

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

LETÍCIA BEATRIZ DE LIMA

**SANEAMENTO EM COMUNIDADES ISOLADAS: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE
DE SISTEMAS ALTERNATIVOS EM UM ASSENTAMENTO RURAL**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA BEATRIZ DE LIMA

**SANEAMENTO EM COMUNIDADES ISOLADAS: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE
DE SISTEMAS ALTERNATIVOS EM UM ASSENTAMENTO RURAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil. Especialidade: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Profa. Dra. Liliane Lazzari Albertin
Orientadora

Prof. Dr. Maurício Augusto Leite
Co-orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L732s Lima, Letícia Beatriz de.
Saneamento em comunidades isoladas : implementação e análise de sistemas alternativos em um assentamento rural / Letícia Beatriz de Lima. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
98 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2022

Orientadora: Liliane Lazzari Albertin
Coorientador: Maurício Augusto Leite
Inclui bibliografia

1. Universalização do saneamento . 2. Clorador. 3. Filtro de carvão ativado . 4. SODIS. 5. Fossa biodigestora. 6. Sistema alagado construído .


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Serviço
Serviço Técnico de Biblioteca, Arquivamento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
UBA/E - 1909

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Saneamento em comunidades isoladas: implementação e análise de sistemas alternativos em um assentamento rural

AUTORA: LETÍCIA BEATRIZ DE LIMA

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI ALBERTIN

COORIENTADOR: MAURICIO AUGUSTO LEITE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in blue ink that reads "Liliane Lazzari Albertin".

Prof^a. Dr^a. LILIANE LAZZARI ALBERTIN (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. KATIA SAKIHAMA VENTURA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Prof. Dr. ALESSANDRO MINILLO (Participação Virtual)
Centro de Estudos em Recursos Naturais / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

Ilha Solteira, 14 de março de 2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me dá força nos dias difíceis, e aos meus mentores espirituais, que me acompanham e não me deixam esquecer minha missão na Terra.

À minha família, que sempre me apoiou, incentivou e tornou toda essa jornada possível.

Aos meus amigos, que estão sempre ao meu lado e tornam essa caminhada mais leve.

Aos meus orientadores acadêmicos, Profa. Dra. Liliane Lazzari Albertin e Prof. Dr. Maurício Augusto Leite, por acreditarem nesse projeto e me auxiliarem em sua concretização.

Aos docentes e pesquisadores que de alguma maneira contribuíram com a realização desse trabalho: Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira, Prof. Dr. Tsunao Matsumoto e Prof. Dr. Alessandro Minillo.

À Prefeitura Municipal de Ilha Solteira e Secretaria de Desenvolvimento Econômico, pela parceria nesse projeto.

Aos funcionários da Prefeitura, Alan e Maurício, por toda a dedicação, paciência e amizade.

Aos moradores do assentamento “Estrela da Ilha”, que me receberam de portas abertas e aceitaram fazer parte desse trabalho.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico-científico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Só me sinto digno das minhas asas se eu
as utilizar para fazer os outros voarem”.*

Augusto Cury

RESUMO

A universalização do saneamento básico no Brasil ainda é um grande desafio. Devido a dificuldades técnicas e econômicas, algumas áreas não são atendidas pelos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, as comunidades isoladas. Para suprir essa falta, a população dessas comunidades busca soluções alternativas de tratamento de água e esgoto, mas a falta de apoio do Poder Público e ausência de orientação técnica levam à adoção de métodos inadequados ou ao uso incorreto dos sistemas de tratamento. A presente pesquisa realizou um levantamento das condições socioeconômicas e sanitárias de um assentamento rural do município de Ilha Solteira (SP) por meio de entrevistas com os moradores seguindo um roteiro estruturado. A partir dos resultados, foi desenvolvido e entregue aos moradores um material didático a respeito de dois sistemas alternativos de tratamento de água (clorador e SODIS) e dois de tratamento de esgoto (fossa biodigestora e SAC). Posteriormente, esses sistemas foram adaptados e implementados experimentalmente em domicílios da comunidade. Foram avaliadas a eficiência do tratamento e a viabilidade econômica de cada sistema. Entre os sistemas de tratamento de água, o SODIS apresentou o melhor custo-benefício, alcançando eficiências de remoção de CT, *E. coli* e turbidez de, respectivamente, 98,14%, 96,35% e 44,98%. Entre os sistemas de tratamento de esgoto, o SAC apresentou o melhor custo-benefício, alcançando eficiências de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, NT e PT de, respectivamente, 48,79%, 78,04%, 81,14%, 53,27%, 44,87% e 73,73%. Os quatro sistemas analisados são economicamente acessíveis e podem ser implementados em maior escala em comunidades isoladas.

Palavras-chave: universalização do saneamento; clorador com filtro de carvão; desinfecção solar da água; fossa biodigestor; sistema alagado construído.

ABSTRACT

The universalization of basic sanitation in Brazil is still a big challenge. Due to technical and economic difficulties, some areas are not served by public water supply and sewage services, the isolated communities. To meet this need, the population of these communities seeks alternative solutions for water and sewage treatment, but the lack of support from the Government and the absence of technical guidance lead to the adoption of inadequate methods or to the incorrect use of treatment systems. This work carried out a survey of the socioeconomic and sanitary conditions of a rural settlement in Ilha Solteira (SP), Brazil, through interviews with the residents following a structured script. Based on the results, an informative booklet was developed and delivered to residents about two alternative water treatment systems (chlorinator and SODIS) and two sewage treatment systems (biodigester tank and constructed wetland). Posteriorly, these systems were adapted and experimentally implemented in the community households. Treatment efficiency and economic viability of each system were evaluated. Among the water treatment systems, SODIS presented the best cost-benefit, achieving TC, *E. coli* and turbidity removal efficiencies of, respectively, 98.14%, 96.35% and 44.98%. Among the sewage treatment systems, the constructed wetland presented the best cost-benefit, achieving turbidity, BOD, COD, TS, TN and TP removal efficiencies of, respectively, 48.79%, 78.04%, 81.14%, 53.27%, 44.87% and 73.73%. The four analyzed systems are affordable and can be implemented on a larger scale in isolated communities.

Keywords: universal sanitation; chlorinator with carbon filter; solar water disinfection; biodigester tank; constructed wetland.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquema de um clorador.....	20
Figura 2	– Subprodutos da cloração.....	21
Figura 3	– Esquema de um filtro de carvão ativado.....	22
Figura 4	– Magnetita formada na superfície do carvão ativado.....	23
Figura 5	– Esquema de um SODIS.....	24
Figura 6	– SODIS com telhas de aço galvanizado e garrafas PET.....	25
Figura 7	– Esquema de uma fossa séptica.....	26
Figura 8	– Esquema de uma fossa biodigestora.....	28
Figura 9	– Fossa biodigestora adaptada para várzeas.....	29
Figura 10	– Esquema de um SAC.....	30
Figura 11	– Localização de Ilha Solteira (SP).....	32
Figura 12	– Entrevista com morador do assentamento.....	34
Figura 13	– Indicação dos lotes do assentamento rural investigados em abril de 2021.....	34
Figura 14	– Captação de água em poço raso.....	36
Figura 15	– Lançamento de esgoto em fossa rudimentar.....	36
Figura 16	– Lançamento de águas cinzas a céu aberto.....	37
Figura 17	– Clorador adaptado com filtro de carvão.....	38
Figura 18	– Adição de cloro no sistema.....	38
Figura 19	– SODIS em funcionamento.....	40
Figura 20	– Disposição das caixas na vala.....	41
Figura 21	– Vedação das caixas da fossa biodigestora.....	42
Figura 22	– Fossa biodigestora em funcionamento.....	42
Figura 23	– Detalhamento do SAC (em metros).....	44
Figura 24	– Vedação da lona com abraçadeira.....	45
Figura 25	– Preenchimento do leito do SAC.....	45
Figura 26	– Taboas plantadas no SAC.....	46
Figura 27	– Caixa de decantação e caixa de gordura.....	47
Figura 28	– Coleta de amostra na saída da fossa biodigestora.....	49
Figura 29	– Gênero dos entrevistados.....	51
Figura 30	– Cor/raça dos entrevistados.....	52

Figura 31	–	Classe social dos entrevistados.....	52
Figura 32	–	Faixa etária dos entrevistados.....	53
Figura 33	–	Estado civil dos entrevistados.....	53
Figura 34	–	Principal forma de abastecimento de água dos entrevistados.....	54
Figura 35	–	Profundidade do poço dos entrevistados.....	54
Figura 36	–	Tratamento de água dos entrevistados.....	55
Figura 37	–	Principal forma de esgotamento sanitário dos entrevistados.....	56
Figura 38	–	Problemas com pragas.....	57
Figura 39	–	Distância entre poço e fossa dos entrevistados.....	57
Figura 40	–	Explicação do material ao morador.....	59
Figura 41	–	Eficiências dos sistemas de tratamento de água.....	64
Figura 42	–	Eficiências dos sistemas de tratamento de esgoto.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Custos e benefícios da expansão do saneamento no Brasil (2016 a 2036).....	18
Tabela 2	– Eficiência da fossa séptica com tratamentos complementares (%)......	27
Tabela 3	– Mecanismos de remoção de poluentes no SAC.....	30
Tabela 4	– Materiais utilizados no clorador com filtro de carvão.....	39
Tabela 5	– Materiais utilizados no SODIS.....	40
Tabela 6	– Materiais utilizados na fossa biodigestora.....	43
Tabela 7	– Materiais utilizados no SAC.....	47
Tabela 8	– Pontos de coleta e frequência de coleta de cada sistema.....	48
Tabela 9	– Parâmetros analisados nos sistemas e métodos utilizados.....	49
Tabela 10	– Valor médio de CRL no clorador com filtro.....	59
Tabela 11	– Valores médios de CT nos sistemas de tratamento de água.....	60
Tabela 12	– Valores médios de <i>E. coli</i> nos sistemas de tratamento de água....	61
Tabela 13	– Valores médios de T nos sistemas de tratamento de água.....	62
Tabela 14	– Valores médios de pH nos sistemas de tratamento de água.....	62
Tabela 15	– Valores médios de turbidez nos sistemas de tratamento de água	63
Tabela 16	– Valores médios de T nos sistemas de tratamento de esgoto.....	65
Tabela 17	– Valores médios de pH nos sistemas de tratamento de esgoto.....	66
Tabela 18	– Valores médios de turbidez nos sistemas de tratamento de esgoto.....	67
Tabela 19	– Valores médios de DBO nos sistemas de tratamento de esgoto...	68
Tabela 20	– Valores médios de DQO nos sistemas de tratamento de esgoto...	69
Tabela 21	– Valores médios de ST nos sistemas de tratamento de esgoto.....	70
Tabela 22	– Valores médios de NT nos sistemas de tratamento de esgoto.....	70
Tabela 23	– Valores médios de PT nos sistemas de tratamento de esgoto.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL.....	17
3.1.1	Custos e benefícios da universalização.....	17
3.1.2	Novo marco regulatório do saneamento básico.....	19
3.2	SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	20
3.2.1	Clorador.....	20
3.2.2	Filtro de carvão ativado.....	22
3.2.3	Sistema de desinfecção solar.....	24
3.3	SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	26
3.3.1	Fossa séptica com sumidouro.....	26
3.3.2	Fossa biodigestora.....	27
3.3.3	Sistema alagado construído.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO.....	33
4.3	ELABORAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO.....	35
4.4	IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO.....	35
4.4.1	Escolha dos lotes.....	35
4.4.2	Construção dos sistemas.....	37
4.4.2.1	Clorador com filtro de carvão.....	37
4.4.2.2	Sistema de desinfecção solar.....	39
4.4.2.3	Fossa biodigestora.....	40
4.4.2.4	Sistema alagado construído.....	43
4.5	MONITORAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO.....	48
4.5.1	Coleta das amostras.....	48
4.5.2	Análises físico-químicas e microbiológicas.....	49
4.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	50

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO.....	51
5.1.1	Perfil socioeconômico.....	51
5.1.2	Condições de abastecimento de água.....	53
5.1.3	Condições de esgotamento sanitário.....	56
5.2	MATERIAL DIDÁTICO.....	58
5.3	MONITORAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO.....	59
5.3.1	Tratamento de água.....	59
5.3.1.1	Cloro residual livre.....	59
5.3.1.2	Coliformes totais.....	60
5.3.1.3	<i>E. coli</i>	60
5.3.1.4	Temperatura.....	61
5.3.1.5	pH.....	62
5.3.1.6	Turbidez.....	63
5.3.1.7	Comparação dos sistemas.....	64
5.3.2	Tratamento de esgoto.....	65
5.3.2.1	Temperatura.....	65
5.3.2.2	pH.....	66
5.3.2.3	Turbidez.....	66
5.3.2.4	DBO.....	67
5.3.2.5	DQO.....	68
5.3.2.6	Sólidos totais.....	69
5.3.2.7	Nitrogênio total.....	70
5.3.2.8	Fósforo total.....	71
5.3.2.9	Comparação dos sistemas.....	72
6	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	76
	APÊNDICE A – Formulário da pesquisa.....	87
	APÊNDICE B – Material didático.....	89

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007). Além disso, segundo o Artigo 225 da Constituição Federal, todos os cidadãos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, entendido como um bem de uso comum e essencial à qualidade de vida saudável (BRASIL, 1988). Desta maneira, o saneamento básico não deve ser considerado apenas uma prestação de serviços, mas também uma política incumbida ao Poder Público para assegurar a efetividade de um direito social.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-contínua), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019, 85,50% dos municípios conta com abastecimento de água por rede geral de distribuição, mas apenas 68,30% tem acesso ao esgotamento sanitário por rede coletora (IBGE, 2020a). As áreas que não são atendidas por esses serviços públicos são chamadas de comunidades isoladas. Elas geralmente estão localizadas nas zonas periféricas das cidades ou em comunidades de difícil acesso, como áreas rurais, aglomerados subnormais (favelas), terras indígenas e territórios quilombolas (TONETTI *et al.*, 2018).

Conforme dados levantados pelo mais recente censo demográfico do IBGE (2011), 15,60% da população brasileira reside em áreas rurais. Ademais, 13,20% dos municípios apresentam ocupações irregulares urbanas. As localidades indígenas estão presentes em 14,90% dos municípios e em 30,00% deles foram identificadas comunidades quilombolas (IBGE, 2020b). Os principais obstáculos para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico nessas comunidades são dificuldades de ordem técnica e econômica e a ausência de incentivos do Poder Público (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2016).

Um grande problema que ocorre nas comunidades isoladas são as chamadas Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI). Segundo o Painel de Saneamento do Instituto Trata Brasil (2019), elas foram responsáveis por mais de 273.000 internações hospitalares no ano de 2019, sendo o Norte a região com a maior incidência por número de habitantes. Não por acaso, é a área com a maior proporção de municípios sem rede de distribuição de água e coleta de esgoto (IBGE, 2020c). Entre essas doenças, a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) dá destaque para as diarreias, febres entéricas, hepatite A, leptospirose, esquistossomose, malária e arboviroses (BRASIL, 2010). Sem contar com a COVID-19, doença que provocou a maior pandemia do século XXI e que tem como uma de suas profilaxias a higienização das mãos com água e sabão (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS, 2021).

Para atenuar esse problema, as comunidades isoladas acabam adotando soluções alternativas de saneamento básico, os sistemas descentralizados. Diferente dos sistemas convencionais, nos quais longas redes de tubulações conectam as casas a estações de tratamento de água e esgoto de grande porte, os sistemas descentralizados são aqueles operados no próprio local com uma infraestrutura reduzida (SUBTIL *et al.*, 2016). Segundo a PNAD-contínua de 2019, entre as soluções alternativas à rede geral de abastecimento de água, as mais utilizadas são o poço profundo, o poço raso e carros-pipa. Entre as soluções alternativas à rede coletora de esgoto, a fossa séptica, a fossa rudimentar e valas a céu aberto são as mais comuns (IBGE, 2020a).

