor comumente associado ao uso de cascalho e resíduos da construção civil como meio filtrante ( $n$ ), conforme a Equação 3, rearranjada para calcular a vazão admissível ( $Q$ ). Com essas condições, a caixa d' água de 500 litros é capaz de tratar até 75 litros de efluente por dia.

Isso permite definir o desempenho do *wetland* com base em cinética de remoção de primeira ordem, conforme a Equação 4. Adotando a constante de reação a 20 °C ( $K_{20} = 1,1 \text{ d}^{-1}$ ) obteve-se uma constante ajustada  $Kt \approx 1,47 \text{ d}^{-1}$ .

Considerando que o efluente já passou por tratamento no biodigestor, sua carga orgânica encontra-se reduzida. Em um sistema similar monitorado no âmbito do mesmo projeto, Gonzatto (2024) verificou, ao analisar a DBO no biodigestor, valores de entrada de 1381,667 mg O<sub>2</sub>/L, que foram reduzidos para 920 mg O<sub>2</sub>/L na saída do sistema.

A partir dos valores da DBO relatadas, pode-se definir com a Equação 5, a área superficial necessária do *wetland*, visando atingir um efluente final com concentração de 50 mg/L da DBO, assim considerando profundidade do leito de 0,60 m, calcula-se a área superficial necessária do *wetland* de 0,83 m<sup>2</sup>. Portanto, como a unidade utiliza uma caixa d' água reciclada com capacidade de 500 litros, a qual oferece uma área superficial útil de 1,17 m<sup>2</sup>.

O *wetland* construído foi confeccionado a partir da reutilização de uma caixa d' água plástica recondicionada, compõe-se na seguinte estrutura:

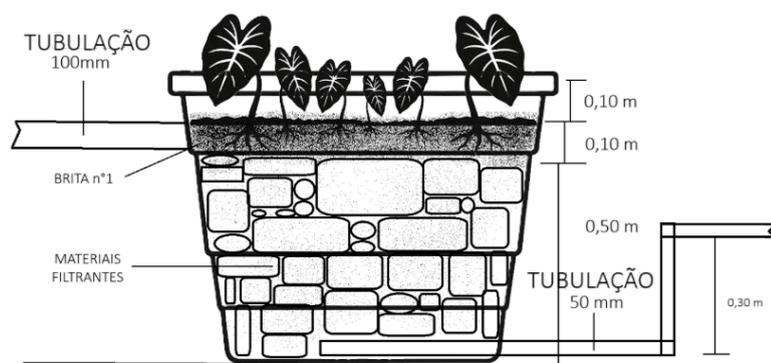
- Tubulação de entrada: PVC com diâmetro de 100 mm;
- Tubulação de saída: PVC com diâmetro de 50 mm, com elevação de 30 cm através de conexões em ângulo de 90° (joelhos), com a finalidade de aumentar o tempo de detenção hidráulica (TDH);

Para o meio filtrante:

- Camada superficial: brita nº 1, destinada ao suporte das plantas macrófitas;
- Camada inferior: composta por materiais reaproveitados, incluindo resíduos de construção civil e fragmentos plásticos, materiais de fácil acesso na comunidade.

A Figura 10 ilustra a configuração e medidas das camadas necessárias para esse projeto.

FIGURA 10 - ESQUEMATIZAÇÃO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL



FONTE: Autor (2025).

A TABELA 1 ilustra os parâmetros utilizados para o dimensionamento do sistema.

TABELA 1 - DADOS DIMENSIONADOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO.

Unidade	Dados Dimensionados
População	4 habitantes
Contribuição de esgoto	130 L/hab.dia
Volume diário estimado	520 L/dia
Biodigestor - 2 bombonas	2 x 212,5 L = 425 L
Biodigestor - 3ª bombona	125 L (efluente) + 100 L (materiais filtrantes)
Volume útil total biodigestor	550 L
Tempo de detenção hidráulica (TDH) biodigestor	1 dia
Wetland construído - Porosidade adotada (n)	0,30
Caixa d'água reciclada (capacidade)	500 L
Área superficial necessária (Equação 5)	0,83 m <sup>2</sup>
Área superficial disponível (caixa d'água)	1,17 m <sup>2</sup>
Tubulação de entrada	PVC 100 mm
Tubulação de saída	PVC 50 mm

Fonte: Autor (2025).

Para a revegetação do leito do *wetland* construído de fluxo vertical, foi selecionada a espécie *X. sagittifolium*, nativa da região sul do Brasil e bem adaptada ao clima subtropical predominante na área de estudo.

Segundo Suganya *et al.* (2023), a *X. sagittifolium* apresenta elevado desempenho nos processos de fitorremediação, alcançando remoções de até 88% de sólidos suspensos totais (TSS), 58% de sólidos dissolvidos totais (TDS), 40% de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e 37,6% de demanda química de oxigênio (DQO), principalmente em condições de fluxos reduzidos (até 5 ml/min).

Souza *et al.* (2021) destacam que a espécie possui crescimento ideal em temperaturas superiores a 25 °C, em substratos bem drenados e ricos em matéria orgânica, características compatíveis com o ambiente das zonas úmidas artificiais implantadas.

A elevada eficiência da *X. sagittifolium* no tratamento de efluentes está associada ao seu denso sistema radicular, que favorece o desenvolvimento de biofilmes microbianos aderidos às raízes e ao meio filtrante, potencializando os processos biológicos e físicos responsáveis pela depuração dos efluentes.

#### 4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A implantação do sistema de tratamento foi realizada em 30 de abril de 2025, contando com o apoio técnico e logístico da equipe do Projeto Comunidades Sustentáveis, da empresa Júnior Elipse, de membros da comunidade local e do discente responsável por este trabalho. A execução colaborativa da atividade favoreceu não apenas a instalação física do sistema, mas também o fortalecimento do vínculo entre a universidade, a comunidade e os parceiros institucionais envolvidos no projeto.

O biodigestor artesanal já havia sido previamente instalado, antes do dimensionamento do *wetland* construído. Assim, foi necessário adaptar o projeto original às condições estruturais existentes e às restrições físicas do terreno, garantindo a continuidade operacional do sistema dentro dos parâmetros técnicos definidos. O sistema séptico, conforme ilustra a FIGURA 11, é constituído por três bombonas plásticas com capacidade de 250 L cada, interligadas em série por tubulações de PVC de 100 mm de diâmetro. Duas dessas bombonas atuam como

tanques sépticos primários, enquanto a terceira funciona como filtro anaeróbio, contendo aproximadamente 100 L de material filtrante e reservando 150 litros livres para a acumulação de lodo.

FIGURA 11 - BIODIGESTOR ARTESANAL NO LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO.



FONTE: Autor (2025)

Com o terreno previamente limpo e preparado, iniciou-se o posicionamento da unidade de *wetland* construído, utilizando uma caixa d'água plástica reciclada com capacidade de 500 litros. Antes de sua instalação, a estrutura passou por um processo de restauração, no qual foram aplicadas camadas de fita impermeabilizante (própria mas para reparo de caixas d'água) em pontos de fendas e pequenas fissuras, visando garantir a estanqueidade do sistema durante a operação.

Após o nivelamento adequado da base, procedeu-se à montagem do leito filtrante do *wetland* de fluxo vertical, respeitando a disposição das camadas de material suporte previamente definidas no projeto de dimensionamento. A sequência de preenchimento visou otimizar o contato do efluente com o meio filtrante, assegurando a eficiência dos processos físicos, químicos e biológicos de tratamento.

A FIGURA 12 apresenta o esquema ilustrativo da montagem do leito filtrante do *wetland* construído.

FIGURA 12 - NIVELAMENTO DA CAIXA D'ÁGUA E POSICIONAMENTO DO MATERIAL FILTRANTE.



Fonte: Autor (2025).

O leito foi preenchido e ajustado com materiais reaproveitados da própria comunidade, como tijolos quebrados, entulho e pedaços de plástico rígido. Ainda que tenham sido empregados suportes de dimensões maiores, buscou-se garantir o mínimo de área superficial dimensionada para assegurar a eficiência do processo, conforme ilustrado na FIGURA 13. A tubulação de entrada, com diâmetro de 100 mm, foi conectada à parte superior da caixa d'água, garantindo fluxo vertical descendente. A tubulação de saída, com diâmetro de 50 mm, foi instalada na base da caixa, com furos distribuídos para auxiliar a drenagem.

FIGURA 13 - EQUIPE TRABALHANDO NO AJUSTE DO MATERIAL FILTRANTE.



FONTE: Autor (2025).

Após a instalação hidráulica, procedeu-se à colocação de uma camada superficial de brita nº 1, que oferece suporte à vegetação e melhora a aeração do sistema. Em seguida, foram transplantadas 12 mudas de *X. sagittifolium*, coletadas na própria comunidade, uma vez que essa espécie apresenta excelente adaptabilidade ao clima subtropical da região e alta eficiência na fitorremediação. O processo de plantio e acabamento da superfície do leito está representado na FIGURA 14.

FIGURA 14 - COLETA DE MUDAS DE *X. SAGITTIFOLIUM* E NIVELAMENTO DA BRITA Nº 1



FONTE: Autor(2025).

O sistema passou então a operar em fase inicial, cuja eficiência plena será atingida após o período de adaptação da vegetação, sendo de 30 a 60 dias dependendo das condições climáticas, fase de capinagem ou colheita (ALBUQUERQUE,1962; EMBRAPA, 2017). Durante esse período, ajustes técnicos poderão ser realizados conforme necessidade. A FIGURA 15 apresenta o sistema totalmente finalizado e em operação.

FIGURA 15 - SISTEMA WETLAND FINALIZADO PARA OPERAÇÃO



FONTE: Autor (2025).

Após a instalação do sistema, foi observada uma fase inicial de saturação, ocorrida uma única vez, com o objetivo de promover a estabilização operacional da unidade. Esse procedimento possibilitou o condicionamento do leito filtrante e a adaptação da microbiota presente, assegurando maior eficiência no processo de tratamento subsequente. Ressalta-se que a saturação inicial constitui uma etapa essencial em sistemas de *wetlands* construídos e biodigestores artesanais, uma vez que contribui para o preenchimento uniforme dos vazios do meio filtrante, melhora a distribuição hidráulica e favorece o desenvolvimento da comunidade microbiana responsável pela degradação da matéria orgânica.

A análise do desempenho do sistema descentralizado implantado na comunidade insular de Eufrasina encontra-se ainda em processo de estabilização, especialmente no que se refere à adaptação das macrófitas ao substrato filtrante de brita do *wetland* construído. O monitoramento, contemplando parâmetros físico-químicos e microbiológicos, está previsto para o segundo semestre de 2025.

Até que se obtenham dados empíricos locais, a projeção da eficiência do sistema baseia-se em evidências técnicas disponíveis na literatura especializada, referentes a técnicas de configuração e porte semelhantes.