Apesar dos sistemas descentralizados suprirem a falta dos serviços públicos de saneamento, sua construção e gerenciamento são feitos pela própria comunidade, geralmente sem nenhum conhecimento ou apoio técnico (TONETTI *et al.*, 2018). De acordo com Garrido *et al.* (2016), essa falta de assistência pode levar à utilização de métodos precários ou à sua operação incorreta, causando prejuízo aos usuários e ao meio ambiente.

Segundo Moreira (2020), um recurso que pode ser adotado para levar conhecimento a grupos minoritários é a educomunicação, estratégia que visa democratizar a informação utilizando os meios de comunicação. Para Marques e Nicolodi (2021), as cartilhas são ferramentas educacionais que promovem a sensibilização social e criam pontes entre o conhecimento acadêmico e os cidadãos.

Sendo assim, a presente pesquisa analisou as condições socioeconômicas e sanitárias de uma comunidade rural do município de Ilha Solteira (SP) e elaborou um material didático em forma de cartilha informativa a respeito de sistemas de tratamento de água e esgoto compatíveis com a realidade local. Posteriormente, esses sistemas foram implementados experimentalmente em propriedades da comunidade. Desta forma, buscou-se aprimorar os conhecimentos dos moradores sobre saneamento básico, incentivar a adoção de soluções alternativas simples, seguras e sustentáveis e analisar seu custo-benefício.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Implementar sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto em uma área não atendida pelos serviços públicos de saneamento básico (comunidade isolada) e analisar o custo-benefício de cada sistema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as condições socioeconômicas e sanitárias de um assentamento rural do município de Ilha Solteira (SP);
- Implementar na comunidade dois sistemas alternativos de tratamento de água (clorador com filtro de carvão ativado e sistema de desinfecção solar);
- Implementar na comunidade dois sistemas alternativos de tratamento de esgoto (fossa biodigestora e sistema alagado construído);
- Determinar a eficiência dos tratamentos por meio de análises físico-químicas e microbiológicas; e
- Analisar o custo-benefício dos referidos sistemas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL

3.1.1 Custos e benefícios da universalização

Segundo a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, conhecida como o novo marco regulatório do saneamento, universalização é a “[...] ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico [...]” (BRASIL, 2020). Como exposto anteriormente, a falta desses serviços provoca prejuízos tanto para o meio ambiente, quanto para a sociedade de um modo geral. Um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (2018) mostrou que a expansão do saneamento acarreta custos com investimento e operação da infraestrutura em um primeiro momento, mas promove diversos benefícios econômicos e sociais em um horizonte de longo prazo.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), elaborado pelo Ministério das Cidades em 2013, seria necessário um investimento de aproximadamente 25 bilhões de reais por ano em medidas estruturais (infraestrutura) e estruturantes (suporte à prestação de serviços) para atingir a universalização do saneamento básico até o ano de 2033 (BRASIL, 2013). Entretanto, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), obtidos no último diagnóstico dos serviços de água e esgoto, o total de investimentos realizados no setor no ano de 2020 foi de 13,7 bilhões de reais (BRASIL, 2021a).

Esse déficit de investimentos em saneamento acaba afetando a economia do país direta e indiretamente. Com o aumento da incidência das DRSAI, há um aumento das despesas públicas com o tratamento das pessoas infectadas por meio do Sistema Único de Saúde (SUS). Além disso, os trabalhadores apresentam uma queda de produtividade, ocasionando inclusive seu afastamento das atividades laborais, o que acarreta em custos com horas não trabalhadas. Do mesmo modo, os estudantes têm seu desempenho escolar prejudicado, impactando a longo prazo o mercado de trabalho e a renda das famílias. O investimento no setor traria melhores condições de saúde para a população e, conseqüentemente, uma economia para os cofres públicos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018).

Outro benefício da universalização é a valorização de atividades econômicas vinculadas às condições do ambiente, como o turismo. Ali *et al.* (2018) estudaram a relação de longo prazo entre saneamento, turismo e o total de reservas de 19 países da Ásia e concluíram que a melhoria do saneamento atrai mais turistas e influencia diretamente na reserva cambial. Segundo Wamboye *et al.* (2020), as pessoas são mais propensas a viajar para países que possuem infraestruturas bem desenvolvidas, incluindo instalações de água e esgoto. Ademais, a melhoria da infraestrutura urbana também agrega valor às edificações e estimula o desenvolvimento imobiliário (CAI *et al.*, 2020).

Aumentando a lista dos pontos positivos, o mencionado estudo do Instituto Trata Brasil (2018) ainda inclui a geração de empregos na construção civil, com as obras de ampliação, e na operação dos sistemas de saneamento. Acrescenta também a arrecadação de impostos sobre o consumo e a produção. A Tabela 1 mostra uma estimativa de custos e benefícios da universalização para o período de 2016 a 2036, resultando em um balanço positivo de mais de 1,1 trilhão de reais. Espera-se que o cenário otimista atraia mais investimentos no setor, sejam eles provenientes dos agentes federais, dos próprios prestadores de serviços ou da iniciativa privada.

Tabela 1 – Custos e benefícios da expansão do saneamento no Brasil (2016 a 2036)

CUSTOS	VALOR (BILHÕES DE R\$)
Investimentos	241,269
Operações	154,314
BENEFÍCIOS	VALOR (BILHÕES DE R\$)
Redução dos custos com a saúde	5,949
Aumento da produtividade do trabalho	190,374
Renda do turismo	42,860
Renda da valorização imobiliária	447,457
Renda da construção civil	301,933
Renda das operações	489,920
Arrecadação de impostos	42,825
TOTAL	RS 1,125 TRILHÃO

Fonte: Instituto Trata Brasil (2018).

3.1.2 Novo marco regulatório do saneamento básico

Com o intuito de viabilizar a universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil até o ano de 2033, foi aprovada em 2020 uma atualização do marco regulatório deste setor. A meta é garantir água potável para 99% dos brasileiros, além de coletar e tratar os esgotos de pelo menos 90% da população (BRASIL, 2020). Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2020), nova responsável pelas normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento, essa lei estrutura um ambiente de segurança jurídica que atrairá mais investimentos na área. E as licitações para a concessão desses serviços (nas quais poderão concorrer empresas públicas e privadas) estimularão a competitividade, impulsionando a qualidade e eficiência dos sistemas.

Ainda de acordo com a ANA (2020), um dos pontos mais importantes da nova lei são os blocos regionais. Os municípios poderão se agrupar para contratarem os serviços de saneamento de forma coletiva, auxiliando assim aqueles que têm menos recursos. E se os recursos oriundos das tarifas não forem suficientes para atingir a sustentabilidade econômico-financeira do município (ainda que este participe de bloco regional), a lei prevê a aplicação de recursos da União, desde que a prestação dos serviços esteja em conformidade com as diretrizes e objetivos estabelecidos pelas normas (BRASIL, 2020).

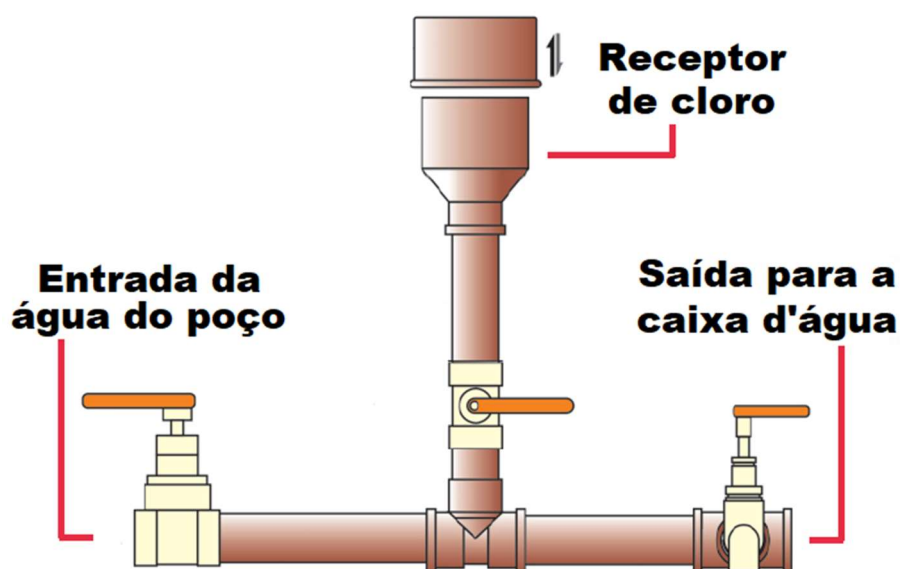
Além disso, o novo marco regulatório estabelece que a Política Federal de Saneamento Básico deverá proporcionar soluções para a salubridade ambiental das populações rurais, povos indígenas e outras comunidades tradicionais, compatíveis com suas peculiaridades sociais, econômicas e culturais. Também fica estabelecido que as normas instituídas pela ANA deverão conter metas para a ampliação da cobertura dos serviços públicos de saneamento básico. Apesar disso, o texto não garante que a ampliação contemple as comunidades citadas. Nos casos de prestação dos serviços por meio de contrato, não é estabelecido nenhum tipo de obrigação para o atendimento destas populações, sendo inclusive dispensável para as entidades reguladoras a previsão da utilização de métodos alternativos para o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto (BRASIL, 2020).

3.2 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

3.2.1 Clorador

Como exposto anteriormente, a solução alternativa à rede geral de abastecimento de água mais adotada no Brasil são os poços, empregados em 10,30% das residências (IBGE, 2020a). Visto que nem sempre essa água é potável, é necessário realizar sua desinfecção antes do consumo humano, processo que inativa os microrganismos patogênicos. O desinfetante mais indicado para este fim é o cloro, devido à sua ação germicida e alta capacidade oxidante. Além disso, seu efeito residual permite fácil monitoramento no sistema de abastecimento. Esse elemento geralmente é utilizado na forma de hipoclorito de cálcio e dosado com um clorador, equipamento que deve ser instalado entre a saída do poço e a entrada do reservatório de água (BRASIL, 2014). A Figura 1 mostra o esquema de um clorador simplificado desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) para propriedades rurais.

Figura 1 – Esquema de um clorador



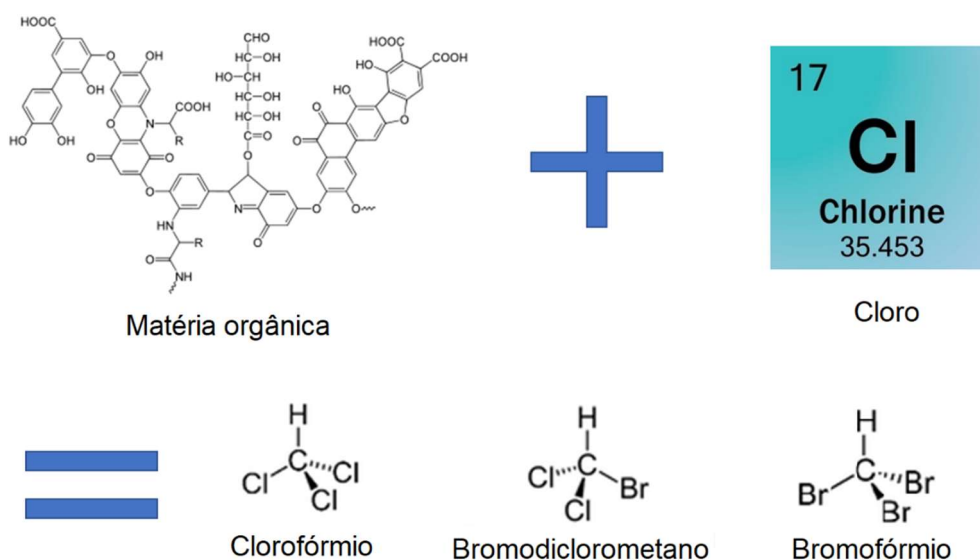
Fonte: Adaptada de Embrapa (2014).

A Portaria do Ministério da Saúde nº 888, de 4 de maio de 2021, dispõe sobre o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O documento se aplica tanto à água proveniente de sistemas de

abastecimento, quanto de soluções alternativas. Para soluções coletivas, é obrigatória a manutenção de uma concentração de cloro residual livre de pelo menos $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ no reservatório e na rede (BRASIL, 2021b). De acordo com a Embrapa (2014), a aplicação de uma colher de café (1,50 g) de hipoclorito de cálcio no equipamento clorador é suficiente para realizar a desinfecção da água em um reservatório de 1.000 L, após um tempo de contato de 30 minutos. O procedimento deve ser feito uma vez ao dia para garantir a desinfecção da água.

O excesso de cloro residual deve ser evitado, porque o contato desse elemento com a matéria orgânica natural da água bruta forma alguns subprodutos que podem ser prejudiciais à saúde, como os trihalometanos (Figura 2) e ácidos haloacéticos (MAZHAR *et al.*, 2020). Os efeitos de tais compostos no organismo variam entre mutações, câncer, anemia, retardo do crescimento e doenças do sistema reprodutivo. Muitas tecnologias de pré e pós-tratamento vêm sendo estudadas para reduzir a formação dessas substâncias ou removê-las, como os filtros de carvão ativado. Outra solução seria utilizar métodos alternativos à cloração, como a desinfecção com radiação ultravioleta, que não gera estes subprodutos (SRIVASTAV *et al.*; CHEN *et al.*; GOLEA *et al.*, 2020).

Figura 2 – Subprodutos da cloração

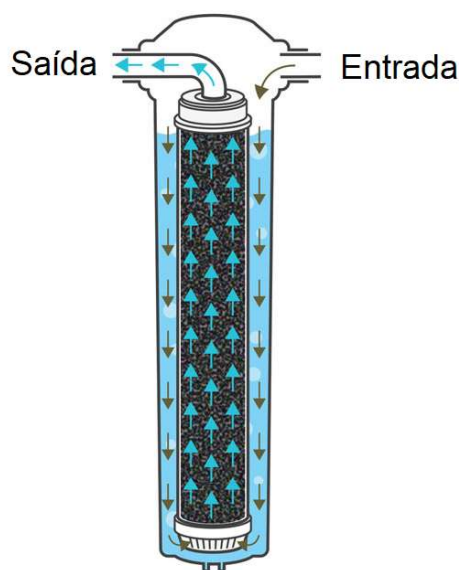


Fonte: Adaptada de MANTECH (2020).

3.2.2 Filtro de carvão ativado

O carvão ativado é um material de carbono com alta porosidade e ampla área superficial, podendo chegar a $2.500 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. Sua estrutura microporosa garante uma elevada capacidade de adsorção, motivo pelo qual é muito utilizado para filtrar, remover ou modificar componentes indesejados de gases e líquidos (BANSAL; GOYAL, 2005). Depois de um tempo de uso, o crescimento de microrganismos no meio poroso pode transformar o processo em uma biofiltração, possibilitando também a remoção de matéria orgânica do fluido (BASU *et al.*, 2015). O filtro de carvão ativado é uma unidade de purificação de água que pode ser instalada diretamente no ponto de uso (torneiras) ou ser empregada como pré-tratamento de processos de desinfecção, como a cloração (CHEN *et al.*, 2020). A Figura 3 mostra um esquema desse sistema de tratamento.