Em pesquisa desenvolvida por Amaral *et al.* (2017), foi testado um sistema híbrido formado por duas bombonas de 240 litros (atuando como unidade séptica e filtro anaeróbio) complementado por um *wetland* construído instalado em um reservatório de 1000 litros, com área útil de 1,82 m<sup>2</sup>. O conjunto apresentou

excelente desempenho, com taxas de remoção de 90,8% para DBO e 87,9% para DQO. Adicionalmente, foram observadas eficiências de 69,3% para turbidez, 89,4% para cor aparente e 69,1% para sólidos totais. No que diz respeito aos nutrientes, as reduções foram de 76,6% para fósforo e 46,3% para nitrogênio, evidenciando a 52 eficácia da etapa anaeróbia inicial, ainda que a remoção de nutrientes no *wetland* tenha sido mais limitada.

Outro projeto relevante é o estudo de Rodrigues (2016), que avaliou um *wetland* vertical de pequeno porte, com volume total de 1053 litros e área superficial de 1,09 m<sup>2</sup>, operando com tempo de detenção hidráulica de até 300 minutos. O sistema demonstrou resultados altamente positivos, com remoções médias de DQO (96,48%), nitrogênio total (92,50%), nitrogênio amoniacal (87,75%), sólidos totais (72,26%) e sólidos suspensos totais (92,89%), confirmando a eficiência dos sistemas compactos em contextos descentralizados.

No caso do sistema de Eufrasina, a etapa inicial de tratamento baseia-se em um biodigestor artesanal de três câmaras, modelado segundo Eckelberg *et al.* (2023). Tal configuração favorece a estabilidade do processo anaeróbio, promovendo a degradação eficaz da matéria orgânica e contribuindo para a redução de patógenos. Corroborando essa abordagem, o estudo de These (2021) registrou desempenhos médios consistentes para sistemas similares: 67% de remoção para DBO, 62% para SST, 69% para ST, 35% para NTK, 50% para fósforo na forma de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), 91% para coliformes totais, 66% para E. coli e 54% para DQO. Esses valores confirmam o potencial técnico da solução adotada.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a construção de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto doméstico, projetado especificamente para a realidade da comunidade insular de Eufrasina, em Paranaguá (PR). A integração entre o biodigestor artesanal de três câmaras e a unidade de *wetland* construída de fluxo vertical demonstrou-se uma alternativa viável e apropriada para regiões onde o acesso ao saneamento convencional é limitado por fatores geográficos, econômicos e logísticos.

Apesar do potencial da solução, o estudo também evidenciou desafios e dificuldades inerentes ao processo de implantação, tais como a necessidade de adaptação da comunidade ao uso e manutenção do sistema, as restrições impostas pela logística de transporte de materiais até as comunidades remotas, a variabilidade da qualidade do efluente gerado e o tempo de estabilização do sistema, particularmente em relação ao desenvolvimento dos microorganismos no biodigestor e *wetland* à adaptação das macrófitas no leito filtrante. Esses fatores representam obstáculos relevantes para a consolidação de tecnologias descentralizadas, demandando acompanhamento próximo e ajustes operacionais contínuos. Ainda que a unidade se encontre em fase de adaptação de operação, o monitoramento físico-químico e microbiológico está previsto para ocorrer no segundo semestre de 2025.

Por fim, destaca-se que a experiência relatada neste trabalho reforça a importância da adoção de soluções descentralizadas e baseadas na natureza como alternativas estratégicas para ampliar o acesso ao saneamento básico em comunidades rurais e insulares. Apesar das limitações e dificuldades encontradas, o estudo evidencia a relevância dessas tecnologias não apenas como instrumentos de proteção dos recursos hídricos, mas também como meios para promover saúde pública, reduzir desigualdades sociais e fomentar a sustentabilidade em contextos vulneráveis.

## REFERÊNCIAS

ACHON, C. L. **Sistema de Esgotamento Sanitário: Concepção, Partes Componentes, Pós Uso**. São Paulo, 2023. Disponível em: < [https://allevanteducacao.com.br/wp-content/uploads/Cursos/\[DEFINITIVO\]%20SISTEMAS%20DE%20ESGOTO%20SANIT%C3%81RIO%20M%C3%93DULO%202/AULA-02-ESGOTO.pdf](https://allevanteducacao.com.br/wp-content/uploads/Cursos/[DEFINITIVO]%20SISTEMAS%20DE%20ESGOTO%20SANIT%C3%81RIO%20M%C3%93DULO%202/AULA-02-ESGOTO.pdf) >. Acesso em: 17 de setembro 2024.

ALMEIDA, A. R. G.; PREDES, F. S. **Análise situacional do Sistema de Saneamento básico das comunidades da Baía de Paranaguá**. Paranaguá. 2021. Disponível em: < <https://eventos.unespar.edu.br/index.php/XIVSEMBIOXISEMPAM/preprint/download/101/121/130> >. Acesso em 14 de setembro de 2024.

ALBUQUERQUE, M. **Rápidas notas sobre a Taioba**. 1962. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/961051/1/RapidasnotassobreTaioba.pdf> > . Acesso em: 30 de maio de 2025.

AMARAL, A. C; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Os Biodigestores**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109212/1/final9156.pdf> >. Acesso em 1 de junho de 2025.