Figura 3 – Esquema de um filtro de carvão ativado



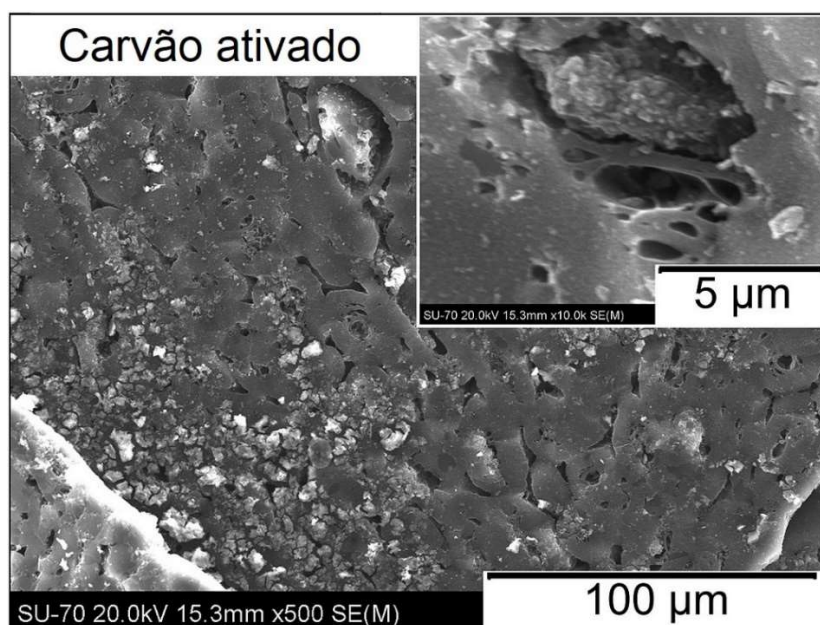
Fonte: Adaptada de Max Water (2020).

Cuthbertson *et al.* (2019) avaliaram a performance do carvão ativado em três estações de tratamento de água. O estudo concluiu que, utilizando esse material antes da desinfecção com cloro, a formação de trihalometanos e ácidos haloacéticos é reduzida devido à remoção da matéria orgânica da água. Além disso, os autores observaram que quando o carvão ativado é utilizado após a cloração, ocorre a remoção desses subprodutos já formados. Uma pesquisa realizada por Jiang *et al.*

(2018) analisou a capacidade de adsorção do carvão ativado depois da cloração, sob diferentes tempos de contato. Os autores observaram que aumentando o tempo de contato do cloro de 30 minutos para três horas, houve um aumento de 61,00% para 75,00% na remoção dos subprodutos da desinfecção devido à formação de intermediários aromáticos, compostos adsorvidos com mais facilidade.

Além dos subprodutos da cloração, outros compostos também podem ser adsorvidos por esse material, como os íons metálicos. Queiroz *et al.* (2020) produziram carvão ativado a partir de sementes de açaí e observaram uma eficiência de remoção de 86,00% para chumbo e 69,00% para ferro, resultados superiores aos obtidos com carvão comercial. Propolsky *et al.* (2020) modificaram grânulos de carvão pelo método da síntese por combustão em solução (SCS) e notaram uma remoção de ferro de águas subterrâneas três vezes maior em relação ao carvão não modificado. O resultado foi atribuído à formação de estruturas cristalinas de magnetita, que aumentaram a área superficial dos grânulos e sua capacidade catalítica. A Figura 4 mostra os nanocristais formados na superfície do material, observados em um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Figura 4 – Magnetita formada na superfície do carvão ativado

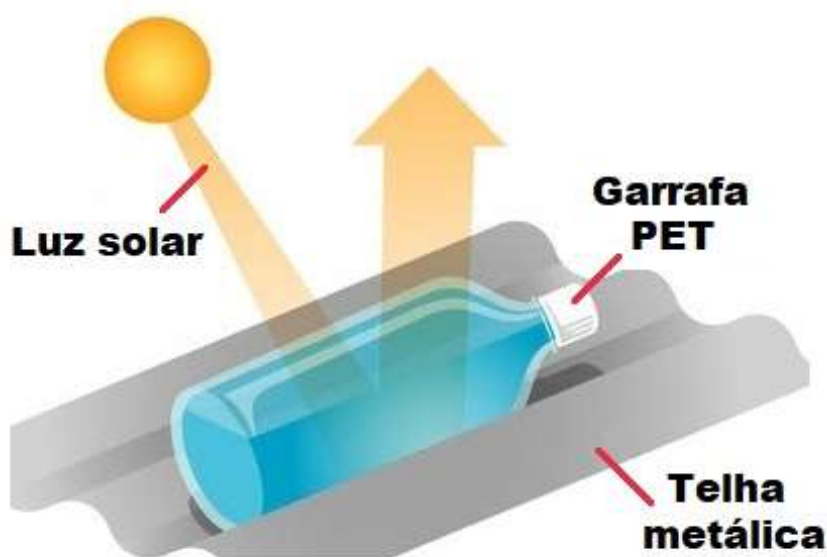


Fonte: Adaptada de Propolsky *et al.* (2020).

3.2.3 Sistema de desinfecção solar

O sistema de desinfecção solar, também conhecido como SODIS (*solar disinfection*), é um método de inativação de microrganismos patogênicos presentes na água por meio da radiação do sol. Os primeiros estudos deste método foram desenvolvidos por Acra *et al.* (1984), cujos experimentos confirmaram que as bactérias são destruídas ao serem expostas à luz solar por um período de tempo adequado. Também foi observado que o declínio das bactérias com o tempo de exposição segue uma curva exponencial decrescente, padrão típico da desinfecção química, como a cloração. No SODIS, a água é colocada em garrafas transparentes e exposta ao sol por pelo menos seis horas, ou 48 horas em dias nublados. A desinfecção ocorre devido à radiação ultravioleta, que causa modificações no DNA dos microrganismos, e à radiação infravermelha, que promove a pasteurização da água (EAWAG/SANDEC, 2016). A Figura 5 mostra um esquema desse sistema de tratamento.

Figura 5 – Esquema de um SODIS



Fonte: Adaptada de EdgeFX (2017).

Diversos estudos vêm sendo realizados para melhorar o SODIS. García-Gil *et al.* (2020) avaliaram alguns dispositivos plásticos e destacaram três materiais como os mais adequados para este sistema: polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) e acrílico (PMMA). Os autores concluíram que o PP tem baixa durabilidade,

mas sua substituição é economicamente viável; o PET tem durabilidade e custos de produção moderados; e o PMMA é mais caro, mas altamente durável. Kehoe *et al.* (2001) estudaram os efeitos de diferentes procedimentos na eficiência do sistema e fizeram algumas recomendações para aumentar a inativação bacteriana: i) filtrar a água para reduzir a turbidez e aumentar a penetração da luz; ii) não encher totalmente as garrafas e agitá-las por pelo menos um minuto para aumentar o nível de oxigênio dissolvido inicial; e iii) colocar as garrafas em uma superfície refletora para aumentar a temperatura da água. A Figura 6 mostra um experimento utilizando telhas de aço galvanizado como suporte para garrafas PET.

Figura 6 – SODIS com telhas de aço galvanizado e garrafas PET



Fonte: Vivar *et al.* (2015).

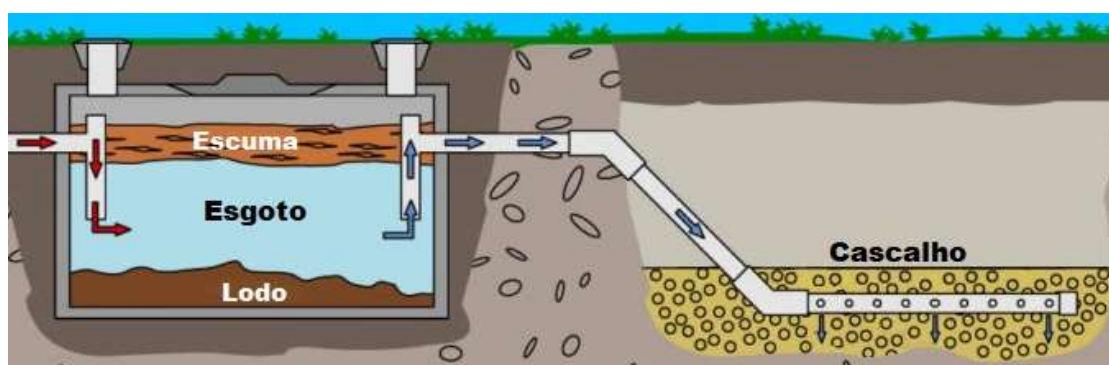
O SODIS tem se mostrado muito eficaz na diminuição da incidência de doenças transmitidas pela água, como cólera e disenteria (PICHEL *et al.*, 2019). Um estudo realizado em uma favela do sul da Índia comprovou uma redução de 40,00% nos casos de diarreia entre crianças menores de cinco anos de idade. Além disso, observou-se que a duração e a gravidade dos episódios foram significativamente atenuadas (ROSE *et al.*, 2006). Uma pesquisa feita com 2.911 famílias de favelas de laundê, capital dos Camarões, obteve resultados similares. Os autores concluíram que a implementação do SODIS reduziu o risco de diarreia em 42,50%, comprovando a eficiência do sistema e sua benéfica contribuição na área da saúde (GRAF *et al.*, 2010).

3.3 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

3.3.1 Fossa séptica com sumidouro

Como previamente apontado, a fossa séptica é a solução alternativa à rede coletora de esgoto mais utilizada no Brasil, estando presente em 19,10% dos domicílios (IBGE, 2020a). De acordo com Von Sperling (2011), esse sistema realiza um tratamento a nível primário, predominado por mecanismos físicos. O esgoto entra em um tanque impermeável e os sólidos sedimentam no fundo, onde as bactérias anaeróbias promovem sua estabilização por meio da fermentação. A fase líquida passa para outro compartimento preenchido com meio poroso, o sumidouro, e infiltra no solo. Para manter seu funcionamento, parte do lodo formado no tanque deve ser retirado periodicamente (ABNT, 1997). A Figura 7 mostra um esquema desse sistema de tratamento.

Figura 7 – Esquema de uma fossa séptica



Fonte: Adaptada de SOS Liquid Waste (2020).

A NBR 13969 trata sobre projeto, construção, operação, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos das fossas sépticas. Conforme a norma, a fossa com infiltração promove uma remoção de 50% a 80% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), 40% a 75% da demanda química de oxigênio (DQO), 70% a 95% dos sólidos não filtráveis, 100% dos sólidos sedimentáveis e 99,5% dos coliformes fecais (ABNT, 1997). Mas, segundo Pishgar *et al.* (2021), esse sistema não remove efetivamente as cargas de nutrientes presentes no esgoto.

De acordo Goel e Kansal (2020), o líquido efluente das fossas sépticas é uma fonte potencial de fósforo (P). Isto porque a digestão anaeróbia que ocorre no tanque converte o P orgânico do esgoto em ortofosfato, sua forma solúvel que fertiliza o solo. Outro nutriente presente na saída do sistema é o nitrogênio (N), que aparece na forma de amônio, nitrito e nitrato (GEARY, 2005). Segundo Withers *et al.* (2011), a infiltração desses nutrientes no solo pode contaminar as águas subterrâneas, sendo este um dos principais problemas ambientais ocasionados pelas fossas sépticas. Por meio dos fluxos subterrâneos, mananciais superficiais também podem ser contaminados, ocasionando a eutrofização dos corpos d'água (ZHU *et al.*, 2016). Diante desse cenário, se faz necessária a utilização de tratamentos complementares à fossa séptica. A Tabela 2 mostra as faixas prováveis de remoção de poluentes para alguns tipos de tratamentos complementares, considerando o conjunto com o tanque principal.

Tabela 2 – Eficiência da fossa séptica com tratamentos complementares (%)

PARÂMETRO	TRATAMENTO COMPLEMENTAR		
	FILTRO AERÓBIO	FILTRO DE AREIA	LAGOA COM PLANTAS
DBO	60 a 95	50 a 85	70 a 90
DQO	50 a 80	40 a 75	70 a 85
Sólidos não filtráveis	80 a 95	70 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentáveis	90	100	100
Coliformes fecais	-	99	-
Nitrogênio amoniacal	30 a 80	50 a 80	70 a 90
Nitrato	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	30 a 70	30 a 70	70 a 90

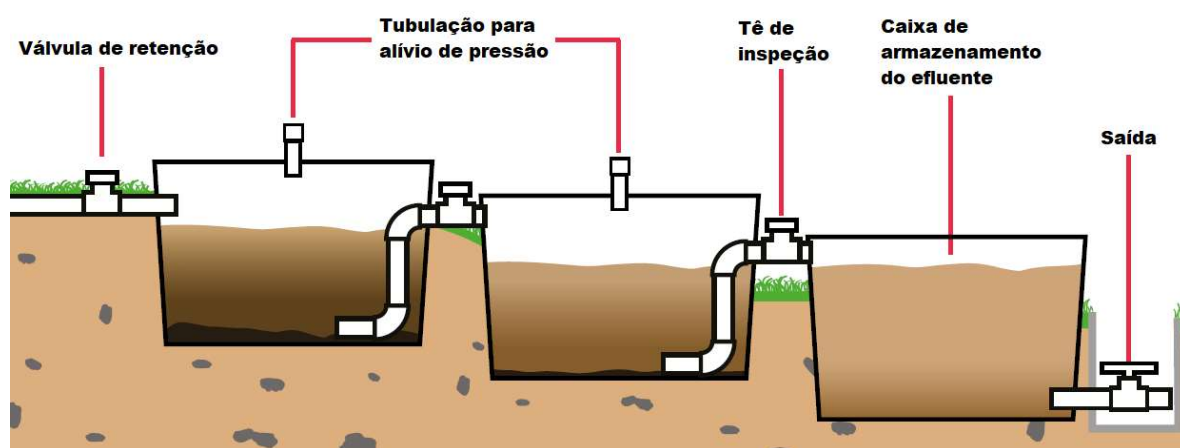
Fonte: ABNT (1997).

3.3.2 Fossa biodigestora

Diferentemente da fossa séptica comum, a fossa biodigestora é considerada um tratamento secundário, predominado por processos biológicos, que promove a remoção da matéria orgânica (VON SPERLING, 2011). Ela é composta por três caixas conectadas, através das quais o esgoto passa enquanto ocorre a biodigestão anaeróbia. Para esse processo acontecer, é necessário abastecer mensalmente a

primeira caixa com uma mistura de esterco bovino e água. O esterco é rico em microrganismos anaeróbios, que vão acelerar a decomposição dos dejetos humanos, além de eliminar as substâncias que provocam mau odor. A última caixa armazena o líquido efluente do sistema, que pode ser utilizado como biofertilizante (EMBRAPA, 2014). A Figura 8 mostra um esquema desse sistema de tratamento.

Figura 8 – Esquema de uma fossa biodigestora



Fonte: Adaptada de Tonetti *et al.* (2018).

Lara *et al.* (2019) testaram o desempenho de inoculantes alternativos ao esterco bovino em sistemas de fossa biodigestora. Utilizando sedimento de brejo, observaram uma maior eficiência na remoção da DBO, DQO e coliformes totais, em comparação com os sistemas abastecidos com o insumo original. Apesar disso, as concentrações menores de nitrogênio e micronutrientes obtidas no efluente final podem afetar o desempenho do líquido como biofertilizante, uma vez que essas substâncias são essenciais à nutrição das plantas (EMBRAPA, 2014). No entanto, o estudo concluiu que o sedimento de brejo é um potencial substituto para o esterco bovino, viabilizando assim a instalação de fossas biodigestoras em propriedades rurais que não possuem criação de gado.

Segundo a Embrapa (2019), águas pluviais não devem entrar no sistema. As águas de chuva ou enxurrada provocariam uma diluição do esgoto, diminuindo a concentração de matéria orgânica, o que prejudica a eficiência do tratamento. Por esse motivo, não é recomendado fazer a instalação da fossa biodigestora em áreas alagáveis ou próximas a rios. Pensando nas comunidades dessas áreas, Oliveira *et al.* (2018a) desenvolveram adaptações no sistema, consistidas na suspensão das

caixas por meio de uma estrutura de madeira. A estrutura mantém as caixas acima do nível da água mesmo nos períodos de cheia. Dessa forma, comunidades ribeirinhas também podem utilizar esse sistema de tratamento de esgoto, desde que devidamente adaptado. A Figura 9 mostra uma fossa biodigestora instalada na Ilha das Cinzas, comunidade localizada na foz do rio Amazonas (PA).

Figura 9 – Fossa biodigestora adaptada para várzeas



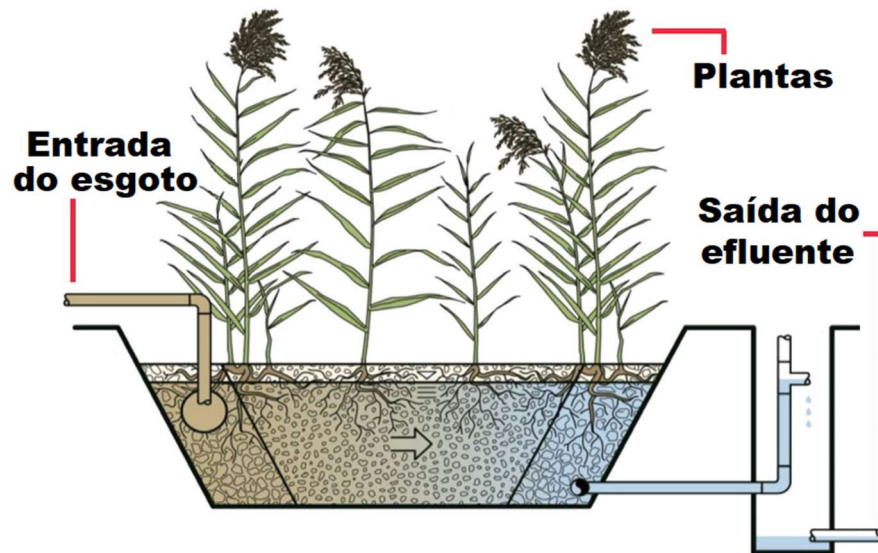
Fonte: Oliveira *et al.* (2018a).

3.3.3 Sistema alagado construído

O sistema alagado construído (SAC), também conhecido como jardim filtrante, *wetland* construído ou zona de raízes, é uma tecnologia utilizada para tratamento de esgotos de sistemas coletivos de pequeno porte ou de sistemas unifamiliares (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). Ele é composto por uma vala preenchida com areia ou cascalho e plantas macrófitas. O esgoto é disposto na porção inicial do leito e flui horizontalmente através do meio filtrante e das raízes das plantas, onde os microrganismos ficam aderidos. As paredes e o fundo da vala são impermeabilizados e o nível d'água é mantido abaixo da superfície (escoamento subsuperficial). A condição de saturação do leito propicia a degradação anaeróbia da matéria orgânica e as plantas complementam o tratamento absorvendo os

nutrientes do esgoto (DOTRO *et al.*, 2017; TONETTI *et al.*, 2018). A Figura 10 mostra um esquema desse sistema de tratamento.

Figura 10 – Esquema de um SAC



Fonte: Adaptada de Dotro *et al.* (2017).

Além do sistema com fluxo horizontal, ainda existem os SACs com fluxo vertical. A diferença se dá na disposição do esgoto, feita uniformemente sobre toda a superfície. Dessa forma, o líquido escoar verticalmente até atingir o fundo, onde é coletado por um sistema de drenagem. Nesse caso, o leito permanece não saturado. A vantagem se dá na remoção de nitrogênio, feita com maior eficiência devido às condições aeróbias. Por outro lado, a alimentação deve ser feita de forma intermitente para permitir a transferência de oxigênio da atmosfera para o leito. Mesmo com as diferenças, ambos os sistemas promovem o tratamento do esgoto de maneira efetiva (BENASSI; VON SPERLING; SEZERINO, 2018). A Tabela 3 mostra os poluentes eliminados pelos SACs e os mecanismos de remoção de cada um deles.

Tabela 3 – Mecanismos de remoção de poluentes no SAC

MECANISMO DE REMOÇÃO	
Matéria orgânica	Degradação biológica
Nitrogênio	Amonização, nitrificação, desnitrificação e incorporação na biomassa das plantas
Fósforo	Sorção, precipitação e incorporação na biomassa das plantas
Patógenos	Sedimentação, filtração, competição e predação pelos protozoários

Fonte: Dotro *et al.* (2017).

Além dos poluentes comuns, diversos autores vêm investigando a eficiência dos SACs na remoção de parâmetros não-convencionais, os poluentes emergentes. Chen *et al.* (2019) analisaram o tratamento de esgoto rural por um SAC na China e observaram uma remoção de 97,40% de hormônios esteroides e 92,40% de biocidas. Na Colômbia, Delgado *et al.* (2020) constataram uma alta remoção de sildenafil (fármaco) e metilparabeno (conservante de cosméticos) em um SAC de fluxo horizontal com helicônias e tiriricas, obtendo valores de eficiência maiores que 97,00% para ambos os compostos. Desta forma, os SACs também podem ser utilizados como uma etapa de polimento dos efluentes de sistemas de tratamento convencionais (DOTRO *et al.*, 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida em Ilha Solteira, município localizado no noroeste do estado de São Paulo, sob as coordenadas geográficas 51°15'29" O e 20°25'52" S. Com uma área de 652,64 km², Ilha Solteira conta com um total de 25.754 habitantes, dos quais 93,84% vive no perímetro urbano e 6,16% na área rural (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE, 2021). A Figura 11 apresenta a posição do município no mapa de São Paulo e seu limite territorial.

Figura 11 – Localização de Ilha Solteira (SP)



Fonte: Adaptada de Google Maps (2021).

A respeito do abastecimento de água de Ilha Solteira, 98,71% da população é atendida pela rede geral de distribuição (IBGE, 2020c). A parcela não atendida se localiza na área rural, que acaba utilizando fontes alternativas, como os poços individuais. De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados – CBH-SJD (2020), bacia na qual o município está inserido, 84,77% do volume de água demandado por Ilha Solteira provém de fonte subterrânea. Com afloramento do aquífero Bauru, a bacia possui boa disponibilidade de água, facilitando o abastecimento em comunidades isoladas (CBH-SJD, 2016).

Em relação ao esgotamento sanitário do município, 94,10% dos moradores contam com rede coletora (IBGE, 2020c). O Plano Municipal de Saneamento Básico, previsto no Plano Diretor de Ilha Solteira, tem como meta adequar o lançamento do esgoto das áreas de expansão urbana à legislação por meio da construção de fossas sépticas (ILHA SOLTEIRA, 2008). Apesar disso, o documento não inclui as áreas rurais, que precisam construir sistemas alternativos por conta própria. Devido à falta de apoio técnico e inspeção, muitas vezes esses sistemas estão em condições insatisfatórias ou provisórias, sendo classificados pelo Plansab como um atendimento precário de esgotamento sanitário (BRASIL, 2019).

Na área rural de Ilha Solteira localiza-se o assentamento “Estrela da Ilha”, comunidade escolhida para este estudo. Segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (2017), esse assentamento foi criado em 2005 com a desapropriação da fazenda São José da Barra. Com 28,56 km², a área foi dividida em 210 unidades agrícolas e distribuída a famílias de trabalhadores rurais.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO

Para caracterizar as condições socioeconômicas e sanitárias do “Estrela da Ilha”, decidiu-se realizar entrevistas pessoais com os moradores seguindo um roteiro estruturado. De acordo com Bernard (2006), fazer a entrevista pessoalmente é a forma mais indicada para coletar dados de grupos vulneráveis, pois a leitura das perguntas possibilita a participação de pessoas que não poderiam responder por conta própria, como os analfabetos. Além disso, esse método permite explicações caso surjam dúvidas ao longo da entrevista. Ainda segundo o autor, seguir um roteiro estruturado garante que os entrevistados sejam expostos aos mesmos estímulos. Dessa maneira, as respostas podem ser comparadas de forma confiável. Sendo assim, foi elaborado um formulário (Apêndice A) de 15 perguntas divididas em quatro partes: perfil socioeconômico; abastecimento de água; esgotamento sanitário; e saúde. A Figura 12 mostra a aplicação desse formulário.

Figura 12 – Entrevista com morador do assentamento



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a escolha dos entrevistados, utilizou-se o método da amostragem aleatória simples, no qual a probabilidade de seleção é igual para todas as unidades (SINGH, 2003). As entrevistas foram realizadas em 20% dos lotes do assentamento ($n = 42$), indicados na Figura 13, entre os dias 7 e 8 de abril de 2021. A Prefeitura Municipal de Ilha Solteira disponibilizou um funcionário para acompanhar o processo.

Figura 13 – Indicação dos lotes do assentamento rural investigados em abril de 2021



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.3 ELABORAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Visando aprimorar os conhecimentos dos moradores, promover a educação ambiental e incentivar a adoção de soluções de saneamento básico mais seguras e sustentáveis na comunidade, decidiu-se elaborar um material didático a respeito de sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto. A preparação do conteúdo ocorreu após análise dos dados coletados na entrevista, para que os sistemas apresentados fossem compatíveis com a realidade socioeconômica do assentamento “Estrela da Ilha” e atendessem às necessidades sanitárias da comunidade.

Foi decidido apresentar no material impresso dois sistemas de tratamento de água e dois sistemas de tratamento de esgoto. Para auxiliar na seleção dos sistemas, foi consultado o livro “Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções”, elaborado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) em parceria com a UNICAMP (TONETTI *et al.*, 2018). Também foi utilizado o livro “ABC da agricultura familiar: saneamento básico rural”, elaborado pela Embrapa (2014).

4.4 IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

4.4.1 Escolha dos lotes

A decisão de quais lotes do assentamento iriam receber os sistemas de tratamento foi tomada com base na análise das respostas dos formulários.

Para o clorador, o SODIS e a fossa biodigestora, os critérios de escolha foram:

- a) captação de água em poço raso (exemplo na Figura 14);
- b) lançamento de esgoto em fossa rudimentar (exemplo na Figura 15);
- c) não utilização de métodos de tratamento de água; e
- d) criação de gado e produção agrícola (apenas para fossa biodigestora).

Figura 14 – Captação de água em poço raso



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 15 – Lançamento de esgoto em fossa rudimentar



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o SAC, os critérios de decisão foram:

- a) lançamento de águas cinzas a céu aberto (exemplo na Figura 16); e
- b) reclamação do aparecimento de pragas (e.g., ratos e baratas).

Figura 16 – Lançamento de águas cinzas a céu aberto



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.4.2 Construção dos sistemas

4.4.2.1 Clorador com filtro de carvão

A construção do clorador, realizada no dia 1º de setembro de 2021, seguiu a metodologia desenvolvida pela Embrapa (2014). No lote escolhido para a implementação desse sistema, a captação de água era feita em poço raso. O abastecimento da caixa d'água (1.000 L) era feito por bombeamento a uma vazão de 2.000 L.h⁻¹. As ligações eram feitas com tubos flexíveis, sendo necessário inserir adaptações ao projeto, como conexões para mangueira e a fixação do sistema na parede da residência. Como mostrado na Figura 17, também foi feita a colocação de um filtro de carvão ativado de 10" de altura para reduzir a formação dos subprodutos da cloração.

Figura 17 – Clorador adaptado com filtro de carvão



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a manutenção do sistema, foi colocado diariamente 1,50 g de hipoclorito de cálcio granulado com teor de cloro ativo de 65%. Essa quantidade, correspondente à medida de uma colher de café, é a recomendada para fazer a desinfecção de uma caixa d'água de 1.000 L (EMBRAPA, 2014). Após um tempo de contato de 30 minutos, obtém-se uma concentração de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (BRASIL, 2014). A Figura 18 mostra a moradora fazendo a adição do hipoclorito de cálcio no sistema.

Figura 18 – Adição de cloro no sistema



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 4 apresenta a relação dos materiais utilizados na construção desse sistema. O custo total dos materiais foi de R\$288,08 (valores de julho de 2021).

Tabela 4 – Materiais utilizados no clorador com filtro de carvão

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE
Abraçadeira de aço tipo U 25 mm	Un.	2
Adaptador curto LR soldável 25 mm x $\frac{3}{4}$ "	Un.	2
Adaptador interno com rosca externa $\frac{3}{4}$ "	Un.	2
Adesivo plástico para PVC 175 g	Un.	1
Bucha de redução longa soldável 50 x 25 mm	Un.	1
CAP soldável DN 50 mm	Un.	1
Filtro de carvão ativado 10"	Un.	1
Fita veda rosca	Un.	1
Hipoclorito de cálcio 65%	kg	1
Lixa d'água nº 100	Un.	1
Luva LR soldável 25 mm x $\frac{3}{4}$ "	Un.	2
Parafuso 4 x 35 mm	Un.	4
Registro de esfera soldável 25 mm	Un.	1
Tê soldável com bucha de latão 25 mm x $\frac{1}{2}$ "	Un.	1
Tê soldável DN 25 mm	Un.	1
Torneira de jardim $\frac{1}{2}$ "	Un.	1
Tubo soldável DN 25 mm	Barra	0,5

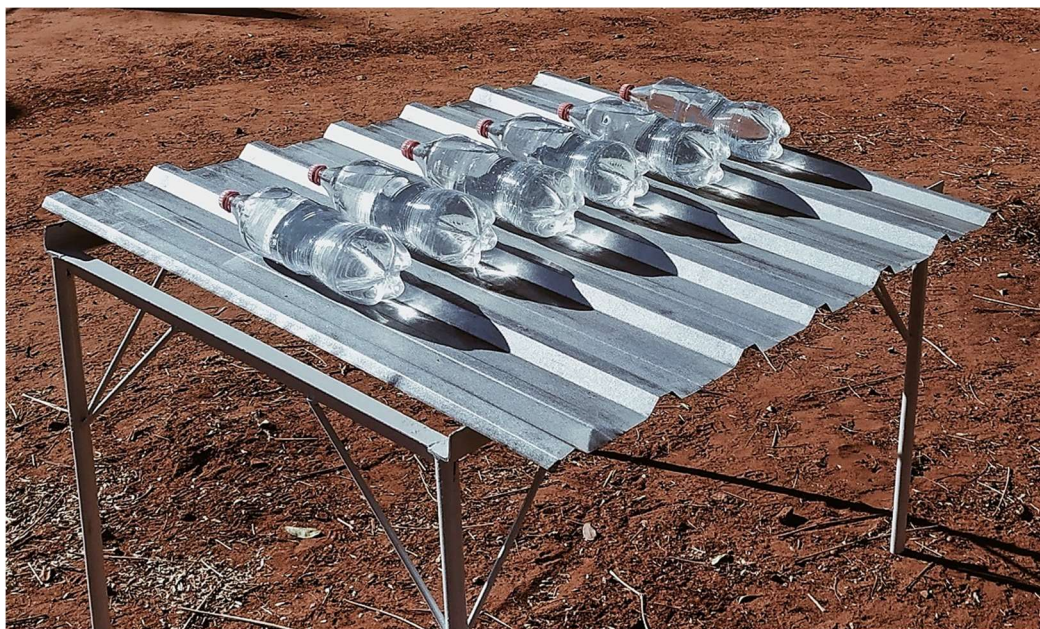
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.4.2.2 Sistema de desinfecção solar

A instalação do SODIS foi feita no dia 1º de setembro de 2021, seguindo as recomendações do manual desenvolvido pelo Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG/SANDEC, 2016). Como mostrado na Figura 19, apoiou-se um pedaço de telha metálica de 1x1 m em uma estrutura de aço, que serviu de suporte para 10 garrafas PET transparentes de dois litros cada. As garrafas foram preenchidas com água proveniente do poço e foram expostas à luz

solar por seis horas, sendo posteriormente armazenadas na geladeira para consumo.

Figura 19 – SODIS em funcionamento



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 5 apresenta a relação dos materiais utilizados na construção desse sistema. O custo total dos materiais foi de R\$50,00 (valores de julho de 2021).