AMARAL, B. M.; ALCÂNTARA, D. P.; CRUVINEL, K. S. **Utilização de sistema híbrido com alagado construído para tratamento de efluente doméstico**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol XX- nºX ( 2017). Disponível em: < [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/Utiliza%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_sistema\\_h%C3%ADbrido\\_com\\_alagado\\_constru%C3%ADdo\\_para\\_tratamento\\_de\\_efluente\\_dom%C3%A9stico.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/Utiliza%C3%A7%C3%A3o_de_sistema_h%C3%ADbrido_com_alagado_constru%C3%ADdo_para_tratamento_de_efluente_dom%C3%A9stico.pdf)>. Acesso em: 1 de junho de 2025

ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. P.; PIRES, O. P. J.; BARUFI, C. R.V. **Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. Vol. 1, n. 2, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ATHAYDES, T. V. S.; PAROLIN, M.; CRISPIM, J. Análise histórica sobre práticas de saneamento básico no mundo. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. ANAP, v.08, n.65, 2020.

AZEREDO, C. S. M.; DE CASTRO, J. C. S. G. **A falta de saneamento básico e a saúde humana**. Campos dos Goytacazes: Instituto Federal Fluminense, 2022. Disponível em: < <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/srhidro/article/view/21101>>. Acesso em: 30 de março de 2024.

AZEVEDO, J. M. *et al.* **Sistema de esgotos sanitários**. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1977.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas**. Rio Grande: FURG, 2001.

BEZERRA, G.G. **Sistematização da Identificação da Rede de Serviço Associada ao Tratamento Descentralizado de Esgoto em Florianópolis, SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/255818>> . Acesso em: 23 de outubro de 2024.

BEZERRA, L. O. **Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto para residências unifamiliares isoladas em áreas rurais: uma revisão bibliográfica**. Natal, 2024. Disponível em: < <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/59609/1/UFRN%20-%20TCC%20-%20Larissa%20de%20Oliveira%20Bezerra%20-%202024.pdf> >. Acesso em: 9 de outubro de 2024.

BRASIL. EMBRAPA. **Fossa Séptica Biodigestora**. São Carlos, 2001.

BRASIL. EMBRAPA. **Hortaliças não convencionais - Taioba**. Brasília, 2017. Disponível em: < [BRASIL. \*\*Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020\*\*. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020.](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071385/1/ftaioba.pdf#:~:text=A%20colheita%20inicia%2Dse%20entre%2060%20e%2075,sucessivas%20ap%C3%B3s%20o%20crescimento%20de%20novas%20folhas.&text=A%20taioba%20apresenta%20vida%20%C3%BAtil%20relativamente%20curta%2C,refrigera%C3%A7%C3%A3o%2C%20desde%20que%20embalada%20em%20saco%20pl%C3%A1stico.>. Acesso em: 30 de maio de 2025.</p></div><div data-bbox=)

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plansab – Plano Nacional de Saneamento Básico**. Versão Revisada, 2019, Brasília –DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506> >. Acesso em: 10 de abril de 2024.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA. **Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR**. Brasília: Funasa, 2019.

BRIX, H. **Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands?**. Water Science and Technology. v. 35. n5. P. 11-17.1997

BORJA, P. C., & MORAES, L. R. **O acesso às ações e serviços de saneamento básico como um direito social**. Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, organizadores. Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico. Guia do profissional em Treinamento: nível, 2, 11-24. 2006.

BORGES, A. C. **Avaliação da remoção e transporte do herbicida ametrina em sistemas alagados construídos**. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CÁSPAR, I. E.S. **Paisagismo e wetlands construídos**. Três Corações: Universidade Vale do Rio Verde, 2020. Disponível em: [https://www.unincor.br/images/arquivos\\_mestrado\\_hidrico/producao-tecnica/paisagismo-em-wetlands.pdf](https://www.unincor.br/images/arquivos_mestrado_hidrico/producao-tecnica/paisagismo-em-wetlands.pdf)>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

CHEN, G.; MO, Y.; GU, X. *et al.* **Sustainability of global small-scale constructed wetlands for multiple pollutant control**. npj Clean Water, v. 7, artigo 45, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00336-3>. Acesso em: 22 maio 2025.

COOPER, P.; SMITH, M.; MAYNARD, H. **The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system**. Water Science and Technology, v. 35, n. 5, p. 215-221, 1996.

CONLEY, L.M.; DICK, R.I.; LIOW, L.W. **An assessment of the root zone method of wastewater treatment**. Research Journal of the WPCF, v.63, n.3, pp. 239-247. 1991.

COSTA, A. M. **Análise histórica do saneamento no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fiocruz, Rio de Janeiro. 1994. Disponível em: < <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-150206> >. Acesso em 1 de outubro de 2024.

COSTA, C. A. O.; JACOB, R. S. **TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUAIS: fossa séptica biodigestora como alternativa ao tratamento de esgoto doméstico**. Sustentare, v. 2, n. 2, p. 115-131, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/329997854\\_TRATAMENTO\\_BIOLOGICO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUAIS\\_fossa\\_septica\\_biodigestora\\_como\\_alternativa\\_ao\\_tratamento\\_de\\_esgoto\\_domestico](https://www.researchgate.net/publication/329997854_TRATAMENTO_BIOLOGICO_DE_AGUAS_RESIDUAIS_fossa_septica_biodigestora_como_alternativa_ao_tratamento_de_esgoto_domestico)>. Acesso em: 12 de maio de 2025.