Tabela 5 – Materiais utilizados no SODIS

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE
Estrutura de suporte de aço	Un.	1
Telha metálica	m ²	1
Garrafa PET	Un.	10

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.4.2.3 Fossa biodigestora

Para a construção da fossa biodigestora, realizada entre os dias 29 e 30 de julho de 2021, utilizou-se a metodologia descrita no memorial desenvolvido pela Embrapa (2017). Decidiu-se construir um sistema com três caixas d'água de 1.000 L, volume suficiente para manter um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 20 dias

em uma residência com três moradores.

Primeiramente, foram feitas as perfurações nas caixas, referentes às tubulações de entrada e saída do esgoto. As tampas das duas primeiras caixas, que correspondem aos módulos de fermentação, foram perfuradas para a colocação da tubulação de escape dos gases e pintadas de preto para ajudar a manter a temperatura ideal.

Em seguida, escavou-se uma vala de 1,70 m de largura, 5,70 m de comprimento e 0,65 m de profundidade para fazer a disposição das caixas. Como mostrado na Figura 20, as caixas foram alinhadas com uma distância de 50 cm entre si e mantendo um desnível de 2 cm de uma para a outra.

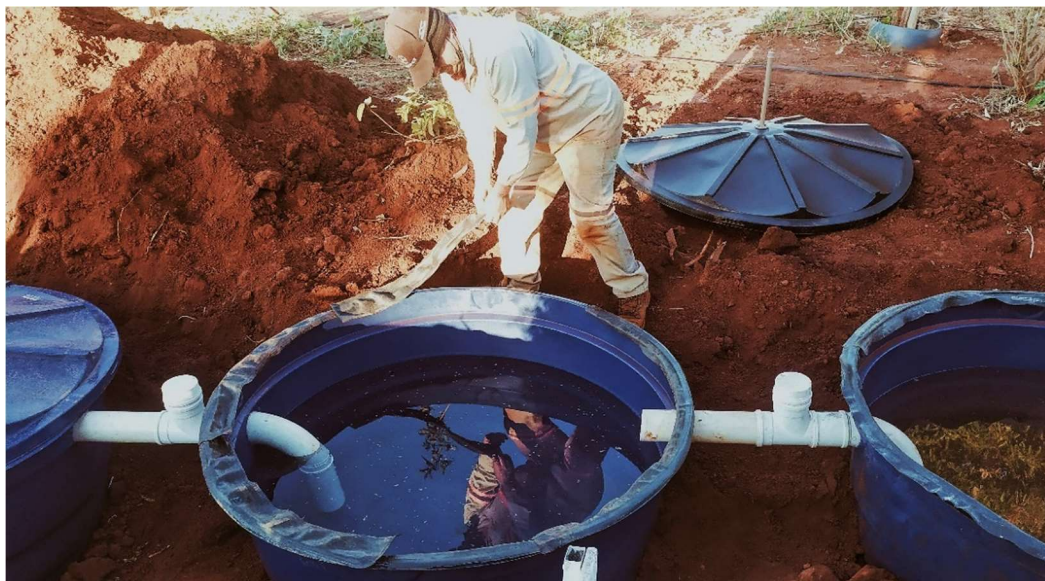
Figura 20 – Disposição das caixas na vala



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Posteriormente, foram feitas as ligações com as tubulações de PVC. Para auxiliar no aterramento, encheu-se as caixas com água. Como mostrado na Figura 21, pedaços de câmara de ar de bicicleta foram colados nas bordas das duas primeiras caixas para fazer a vedação das respectivas tampas e manter a condição anaeróbia do sistema.

Figura 21 – Vedação das caixas da fossa biodigestora



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Por fim, adicionou-se uma mistura de 10 L de esterco bovino fresco e 10 L de água na entrada do sistema para a inoculação das bactérias responsáveis pelo processo de biodigestão. Esse procedimento foi repetido mensalmente, com metade das medidas, para a manutenção do sistema. A Figura 22 mostra o sistema finalizado.

Figura 22 – Fossa biodigestora em funcionamento



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 6 apresenta a relação dos materiais utilizados na construção desse sistema. O custo total dos materiais foi de R\$1.998,76 (valores de julho de 2021).

Tabela 6 – Materiais utilizados na fossa biodigestora

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE
Adaptador soldável para caixa d'água 25 mm	Un.	2
Anel de vedação 100 mm	Un.	10
Caixa d'água 1.000 L	Un.	3
Câmara de ar de bicicleta	m	10
CAP de esgoto DN 100 mm	Un.	2
CAP soldável DN 25 mm	Un.	2
Cola de contato 400 g	Un.	1
Curva longa 90° de esgoto DN 100 mm	Un.	2
Lixa d'água nº 100	Un.	1
Luva de correr de esgoto DN 100 mm	Un.	2
Pasta lubrificante 400 g	Un.	1
Silicone acético 250 mL	Un.	2
Tê de esgoto DN 100 mm	Un.	2
Tinta asfáltica	L	1
Tubo de esgoto DN 100 mm	Barra	1
Tubo soldável DN 25 mm	Barra	0,5
Válvula de retenção de esgoto DN 100 mm	Un.	1

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

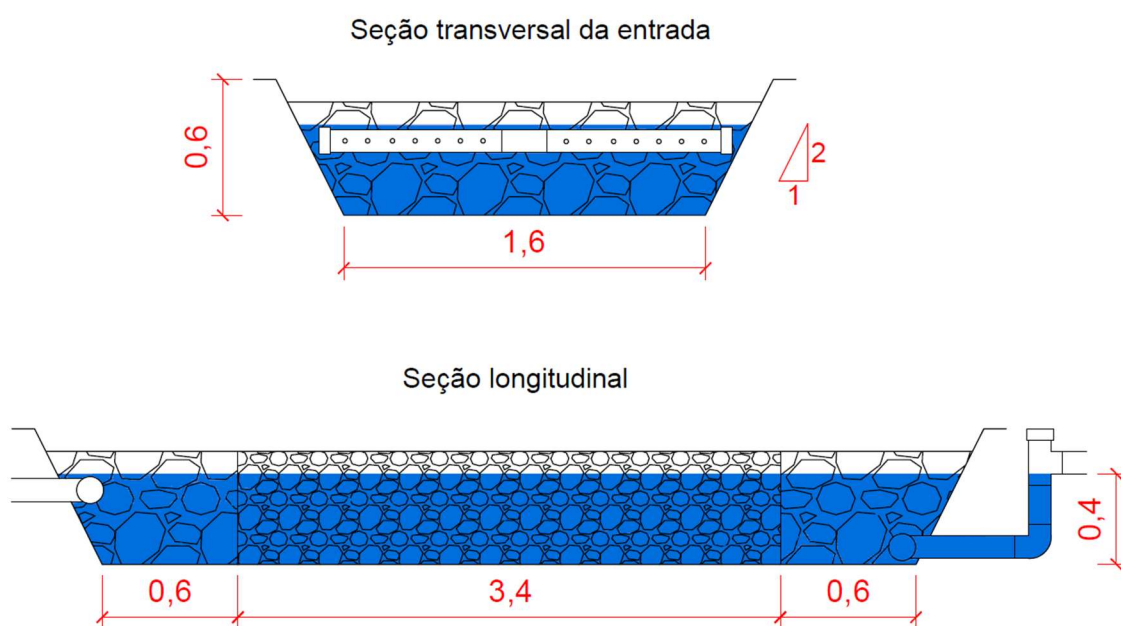
4.4.2.4 Sistema alagado construído

A construção do SAC de escoamento horizontal subsuperficial ocorreu entre os dias 26 e 27 de agosto de 2021 e o primeiro passo foi o cálculo da área superficial requerida. Segundo Philippi e Sezerino (2004), em unidades residenciais unifamiliares pode-se utilizar como critério de dimensionamento a relação área *per capita*. Os valores reportados na literatura brasileira variam de 2,66 a 3,60 m².pessoa⁻¹ para fluxo horizontal com águas cinzas (SEZERINO *et al.*, 2015). Para

uma residência de quatro moradores, foi adotada uma relação de $2,50 \text{ m}^2.\text{pessoa}^{-1}$, resultando em uma área superficial de 10 m^2 .

Os demais detalhes de projeto foram definidos tendo como referência o documento de consenso “Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil”, de Von Sperling e Sezerino (2018). Adotou-se uma profundidade de 0,60 m, sendo 0,50 m preenchido com material filtrante e 0,10 m de borda livre. A inclinação das paredes foi de 1:2 ($z = 0,5$) e a altura da lâmina de esgoto foi de 0,40 m. Para garantir uma área superficial útil de 10 m^2 , foi escavada uma vala com 5,20 m de comprimento e 2,20 m de largura de topo. A Figura 23 mostra o esquema detalhado do SAC.

Figura 23 – Detalhamento do SAC (em metros)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a impermeabilização do fundo da vala, foi utilizada uma lona de polietileno protegida por duas camadas de manta geotêxtil. Como mostrado na Figura 24, prendeu-se um pedaço da lona em volta das tubulações de entrada e saída da vala com uma abraçadeira de aço, visando evitar vazamentos do esgoto para o solo.

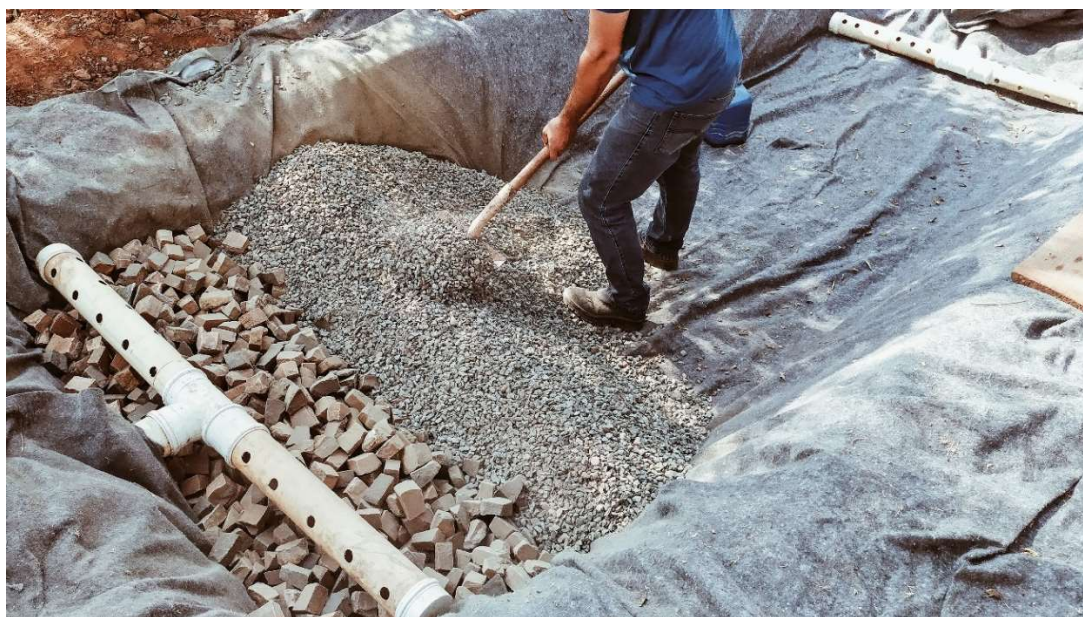
Figura 24 – Vedação da lona com abraçadeira



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A distribuição do afluente e a coleta do efluente foram feitas com tubulações de PVC de 100 mm de diâmetro, furadas a cada 10 cm e dispostas ao longo de toda a largura da vala. Como mostrado na Figura 25, utilizou-se a brita nº 1 como material filtrante do leito. Por outro lado, nas zonas de entrada e saída do sistema, foi utilizada a pedra portuguesa. Por ser um material de granulometria maior, ela impede o entupimento das tubulações.

Figura 25 – Preenchimento do leito do SAC

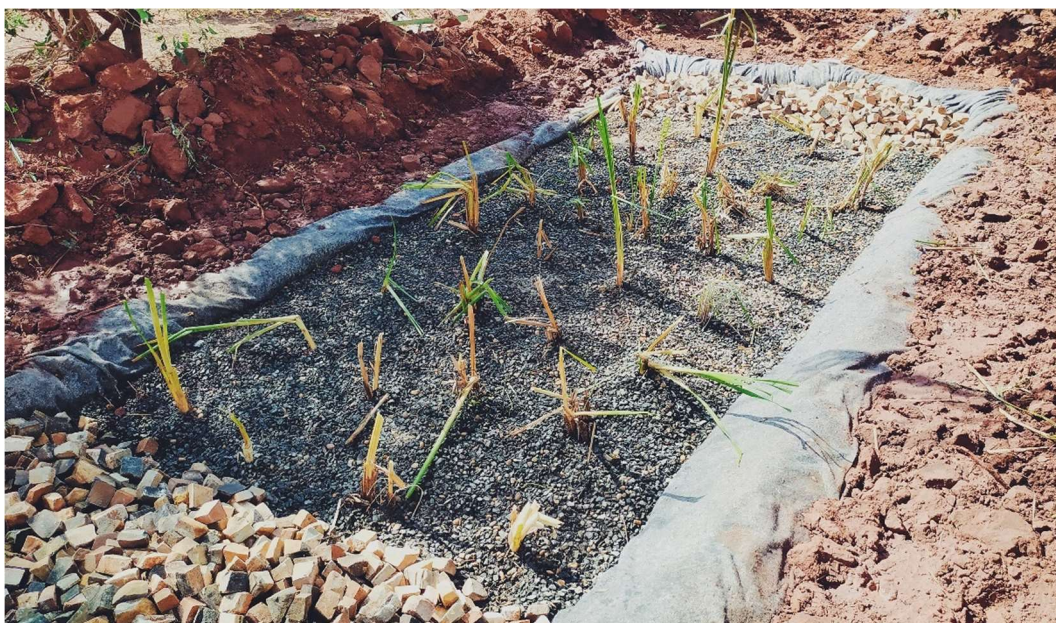


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o cálculo do TDH, foi preciso estimar a vazão média de águas cinzas gerada pela residência. Segundo o SNIS, o consumo médio *per capita* de água no estado de São Paulo é de 176,00 L.hab⁻¹.dia⁻¹ (BRASIL, 2021a). De acordo com Barreto (2008), 32% do consumo doméstico de água é relativo a tanques, pias e máquinas de lavar roupas. Considerando um coeficiente de retorno esgoto/água de 0,80, temos que a referida vazão foi de 180,22 L.dia⁻¹. Considerando um índice de vazios do leito de 30% (VON SPERLING; SEZERINO, 2018), o volume útil do SAC foi de 1,04 m³. Dessa forma, o TDH do sistema foi de 5,77 dias, valor próximo ao recomendado para uma remoção efetiva de nutrientes em SACs de fluxo subsuperficial (BENASSI, 2018).

Ainda de acordo com Benassi (2018), uma das espécies de macrófitas mais utilizadas nos SACs é a *Typha sp.* (i.e., taboa), devido à sua alta capacidade de assimilação de nitrogênio e fósforo. Além disso, suas raízes promovem um aumento da área superficial para a aderência de microrganismos (DOTRO *et al.*, 2017). Sendo assim, foram plantadas 40 mudas de taboa no leito do sistema, como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Taboas plantadas no SAC



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Como recomendado pela literatura, foram colocadas na entrada do sistema uma caixa d'água para a remoção de sólidos sedimentáveis e uma caixa de gordura, mostradas na Figura 27. O objetivo foi evitar a ocorrência de entupimentos,

prolongando a vida útil do SAC (VON SPERLING; SEZERINO; BENASSI, 2018).

Figura 27 – Caixa de decantação e caixa de gordura



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 7 apresenta a relação dos materiais utilizados na construção desse sistema. O custo total dos materiais foi de R\$1.909,28 (valores de julho de 2021).

Tabela 7 – Materiais utilizados no SAC (continua)

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE
Abraçadeira de aço 100 mm	Un.	2
Adaptador soldável para caixa d'água 50 mm	Un.	3
Anel de vedação 50 mm	Un.	1
Anel de vedação 100 mm	Un.	17
Brita nº 1	m³	3,5
Caixa d'água 150 L	Un.	1
Caixa de gordura DN 100 mm	Un.	1
CAP de esgoto DN 100 mm	Un.	5
Joelho 90° de esgoto DN 100 mm	Un.	1
Lixa d'água nº 100	Un.	1
Lona impermeabilizante 8 m	m	4

Tabela 7 – Materiais utilizados no SAC (conclusão)

Luva de correr de esgoto DN 100 mm	Un.	2
Manta geotêxtil 2,3 m	m	30
Mudas de taboa	Un.	40
Pasta lubrificante 400 g	Un.	1
Pedra portuguesa	m ³	1,5
Tê de esgoto DN 100 mm	Un.	3
Tubo de esgoto DN 50 mm	Barra	1
Tubo de esgoto DN 100 mm	Barra	1

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.5 MONITORAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

4.5.1 Coleta das amostras

Para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas da água e do esgoto dos sistemas de tratamento, a coleta de amostras seguiu as recomendações do “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*”, elaborado pela *American Public Health Association* – APHA (2016). Segundo a organização, fontes de composição constante ao longo do tempo podem ser representadas por amostras simples coletadas pontualmente. A Tabela 8 apresenta mais informações sobre a coleta das amostras.

Tabela 8 – Pontos de coleta e frequência de coleta de cada sistema

SISTEMA	PONTOS DE COLETA	FREQUÊNCIA DE COLETA
Clorador com filtro de carvão	Saída do poço e torneira da cozinha	Semanal
SODIS	Saída do poço e garrafa do sistema	Semanal
Fossa biodigestora	Entrada e saída do sistema	Semanal
SAC	Entrada e saída do sistema	Semanal

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As amostras foram coletadas em garrafas de polietileno de um litro, identificadas com marcador permanente. Após a coleta, as garrafas foram armazenadas em uma caixa térmica e levadas imediatamente para análise no laboratório. A Figura 28 mostra o processo de coleta de uma amostra de esgoto.

Figura 28 – Coleta de amostra na saída da fossa biodigestora



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.5.2 Análises físico-químicas e microbiológicas

Para a avaliação da eficiência dos sistemas de tratamento, foram feitas análises de cloro residual livre (CRL), coliformes totais (CT), *Escherichia coli*, temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT). A Tabela 9 apresenta os métodos utilizados para cada parâmetro e em quais sistemas a análise foi feita.

Tabela 9 – Parâmetros analisados nos sistemas e métodos utilizados

PARÂMETRO	MÉTODO	SISTEMA*
CRL (mg.L ⁻¹)	4500-CI G (APHA, 2016)	1
CT (UFC.mL ⁻¹)	9222 J (APHA, 2016)	1 e 2
<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	9222 J (APHA, 2016)	1 e 2
T (°C)	2550 B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
pH	4500-H ⁺ B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
Turbidez (uT)	2130 B (APHA, 2016)	1, 2, 3 e 4
DBO (mg.L ⁻¹)	5210 B (APHA, 2016)	3 e 4
DQO (mg.L ⁻¹)	5220 D (APHA, 2016)	3 e 4
ST (mg.L ⁻¹)	2540 B (APHA, 2016)	3 e 4
NT (mg.L ⁻¹)	10071 (HACH, 2014)	3 e 4
PT (mg.L ⁻¹)	8190 (HACH, 2017)	3 e 4

* 1: clorador com filtro de carvão; 2: SODIS; 3: fossa biodigestora; 4: SAC.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As coletas e análises das amostras dos sistemas de tratamento de água e esgoto ocorreram ao longo de 16 semanas.

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos em todas as etapas foram tabulados no *software* Microsoft Excel® 2019. As análises descritivas foram realizadas no *software* SigmaPlot® 12.0. Para os dados das entrevistas, foi feito o cálculo da frequência relativa em percentual de cada variável. Para os dados do monitoramento dos sistemas, fez-se avaliação da normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para os dados com distribuição normal, a análise paramétrica foi feita por meio do cálculo das médias e desvios padrão. Para os dados sem distribuição normal, a análise não-paramétrica se deu pelo cálculo das medianas e quartis. A plotagem dos gráficos também foi feita pelo SigmaPlot® 12.0.

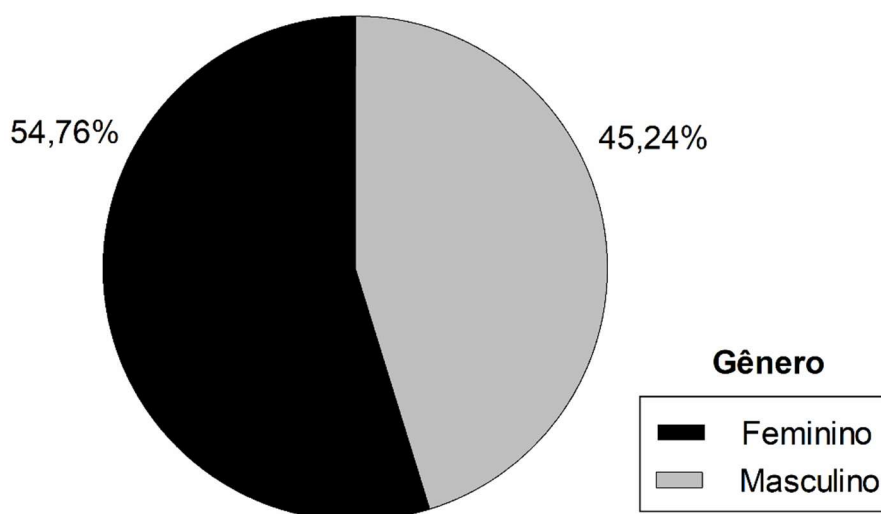
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO

5.1.1 Perfil socioeconômico

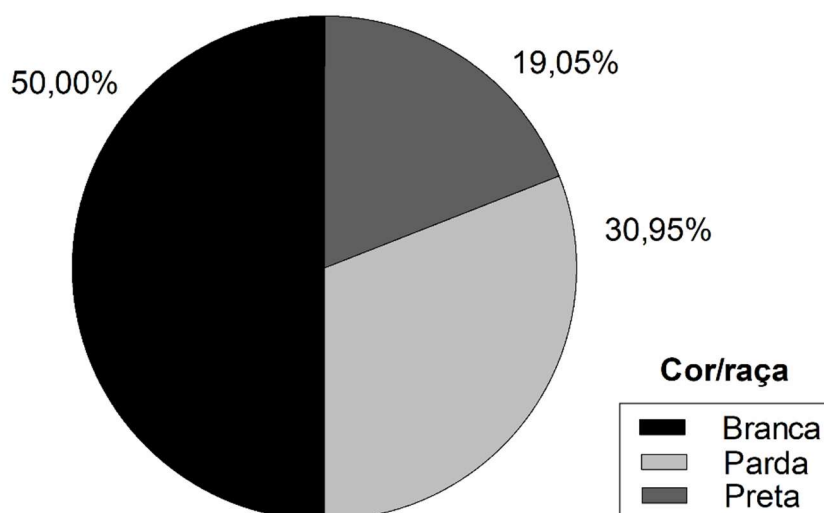
Como mostrado no gráfico da Figura 29, 54,76% dos entrevistados eram do gênero feminino e 45,24% do masculino. Tal fato pode estar relacionado com a divisão do trabalho entre homens e mulheres no meio rural. Segundo Nobre (1998), enquanto o trabalho produtivo (*i.e.*, agricultura e pecuária) fica sob responsabilidade do homem, a mulher é encarregada de cuidar da casa e dos filhos. Dessa forma, as mulheres estavam mais disponíveis que os homens para responderem ao formulário.

Figura 29 – Gênero dos entrevistados



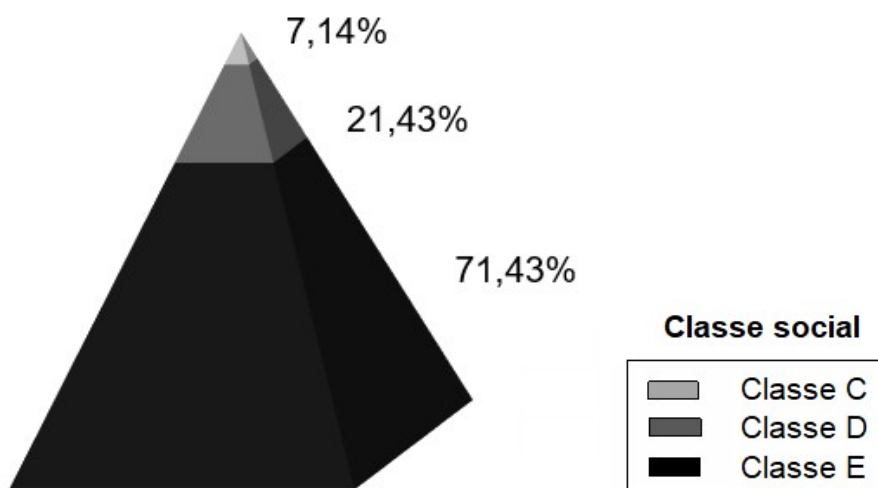
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Metade dos entrevistados (50,00%) se declarou da cor branca, como mostrado na Figura 30. Tal resultado é condizente com o último censo demográfico realizado pelo IBGE (2011). De acordo com o levantamento do instituto, 47,70% dos brasileiros se declaram brancos.

Figura 30 – Cor/raça dos entrevistados

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em relação à classe social (Figura 31), a maior parte dos entrevistados (71,43%) era pertencente à classe E, resultado também condizente com o último censo, que aponta que 95,80% da população rural tem renda mensal de até 2 salários mínimos, se enquadrando na classe social E (IBGE, 2011).

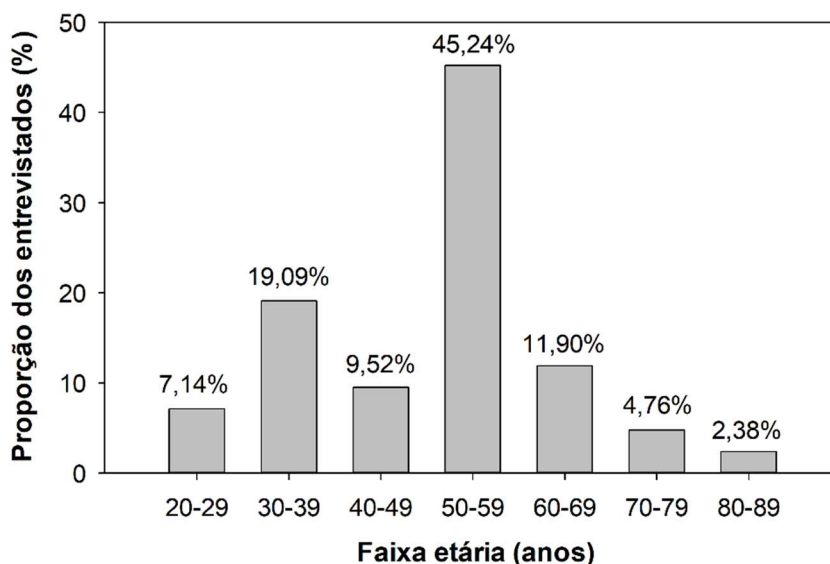
Figura 31 – Classe social dos entrevistados

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A faixa etária predominante foi a de 50 a 59 anos, correspondida por 45,24% dos entrevistados, como indicado na Figura 32. E a respeito do estado civil (Figura 33), 85,71% dos moradores afirmaram ser casados. Tais resultados podem estar relacionados entre si. Segundo Scott *et al.* (2010), o casamento é um fator de

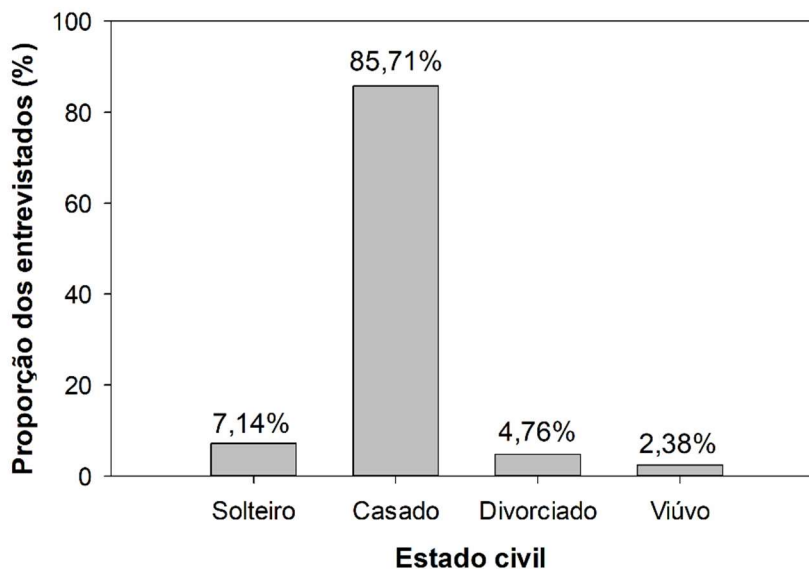
permanência no meio rural, ao passo que os jovens solteiros deixam a unidade produtora em busca de realizações pessoais, como formação escolar e trabalho.

Figura 32 – Faixa etária dos entrevistados



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 33 – Estado civil dos entrevistados



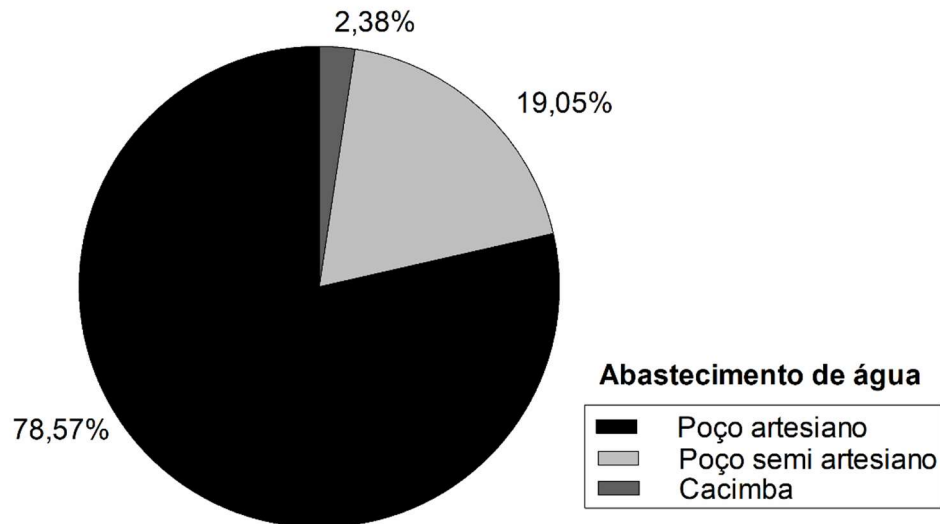
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.1.2 Condições de abastecimento de água

A principal forma de abastecimento de água (Figura 34) constatada nas residências do assentamento foi o poço profundo do tipo artesiano, com uma frequência de 78,57%. Segundo o último censo demográfico, 55,00% das

residências rurais obtém água a partir desse sistema de abastecimento (IBGE, 2011).