COSTA, J. F. D.; DE PAOLI, A. C.; SPERLING, M. von. **Desempenho de wetlands de fluxo horizontal subsuperficial vegetadas e não vegetadas atuando como pós-tratamento de efluente sanitário de reator UASB**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 26., 2011, Maceió. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2011. Disponível em: <[https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/19\\_Download/TrabalhosCompletosPDF/II-323.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/19_Download/TrabalhosCompletosPDF/II-323.pdf?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 22 maio 2025.

CUNHA, C. A. G. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. Dissertação (Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

DIAS, C.M.; OLIVEIRA, L.H.; KUROKAWA, F.A. **Modelo matemático para a tomada de decisão para sistema predial de água não potável: descentralizado ou centralizado?** Porto Alegre, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/P5pD84LfyNDdjGhSZBs7zGg/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 3 de outubro de 2024.

ECKELBERG, J.; SANTOS, E.; ARMANI, F. A. S.; DITTRICH, J.; MAFRA, T. V.; CORDEIRO, P. P. P. **RAB-A – Reator Anaeróbio Biodigestor Artesanal – como solução de tratamento de esgoto para regiões isoladas e com terrenos íngremes: diagnóstico e implantação do sistema descentralizado na Vila de Eufrasina, Paranaguá-PR**. In: Capítulo 13, 2023. Documento eletrônico. Disponível em: <<https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/83127>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.

FIGUEIREDO, I.C.S. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. Campinas, 2019. Disponível em: <[repositorio.unicamp.br](https://repositorio.unicamp.br)>. Acesso em: 15 de outubro de 2024.

FILHO, G. I. da S. **Tratamento de esgoto doméstico utilizando a ecotecnologia wetlands construídos para sistemas coletivos de pequeno porte**. 2022. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)

– Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/71466/1/2022\\_tcc\\_gisilvafilho.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/71466/1/2022_tcc_gisilvafilho.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Caderno temático - Esgotamento Sanitário**. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf/8bf6a259-872e-4030-b3ca-af92689d8bd8?version=1.0>>. Acesso em: 1 de junho de 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Capítulo 3: Esgotamento sanitário**. Brasília, 2004. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo\\_3.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo_3.pdf)>. Acesso em: 21 de setembro de 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE -FUNASA. **Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil**. Brasília: Funasa, 2020. 53p.

GARCIA, M. S. D.; FERREIRA, M. P. **Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana**. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.puc-rio.br/index.php/dignidaderevista/article/view/393>>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

GASPAR, M. R. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GOPAL, B. **Natural and constructed Wetlands for wastewater treatment: potentials and problems**. *Wat. Sci. Tech.*, v. 40, n. 3, p. 27-35, 1999.

GONZATTO, M. **Uso de microrganismos eficientes em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto: um estudo de caso em um biodigestor anaeróbio residencial da Ilha de Eufrasina, PR**. 2024. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/95443>>. Acesso em: 19 maio 2025.

HU, S., NIU, Z., CHEN, Y. **Global wetland datasets: a review**. *Wetlands*. 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-017-0927-z>>. Acesso em 23 de setembro de 2024.

JORDÃO, E. P. PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands**. 2. ed. Boca Raton, FL.: CRC Press, 2009.

KIPNIS, T.G.; CASTRO, P.B.N. **A Relevância do Esgotamento Sanitário Descentralizado e Sistemas Baseados no Manejo do Lodo Fecal: Caminhos para o Saneamento Inclusivo no Brasil** . São Paulo, 2020. Disponível em:< [https://saneamentoinclusivo.org.br/wp-content/uploads/2023/12/SI\\_Caderno\\_1\\_R03.pdf](https://saneamentoinclusivo.org.br/wp-content/uploads/2023/12/SI_Caderno_1_R03.pdf) > . Acesso em: 7 de outubro de 2024.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação, uso e tratamento do digestato**. Sbera: Embrapa Suínos e Aves, Concórdia-SC,2019.

KUNHIKRISHNAN, A.; BOLAN, N. S.; MÜLLER, K. *et al.* **The influence of wastewater irrigation on the transformation and bioavailability of heavy metal (loid) in soil**. *Advances in agronomy*, v. 115, p. 216-273, 2012.

LAZZARETTI, L. **Saneamento básico e sua influência sobre a saúde da população**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/67761> >. Acesso em: 12 de abril de 2024.

LOHMANN, G. **Caracterização de uma estação de tratamento de esgoto por zona de raízes utilizando variáveis abióticas e microbiológicas**. 2011. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MATSUMOTO, A.C.L. **Uso de sistemas descentralizados em comparação com sistemas centralizados para tratamento de esgoto**. Araraquara, 2023. Disponível em:< <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4c1c6dd0-dccc-4d4b-bd4d-1a19b3caedc5/content#:~:text=O%20sistema%20descentralizado%2C%20diferentemente%20do,MESQUITA%20et%20al%2C%202021> > . Acesso em: 30 de setembro de 2024.

MASSOUD, M. A, TARHINI, A., NASR J. A. - **Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries**. *Journal of Environmental Management* 90, 2009.

MERCADO, M. D.; CUBAS, S. A.; MICHALISZYN, M. S. **Saneamento como ferramenta para a sustentabilidade da área quilombola Vila Esperança, Lapa, PR.** Revista Brasileira De Ciências Ambientais, (48), 97–113. Curitiba, 2018. Disponível em: < [https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/view/58](https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/58)>. Acesso em: 15 outubro de 2024.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016

MIRANDA, E. K. **Avaliação ambiental de um aterro sanitário localizado no litoral do Paraná.** UFPR. 2023. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/86968>>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

MOMBACH, I. L. **Avaliação da eficiência de filtro biológico anaeróbio utilizado como tratamento secundário de estação de tratamento de esgoto.** UFFS, Cerro Largo - RS. 2016. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/686/1/MOMBACH.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2025.