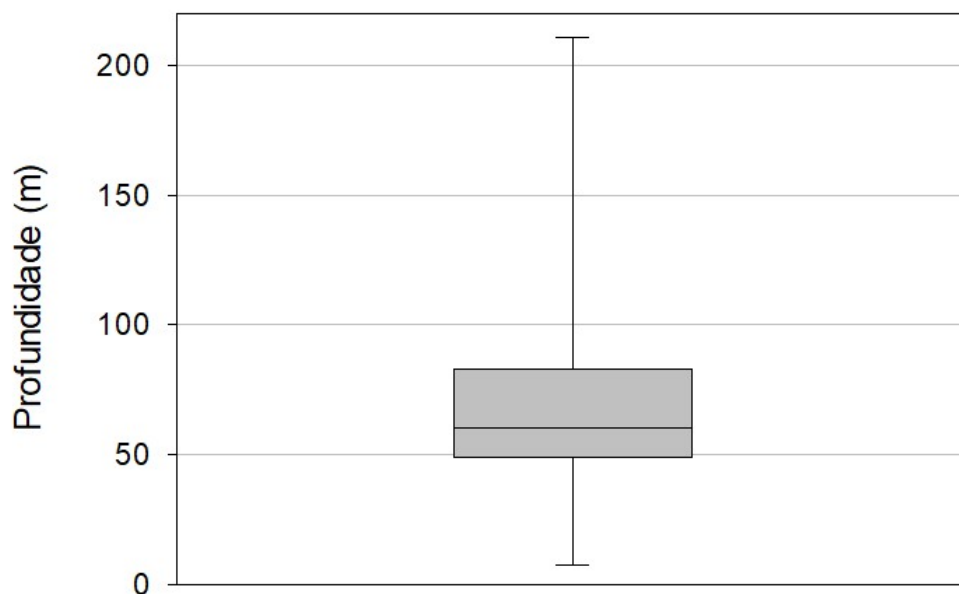
Figura 34 – Principal forma de abastecimento de água dos entrevistados



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os dados amostrais correspondentes à profundidade dos poços não passaram no teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,005$), indicando que os valores variaram significativamente do padrão esperado de uma distribuição normal. Sendo assim, foi realizada uma análise não-paramétrica. A Figura 35 apresenta o *boxplot* com valores da profundidade de captação dos poços do assentamento, cuja mediana foi de 60 m.

Figura 35 – Profundidade do poço dos entrevistados

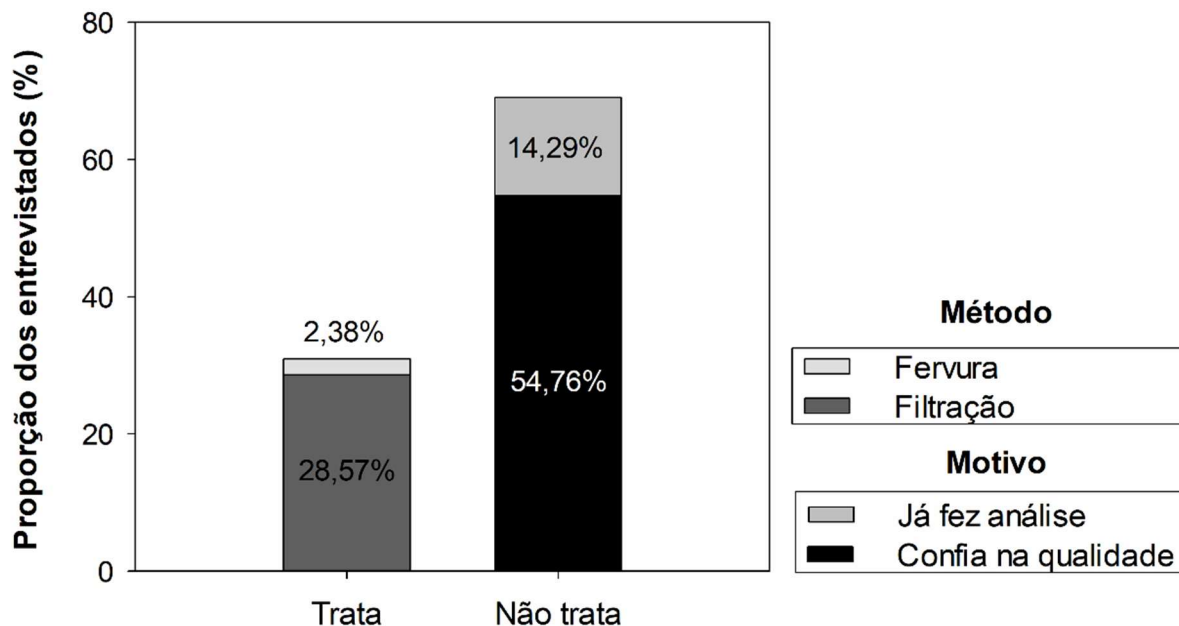


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Episódios de falta de água foram relatados por 19,05% dos entrevistados. Desses, 62,50% disseram que o problema ocorreu entre os meses de junho e setembro. Como mencionado, Ilha Solteira está localizada na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, onde ocorre afloramento do aquífero Bauru (CBH-SJD, 2020). De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2021), a recarga desse aquífero é feita por precipitação pluvial. Sendo esta uma possível explicação para a diminuição da vazão dos poços nos meses com escassez de chuvas.

Um total de 69,05% dos entrevistados afirmou não tratar a água que consome. Desse montante, 79,30% confiam na qualidade da água (Figura 36). Fato preocupante, uma vez que a água pode ter aspecto límpido e ainda assim estar contaminada com microrganismos patogênicos. Entre os 30,95% que fazem o tratamento da água, 92,31% utilizam filtros e 7,69% fervem a água antes do consumo.

Figura 36 – Tratamento de água dos entrevistados

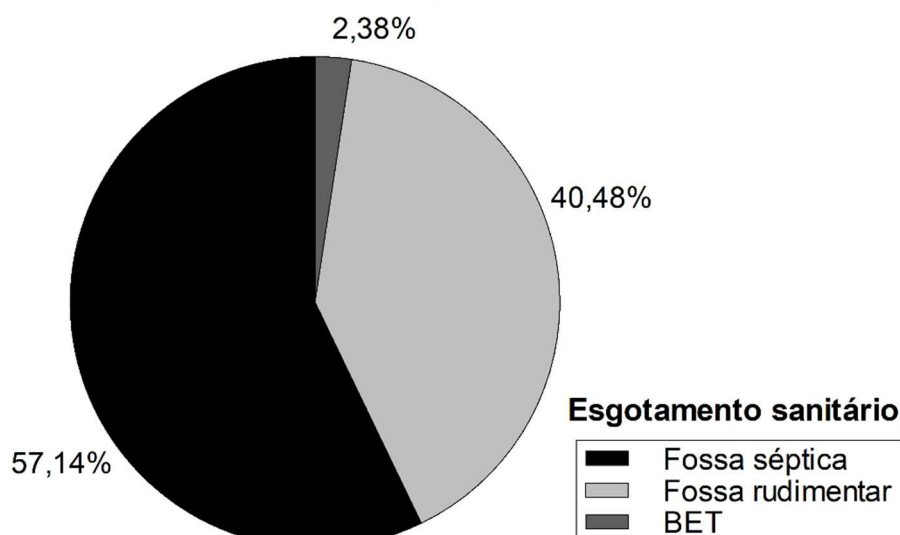


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.1.3 Condições de esgotamento sanitário

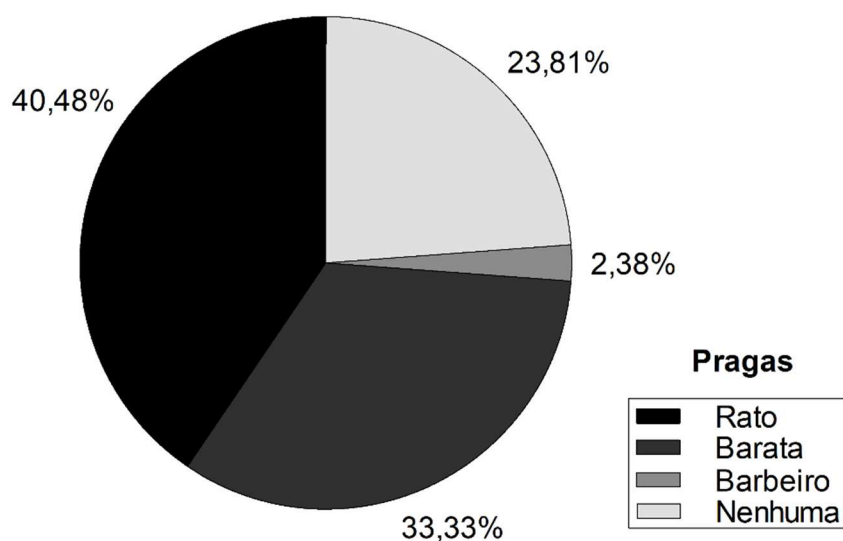
Em relação a principal forma de esgotamento sanitário (Figura 37), 57,14% dos entrevistados afirmaram utilizar a fossa séptica. Entretanto, segundo o último censo demográfico, apenas 16,00% das residências rurais utilizam esse sistema (IBGE, 2011). Tal divergência pode ter ocorrido por uma possível confusão conceitual com a fossa rudimentar, devido à falta de conhecimento técnico dos moradores.

Figura 37 – Principal forma de esgotamento sanitário dos entrevistados



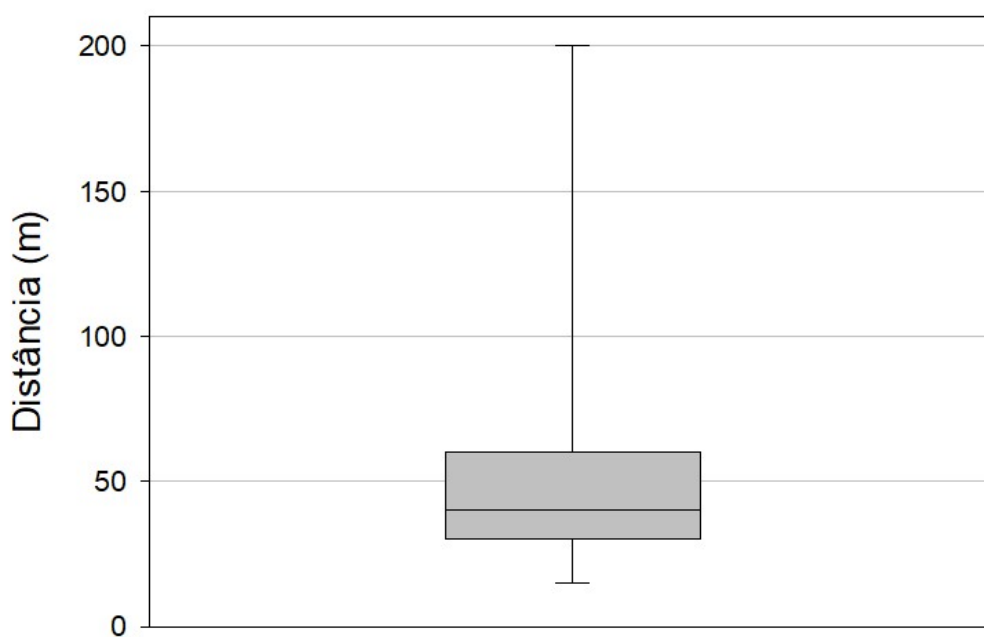
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Entre os entrevistados, 88,10% afirmou ter construído sua própria fossa sem nenhum tipo de informação ou apoio técnico de órgãos ambientais. Além disso, 100,00% afirmou que o esgoto de pias e tanques era lançado a céu aberto, fato que pode explicar a frequente ocorrência de pragas. 40,48% dos entrevistados reclamaram do aparecimento de ratos e 33,33% se queixaram de baratas, como mostrado na Figura 38. O que é mais um ponto preocupante, uma vez que roedores e insetos são vetores de doenças e indicadores de condições precárias de saneamento.

Figura 38 – Problemas com pragas

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os dados amostrais correspondentes à distância entre poços e fossas não passaram no teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), indicando que os valores variaram significativamente do padrão esperado de uma distribuição normal. Sendo assim, foi realizada uma análise não-paramétrica. Como mostrado no *boxplot* da Figura 39, a mediana da distância foi de 40 m, valor que atende o mínimo de 15 m recomendado pela NBR 7229 (ABNT, 1993).

Figura 39 – Distância entre poço e fossa dos entrevistados

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.2 MATERIAL DIDÁTICO

Com base nos resultados das entrevistas, observou-se que os moradores do “Estrela da Ilha” são, em sua maioria, de baixa renda. Dessa maneira, a viabilidade econômica e a facilidade de operação e manutenção foram critérios relevantes para a escolha dos sistemas apresentados no material. Outro critério levado em consideração foi a eficiência do tratamento de cada sistema. Uma vez que grande parte da comunidade utiliza fossa rudimentar e consome água de poço sem nenhum tratamento prévio, as chances de contaminação são muito elevadas. Sendo assim, os sistemas de tratamento de água escolhidos foram o clorador e o SODIS. E os de tratamento de esgoto foram a fossa biodigestora e o SAC – apresentado como “jardim filtrante” para maior familiaridade.

O texto, escrito com linguagem simples, explica os materiais necessários para a construção dos sistemas, o tipo de tratamento realizado por cada um e a manutenção requerida. Como apoio, foram utilizadas ilustrações chamativas e de fácil entendimento. Para aumentar a persuasão, adicionou-se uma lista de vantagens de utilização desses sistemas, como a proteção da saúde da família e retornos financeiros. O material didático se encontra no Apêndice B.

O material foi distribuído no assentamento “Estrela da Ilha”, como mostrado na Figura 40. Após ser feita a explicação do conteúdo, os moradores relataram surpresa com a simplicidade dos sistemas e seus benefícios. Ao serem questionados a respeito do sistema que mais chamou a atenção, os moradores elegeram a fossa biodigestora, devido principalmente à produção de biofertilizante para a lavoura.

Figura 40 – Explicação do material ao morador



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.3 MONITORAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

5.3.1 Tratamento de água

5.3.1.1 Cloro residual livre

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde recomenda a manutenção de uma concentração de CRL de pelo menos $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$ na água de abastecimento (BRASIL, 2021b). A Tabela 10 mostra a concentração média de CRL observada no sistema clorador com filtro de carvão. Sendo assim, o valor observado atende ao mínimo estabelecido pelo padrão de potabilidade.

Tabela 10 – Valor médio de CRL no clorador com filtro

SISTEMA	CRL (mg.L^{-1})
Clorador + filtro	$0,43 \pm 0,14$

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nesse sistema, foi dosado cerca de $1,50 \text{ mg.L}^{-1}$ de hipoclorito de cálcio 65% na água, como recomendado pela Embrapa (2014). De acordo com o manual de

cloração desenvolvido pela Funasa, após decorrido um tempo de contato de 30 minutos, obtém-se uma concentração de CRL de $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$. Entretanto, esse valor decai se a água apresenta grandes concentrações de matéria orgânica, devido às reações entre os compostos (BRASIL, 2014). Tal fato pode explicar o valor obtido no monitoramento do sistema.

5.3.1.2 Coliformes totais

O padrão bacteriológico da água para consumo humano, estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, determina a ausência de coliformes totais em 100 mL na saída do tratamento (BRASIL, 2021b). A Tabela 11 mostra os valores de CT encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de água monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 11 – Valores médios de CT nos sistemas de tratamento de água

SISTEMA	ENTRADA (UFC.100mL ⁻¹)	SAÍDA (UFC.100mL ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Clorador + filtro	487,00 ± 230,58	0,62 ± 0,81	99,91 ± 0,12
SODIS	58,12 ± 22,28	1,31 ± 1,30	98,14 ± 1,75

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Apesar das concentrações médias de CT observadas na saída de ambos os sistemas não atenderem ao padrão de potabilidade, o clorador com filtro de carvão removeu totalmente o CT de 56,25% das amostras analisadas. Por outro lado, o SODIS alcançou a remoção total de CT em 37,50% das análises. Em relação à eficiência de remoção de CT, os valores obtidos estão de acordo com os relatados na literatura. Um estudo realizado por Ferreira *et al.* (2016) avaliou a eficiência de cloradores simplificados em águas subterrâneas e constatou uma remoção de CT de 98,59%. Silva *et al.* (2021) desenvolveram um sistema de tratamento de água com filtração seguida de SODIS e observaram uma remoção de 99,90% de CT.