MOREL A.; DIENER S. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods.** Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland, 2006.

MOTA, J. J. P. **Saneamento básico e seus reflexos nas condições socioambientais da zona rural do Baixo Munim - MA.** UEMA, São Luís. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/453/1/JO%c3%83O%20JOS%c3%89%20PESSOA%20MOTA.pdf>>. Acesso em 16 de setembro de 2024.

NADUR, R. F. **Extensão universitária aplicada à melhoria do saneamento básico de comunidades isoladas.** Guaratinguetá, UNESP, 2022. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/035ab5df-428d-414c-8519-295c48951a33/content>>. Acesso em: 3 de outubro de 2024.

NETO, J. M. R. **O desafio do federalismo brasileiro no saneamento básico.** Interações, Campo Grande - MS. v. 23. n. 2, p. 441-456, abr./jun. 2022. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/inter/a/NVNVZVC3Mz8gjfqNHzPHFy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 21 de setembro de 2024.

NETO, O. E. O.; FERREIRA, H. T. O.; SVIERZOSKI, N. D. S.; CAMPOS, G. M.; WEBLER, A. D. **Qualidade da água de aquicultura em sistemas de recirculação (RAS) com sistema de tratamento alternativo.** Revista Presença Geográfica, vol. 9,

nº 3, 2022. Disponível em:< <http://portal.amelica.org/ameli/journal/274/2744782004/>>  
Acesso em: 30 de maio de 2025.

NETTO, J.C.S. **Sistemas Descentralizados de Esgotamento Sanitário: Análise Bibliométrica da Produção Científica Brasileira no Período 2000-2018** . São Cristóvão – SE, 2019. Disponível em:< [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15870/2/Joaquim\\_Castro\\_Silva\\_Netto.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15870/2/Joaquim_Castro_Silva_Netto.pdf) >, acesso em: 15 de outubro de 2024.

NOCKO, H. R. **Síntese do Plano Municipal de Saneamento Básico de Paranaguá**. Paranaguá, 2020. Disponível em: < [https://lageamb.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/05/Palestra7\\_PlanoMunicipalSaneamentoBasico.pdf](https://lageamb.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/05/Palestra7_PlanoMunicipalSaneamentoBasico.pdf) >. Acesso em: 29 de setembro de 2024.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal–sistemas híbridos**. 2008. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

OLIVER, A. P. M; SOUZA NETO, A . A.; DE QUADROS, D. G.; VALLADADRES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão** .Instituto Winrock Brasil, p. 23, Salvador-Ba,2008.

PARANÁ - PORTOS DO PARANÁ. **O RETRATO DAS COMUNIDADES DA BAÍA DE PARANAGUÁ. Comunidades do Litoral Paranaense**. 2021/2022. Disponível em: < [https://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos\\_restritos/files/documento/2021-08/appa\\_-\\_pga\\_-\\_pcs\\_-\\_cartilha\\_das\\_comunidades.pdf](https://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos_restritos/files/documento/2021-08/appa_-_pga_-_pcs_-_cartilha_das_comunidades.pdf)>. Acesso em: 30 de setembro de 2024.

PARANÁ - SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO. **Portos do Paraná e UFPR vão instalar sistema de esgoto em casas da Ilha de Eufrasia**. Portos do Paraná, 2024. Disponível em < <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Portos-do-Parana-e-UFPR-vao-instalar-sistema-de-esgoto-em-casas-da-Ilha-de-Eufrasia> >. Acesso em: 2 de outubro de 2024.

PARANÁ - SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Projeto da Portos Paraná leva saneamento básico a moradores de Eufrasia**. Paraná, 2023. Disponível em: < <https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Noticia/Projeto-da-Portos-do-Parana-leva-saneamento-basico-moradores-de-Eufrasia>>. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

PARANÁ - SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ. Decreto Nº 9541 DE 10/04/2025. 2025.

Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=410825>> . Acesso em: 30 de maio de 2025.

PELISSARI, C. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento superficial**. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PEREIRA, L. R. **Sistema descentralizado de esgotamento sanitário: solução para assentamentos rurais**. Rio Verde, 2023. Disponível em <[https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos\\_14/2024-03-14-02-18-44di sserta%C3%A7%C3%A3o\\_Leonardo\\_Reginaldo\\_Pereira.pdf](https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_14/2024-03-14-02-18-44di sserta%C3%A7%C3%A3o_Leonardo_Reginaldo_Pereira.pdf)> . Acesso em: 20 de outubro de 2024.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: 144f. Editora do autor, 2004.

PINTO, L. M.; MAGALHÃES, G. M.; SPALLETTI, L. T.; **Sistemas de filtros de águas cinzas como ferramenta de Educação Ambiental na Comunidade de São Miguel - Paranaguá - PR, no âmbito do monitoramento ambiental da Dragagem de Manutenção dos Portos de Paranaguá e Antonina**. Unisanta, Bioscience, vol.6,nº3, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.unisanta.br/BIO/article/view/348/348>> . Acesso em 14 de setembro de 2024.

PIRES, F.J. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário- -MG**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Saneamento ambiental), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 118p, 2012.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, M. A.; KONNERUP, D.; BRIX, H.; ARIAS, C. A. **Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade**. Water, v. 12, n. 6, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1744>> . Acesso em 22 maio 2025.

RODRIGUES, M. V. C. **Wetland construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto de um restaurante universitário**. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de

Engenharia ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

ROUBICEK, M. **O novo marco legal do saneamento básico sob análise**. Nexo Jornal. jun/ 2020. Disponível em: < [https://cogetes.epsjv.fiocruz.br/storage/ANEXO\\_GEOGRAFIA\\_1%C2%BAANO\\_O\\_NOVO\\_MARCO\\_LEGAL\\_DO\\_SANEAMENTO\\_B%C3%81SICO\\_SOB\\_ANALISE-a\\_5f065a9712d03.pdf](https://cogetes.epsjv.fiocruz.br/storage/ANEXO_GEOGRAFIA_1%C2%BAANO_O_NOVO_MARCO_LEGAL_DO_SANEAMENTO_B%C3%81SICO_SOB_ANALISE-a_5f065a9712d03.pdf)>. Acesso em: 1 de outubro de 2024.

ROSA, C. D.; BASSANI, L. **Projeto e dimensionamento de um sistema Wetland Construído em residência unifamiliar no município de Chapecó - SC e comparativo de custos com as lagoas de estabilização**. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2014. Disponível em: < [https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1393/1/ROSA.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1393/1/ROSA.pdf?utm_source=chatgpt.com) >. Acesso em: 23 de maio de 2025.

SANTOS, A. M. S. P.; VASQUES, P. H. R. P. **Pandemia, higienismo e saneamento básico: uma leitura da política urbana em tempos de covid-19**. Revista de Direito da Cidade. 13, 2 (abr. 2021), 866–900. Disponível em: < <https://www.e-publicacoes.uerj.br/rdc/article/view/54651> >. Acesso em: 30 de setembro de 2024.

SCALIZE, P.S; BEZERRA, N. R. (org.). **Curso de especialização de saneamento e saúde ambiental: Saneamento Rural**. Goiânia: CEGRAF UFG, 2020. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/688/o/Saneamento\\_Basico\\_Rural.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/688/o/Saneamento_Basico_Rural.pdf)>. Acesso em: 2 de maio de 2025.

SCHROEDER, A. K.; PELISSARI, C.; PEREIRA, L. D.; SEZERINO, P. H. **Avaliação de desempenho e custos aplicada aos wetlands construídos e tecnologias normatizadas empregadas no tratamento descentralizado de esgoto**. Revista DAE, São Paulo, v. 70, n. 236, p. 67–78, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/359815862>. Acesso em: 22 maio 2025.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Ed. do Autor. 144 p. 2004.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (Constructed Wetlands) no pós tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. UFSC, 2006. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103142/225786.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em 12 de outubro de 2024.

SEZERINO, P. H.; ROUSSO, B. Z.; PELISSARI, C. **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação**

**e boas práticas de operação e manutenção.** 1. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; FUNASA, 2018. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2019/01/Sezerino-et-al.-2018.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

SEZERINO, Pablo H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; M., M. E.; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.20, n.1, 2015.

SEZERINO, P. H.; SANTOS, M. O.; PELISSARI, C.; CELIS, G. S.; PHILIPPI, L. S. **Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos.** Revista de Engenharia e Ciências Ambientais, Curitiba, 2015. Disponível em: < <https://revistas.utfpr.edu.br/recc/article/viewFile/6637/4283> >. Acesso em: 21 de maio de 2025.

SEZERINO, P. H.; ROUSSO, B. Z.; PELISSARI, C.; SANTOS, M. O.; FREITAS, M. N.; FECHINE, V. Y.; LOPES, A. M. B. **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção.** Tubarão: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, 2018. Disponível em: <<https://gesad.ufsc.br/files/2019/01/Sezerino-et-al.-2018.pdf>> Acesso em: 30 maio 2025.

SILVA, A. B. **O Novo cenário institucional do saneamento no Brasil e sua Repercussão no Estado da Bahia.** UFBA, Salvador, 2023. Disponível em: < <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/37317/1/Aline%20Biterncourt%20da%20Silva.TCC%20-%20disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf> >. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

SILVA, B.D.; MOURA, J.M.B.M.; MONTAGNA, T.; RAMOS, C.A. **Proposta Construtiva de Sistemas Locais de Tratamento de Esgoto Sanitário.** Publicado. Ibirama, 2024. Disponível em:< [https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id\\_cpmenu/19312/PROPOS\\_1\\_17273813706289\\_19312.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/19312/PROPOS_1_17273813706289_19312.pdf) >. Acesso em: 13 de setembro de 2024.

SILVA, G. C.; VIEIRA, A. P. S.; ARMANI, F. A. S. **Desempenho dos serviços de água e Esgoto no Litoral do Paraná.** Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável, GUAJU, Matinhos, v.9, 2023. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/14a9/218ef860f78aa9a173f411098b7b03c73ebf.pdf> >. Acesso em 12 de setembro de 2024.

SILVA, J.F. **Avaliação da Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Cachorro em Fernando de Noronha.** Recife, 2023. Disponível em:\_\_\_< <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/50491/4/TCC%20Jonathas%20Ferreira%20da%20Silva.pdf> > . Acesso em 19 de setembro de 2024.

SILVA, S.C. **“WETLANDS CONSTRUÍDOS” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado sem tratamento de esgotos domésticos**. Brasília, 2007. Disponível em: < <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/05/tese-doutorado-Selma.pdf>>. Acesso em: 23 de setembro de 2024.

SILVA, M.; BUENO, R. F. **Avaliação de um wetland construído híbrido no tratamento de esgoto sanitário**. *Holos Environment*, 15(2), 211–222, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.14295/holos.v15i2.9580> > . Acesso em: 21 de maio de 2025.

SINISA. **Relatório dos Serviços de Esgotamento Sanitário: ano de referência 2023**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>. Acesso em: 22 maio 2025.

SOARES, L. R. P. **O novo marco regulatório do Saneamento Básico: análise das principais mudanças - Lei n.º 14.026**. Seminário Integração. 2022. Disponível em: < <https://seminariodeintegracao.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2022/04/O-NOVO-MARCO-REGULATORIO-DO-SANEAMENTO-BASICO-ANALISE-DAS-PRINCIPAIS-MUDANCAS-LEI-No-14.026.pdf>>. Acesso em 25 de setembro de 2024.

SOUZA, M. B. C.; OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, E. A. A. Q. **Saneamento básico: Reflexos da rede de distribuição de água na saúde de um município do interior do Tocantins**. ISSN: 1679-415X, Toledo, v. 26, n.3, edição especial: homenagem ao Prof. Dr. Moacir Piffer, p. 189-206, 2022. Disponível em: < <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/29619/21061>>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

SOUZA, M. R. de M. *et al.* **Orientações técnicas para cultivo – Taioba – *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott**. 1. ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021. Disponível em: <<https://www.epamig.br>>. Acesso em: 29 maio 2025.

SUGANYA, K.; KUMAR, J. E.; JAYASHEE, R.; SABASTIAN, P . **Influence of aquatic plants and flow rate on physico-chemical characteristics of sewage effluent treated through constructed wetland technology**. *International Journal of Environment and Climate Change*, v. 13, n. 3, p. 120–136, 2023. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/88021>. Acesso em: 22 maio 2025.

THESE, G. C. Desempenho de um sistema unifamiliar de baixo custo para tratamento de esgoto: tanque séptico e filtro anaeróbio econômico. UFMS,

Frederico Westphalen, RS. 2021. Disponível em: < <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/22284> >. Acesso em: 30 de maio de 2025.

TONETTI, A. L.; BRASIL A. L.; PEÑA, F. J; *et al.* **Tratamento De Esgotos Domésticos Em Comunidades Isoladas**. UNICAMP, São Paulo, 2018. Disponível em: < <https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2018/11/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Dom%C3%A9sticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepdf-compressed.pdf> >. Acesso em: 12 de setembro de 2024.

VALENTIM, M.A.A. **Desempenho de leitos cultivados para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação**. Dissertação (Doutorado Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 208p. 2003. Disponível em: < [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30\\_35b5846536aba80ca621317f309d4149](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_35b5846536aba80ca621317f309d4149) >. Acesso 19 de outubro de 2024.

VALENTIM, M.A.A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464096>>. Acesso em : 19 de outubro de 2024.

VASCONCELOS, E. U. de *et al.* **Inovação aberta em companhias de saneamento básico brasileiras**. Porto Alegre: **REAd – Revista Eletrônica de Administração**, vol. 29, n.º 3, p. 599-626, Setembro/Dezembro 2023. Disponível em: < <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/49613> > . Acesso em: 15 de março de 2024.

VIEIRA, S. P.; SILVA, A. B.; FREIRE, S. S.; CAVALCANTI, L. A. P. **Tratamento de água residuárias da indústria de laticínios por meio de wetland construído**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (2019), vol. 6, n. 13. p. 309-316. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Cavalcanti/publication/335097427\\_Tratamento\\_de\\_aguas\\_residuarias\\_da\\_industria\\_de\\_laticinios\\_por\\_meio\\_de\\_wetland\\_construido/links/6008afdf299bf14088ada3a3/Tratamento-de-aguas-residuarias-da-industria-de-laticinios-por-meio-de-wetland-construido.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Cavalcanti/publication/335097427_Tratamento_de_aguas_residuarias_da_industria_de_laticinios_por_meio_de_wetland_construido/links/6008afdf299bf14088ada3a3/Tratamento-de-aguas-residuarias-da-industria-de-laticinios-por-meio-de-wetland-construido.pdf) >. Acesso em: 01 de junho de 2025.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3º ed. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M. **Tecnologias de tratamento de esgotos**. Belo Horizonte , 2013. Disponível em: < [https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/marcos\\_von.pdf](https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/marcos_von.pdf) > Acesso em: 18 de outubro de 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4.ed. Belo Horizonte. Editora UFMG, Belo Horizonte. 2014.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias V. 1 – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. v. 1. London: IWA, 2007

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias V. 2 – Princípios básico do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, 1996.ii.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, PH **Dimensionamento de áreas úmidas construídas no Brasil**. Belo Horizonte, 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-2018-2.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro de 2024.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M.\* **Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. Eng Sanit Ambient | v.18 n.4 | out/dez 2013 | 313-322. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/VDNbwpxL4cTKjQmkN7V9YRj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 20 de setembro de 2024.

VYMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P.F., GREEN, M.B., HABERL, R. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe**. BackhuysPublishers, Leiden, The Netherlands, 1998.

WHO - UNICEF . **Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2020: Five Years into the SDGs**. Geneva, 2021. Disponível em: <<https://washdata.org/report/jmp-2021-wash-households>>. Acesso em: 1 de abril de 2024.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Dissertação (Doutorado Arquitetura - Urbanismo) Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, 219 p. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/427503>>. Acesso em 12 de outubro de 2024.