5.3.1.3 *E. coli*

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde determina em seu padrão de potabilidade da água a ausência de *E. coli* em 100 mL nos pontos de consumo (BRASIL, 2021b). A Tabela 12 mostra os valores de *E. coli* encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de água monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 12 – Valores médios de *E. coli* nos sistemas de tratamento de água

SISTEMA	ENTRADA (UFC.100mL ⁻¹)	SAÍDA (UFC.100mL ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Clorador + filtro	35,00 ± 9,66	0,38 ± 0,72	99,22 ± 1,47
SODIS	2,06 ± 0,93	0,13 ± 0,34	96,35 ± 10,08

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As concentrações médias de *E. coli* observadas na saída de ambos os sistemas não atendem ao padrão bacteriológico estabelecido. Apesar disso, foi observada a remoção total de *E. coli* em 75,00% das amostras analisadas do clorador com filtro de carvão e em 87,50% das análises do SODIS. Em relação à eficiência de remoção de *E. coli*, os valores obtidos estão de acordo com os relatados na literatura. Ferreira *et al.* (2016) observaram uma remoção de 99,70% de *E. coli* em água de poços tratada por cloradores. No estudo de Silva *et al.* (2021), foi obtida uma eficiência de remoção de *E. coli* de 99,10% com um sistema de desinfecção baseado no método SODIS.

5.3.1.4 Temperatura

A medição da temperatura da água nos sistemas de tratamento sempre era feita no período da manhã (09h00). A Tabela 13 apresenta os valores de T encontrados na entrada e saída dos sistemas e sua variação.

Tabela 13 – Valores médios de T nos sistemas de tratamento de água

SISTEMA	ENTRADA (°C)	SAÍDA (°C)	VARIAÇÃO (°C)
Clorador + filtro	24,80 ± 0,56	25,58 ± 0,55	0,78 ± 0,20
SODIS	24,82 ± 0,59	39,71 ± 1,32	14,89 ± 1,31

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A temperatura é um parâmetro importante para ambos os sistemas. Sua variação em um processo de cloração pode influenciar na formação de subprodutos prejudiciais à saúde. Um estudo desenvolvido por Hua e Reckhow (2008) concluiu que a concentração de trihalometanos e ácidos haloacéticos na água aumenta com o aumento de T, com efeito similar ao de aumentar a dose de cloro. De acordo com o guia de aplicação do SODIS, elaborado pelo EAWAG/SANDEC (2016), além da radiação UV, altas temperaturas da água promovem a inativação de microrganismos. Segundo o instituto, a pasteurização da água ocorre a partir de 45°C, temperatura que não foi atingida pelo sistema no horário analisado. Entretanto, as garrafas PET ficaram expostas ao sol até 15h00, período no qual podem ter alcançado temperaturas mais elevadas.

5.3.1.5 pH

A Tabela 14 apresenta os valores de pH encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de água e sua variação.

Tabela 14 – Valores médios de pH nos sistemas de tratamento de água

SISTEMA	ENTRADA	SAÍDA	VARIAÇÃO
Clorador + filtro	7,31 ± 0,62	7,66 ± 0,67	0,36 ± 0,51
SODIS	7,04 ± 0,26	7,12 ± 0,37	0,08 ± 0,35

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de pH observados na saída do clorador com filtro de carvão variaram de 6,08 a 8,27. Na saída do SODIS, a faixa de pH foi de 6,50 a 7,89. O atual padrão de potabilidade não determina valores de pH para águas de consumo humano (BRASIL, 2021b). Em sua versão anterior, estabelecida pelo Anexo XX da

Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, a recomendação era manter o pH em uma faixa de 6,00 a 9,50 (BRASIL, 2017). Druzian *et al.* (2020) observaram uma faixa de pH de 6,24 a 7,00 em águas subterrâneas tratadas com clorador. Bianch e Botto (2019), analisando a eficiência do tratamento de água com SODIS, constataram um valor médio de pH de 7,14.

5.3.1.6 Turbidez

Segundo Von Sperling (2011), turbidez é o grau de impedimento da passagem da luz através da água devido à presença de sólidos suspensos. De acordo com o guia de aplicação do SODIS, essas partículas absorvem e dispersam a radiação solar, reduzindo a eficiência da desinfecção realizada pelo sistema. Portanto, águas com turbidez acima de 30 NTU devem passar por um processo de pré-tratamento (EAWAG/SANDEC, 2016). A Tabela 15 apresenta os valores de turbidez encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de água monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro. A água analisada está dentro do limite de turbidez recomendado para a utilização do SODIS.

Tabela 15 – Valores médios de turbidez nos sistemas de tratamento de água

SISTEMA	ENTRADA (NTU)	SAÍDA (NTU)	EFICIÊNCIA (%)
Clorador + filtro	5,76 ± 1,79	1,95 ± 0,69	66,32 ± 3,93
SODIS	2,78 ± 0,57	1,53 ± 0,41	44,98 ± 8,30

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

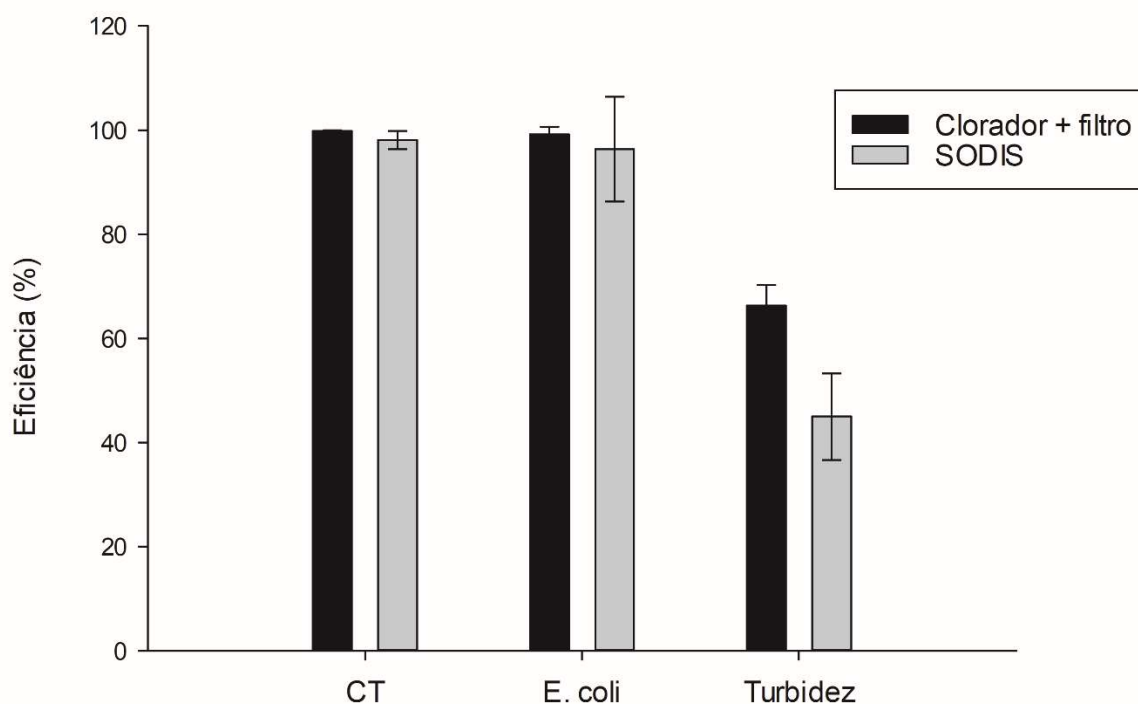
O padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde determina um limite de turbidez de 1,00 uT em 95% das amostras analisadas de águas subterrâneas pós-desinfecção (BRASIL, 2021b). Sendo assim, a água tratada pelos sistemas monitorados não atende ao padrão estipulado. Em relação à eficiência de remoção de turbidez, os valores observados estão abaixo dos relatados na literatura. Prihandana *et al.* (2021) analisaram a remoção de turbidez de águas superficiais utilizando filtros com discos de carvão ativado e constataram uma

eficiência de 79,00%. Para o SODIS, a remoção de turbidez não é um parâmetro analisado usualmente.

5.3.1.7 Comparação dos sistemas

Ambos os sistemas apresentam boa eficiência de inativação de microrganismos. Com um custo de R\$50,00, cerca de 6 vezes menos que o custo do clorador com filtro de carvão ativado (R\$288,08), o SODIS pode ser considerado o sistema de tratamento de água com o melhor custo-benefício. A Figura 41 apresenta um gráfico comparativo entre as eficiências de remoção de coliformes totais (CT), *E. coli* e turbidez dos sistemas monitorados.

Figura 41 – Eficiências dos sistemas de tratamento de água



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.3.2 Tratamento de esgoto

5.3.2.1 Temperatura

Em sistemas de tratamento de esgoto, a análise de T é importante devido à sua influência na taxa das reações químicas e biológicas, na solubilidade do oxigênio e na liberação de gases com odor desagradável (VON SPERLING, 2011). A Tabela 16 apresenta os valores de T encontrados na entrada e saída dos sistemas monitorados e sua variação.

Tabela 16 – Valores médios de T nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (°C)	SAÍDA (°C)	VARIAÇÃO (°C)
Fossa biodigestora	28,81 ± 0,66	26,63 ± 0,91	-2,18 ± 0,54
SAC	27,14 ± 0,90	28,13 ± 0,94	0,99 ± 0,12

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de T observados na primeira caixa da fossa biodigestora (entrada), onde ocorre o processo de fermentação, variaram de 27,30 a 29,80°C. De acordo com a Embrapa (2019), a T interna do sistema varia de 20,00 a 30,00°C, dependendo da época do ano. Ainda segundo a empresa, as bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto são mesófilas, cuja T ideal de crescimento situa-se entre 20 e 45°C. Ou seja, a T do sistema estava dentro da faixa esperada.

Por estar exposto à atmosfera, o SAC está sujeito às variações de temperatura do ambiente. Segundo Sezerino (2006), esse sistema atinge maiores eficiências nas épocas mais quentes do ano (primavera e verão), devido ao máximo desenvolvimento das plantas macrófitas e à maior atividade bacteriana. Os maiores valores de T observados na entrada e na saída do SAC foram, respectivamente, 29,10 e 30,00°C, registradas na primavera de 2021.

5.3.2.2 pH

De acordo com Von Sperling (2011), valores de pH muito afastados da neutralidade podem afetar o crescimento dos microrganismos atuantes no tratamento do esgoto. A Tabela 17 apresenta os valores de pH encontrados na entrada e saída dos sistemas monitorados e sua variação.

Tabela 17 – Valores médios de pH nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA	SAÍDA	VARIAÇÃO
Fossa biodigestora	$8,25 \pm 0,38$	$9,19 \pm 0,35$	$0,95 \pm 0,25$
SAC	$8,03 \pm 0,59$	$7,85 \pm 0,52$	$-0,18 \pm 0,24$

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na fossa biodigestora, observa-se a alcalinização dos efluentes. Segundo Silva *et al.* (2007), a degradação anaeróbia das proteínas e ureia presentes no esgoto gera amônia, que em meio aquoso passa para a forma de hidróxido de amônio, elevando o pH do efluente. Freitas *et al.* (2015), analisando a eficiência de uma fossa biodigestora no Tocantins, observaram o aumento de 1,20 no pH. Figueiredo *et al.* (2019) também encontraram resultados similares, com valores de pH na faixa de 8,40 na saída do sistema.

Por outro lado, no SAC, nota-se valores menores de pH na saída do sistema. De acordo com Monteiro (2009), essa diminuição do pH ocorre devido à formação de ácidos durante a fermentação da matéria orgânica presente no esgoto. Tratando águas cinzas de residências com um SAC de fluxo horizontal, Raphael *et al.* (2019) também observaram uma diminuição no pH do efluente, de 8,00 para 7,50.

5.3.2.3 Turbidez

A Tabela 18 apresenta os valores de turbidez encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de esgoto monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 18 – Valores médios de turbidez nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (NTU)	SAÍDA (NTU)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	361,81 ± 54,60	206,75 ± 7,92	41,51 ± 9,76
SAC	220,94 ± 46,18	113,48 ± 27,78	48,79 ± 4,48

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A turbidez observada na entrada da fossa biodigestora variou de 241,00 a 423,00 NTU. Analisando o desempenho de uma fossa biodigestora na área rural de Campinas, Figueiredo *et al.* (2019) relataram valores similares de turbidez na entrada do sistema, com uma média de 364,00 NTU. Entretanto, a eficiência de remoção observada pelos autores foi de 60,40%, valor acima do encontrado neste trabalho (41,51%). Por outro lado, Peres, Hussar e Beli (2010) relataram uma eficiência de remoção de turbidez de 36,20% e atribuíram a baixa eficiência ao arraste de sólidos suspensos ao longo do sistema.

Em relação ao SAC, os valores de turbidez encontrados na saída do sistema variaram de 75,40 a 200,00 NTU, muito acima do esperado. Silveira *et al.* (2020) observaram uma turbidez média de 31,00 NTU no efluente de um SAC para águas cinzas de uma universidade. Patki, Babu e Palase (2021), analisando o tratamento de águas cinzas de um albergue, observaram uma remoção de turbidez de 81,87%, eficiência maior que a verificada no presente trabalho (48,79%). Segundo Avery *et al.* (2007), partículas finas presentes no meio filtrante do SAC podem aumentar a turbidez do efluente.

5.3.2.4 DBO

A DBO mede o oxigênio consumido pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica presente no esgoto (VON SPERLING, 2011). A Tabela 19 apresenta os valores de DBO encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 19 – Valores médios de DBO nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (mg.L ⁻¹)	SAÍDA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	241,99 ± 38,20	111,54 ± 15,48	53,64 ± 4,28
SAC	174,50 ± 20,24	38,48 ± 6,69	78,04 ± 1,92

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de DBO observados no efluente tratado pela fossa biodigestora variaram de 91,22 a 135,74 mg.L⁻¹. Figueiredo *et al.* (2019) relataram valores um pouco superiores, entre 73,00 e 353,00 mg.L⁻¹, com uma média de 213,00 mg.L⁻¹. Entretanto, os autores constataram uma eficiência de remoção de 66,70%, enquanto que a do presente trabalho foi de 53,64%. Por outro lado, Oliveira (2018b) relatou uma eficiência de 54,60%, semelhante à observada. A remoção de matéria orgânica relativamente baixa pode estar associada à manutenção do sistema pelos moradores, que não faziam adição de esterco bovino com a frequência recomendada.

Segundo Benassi (2018), a eficiência média obtida para remoção de DBO em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 81,50%, valor próximo ao observado (78,04%). Lakho *et al.* (2020), em testes iniciais com SAC para tratamento de águas cinzas de festivais, obtiveram uma eficiência de remoção de DBO de 76,70%. Os autores relataram ainda uma concentração média de 35,00 mg.L⁻¹ na saída do sistema. Em seus estudos, Raphael *et al.* (2019) chegaram em uma concentração de DBO de 47,25 mg.L⁻¹ no efluente do SAC. Sendo assim, os valores obtidos no presente trabalho estão dentro do esperado.

5.3.2.5 DQO

Segundo Von Sperling (2011), a DQO mede a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica presente no esgoto, por meio de um oxidante. A Tabela 20 apresenta os valores de DQO encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 20 – Valores médios de DQO nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (mg.L⁻¹)	SAÍDA (mg.L⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	493,13 ± 69,31	255,77 ± 41,66	48,17 ± 3,84
SAC	316,95 ± 10,07	59,73 ± 2,40	81,14 ± 0,91

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em relação ao tratamento pela fossa biodigestora, Figueiredo *et al.* (2019) constataram uma remoção de DQO de 58,60%, eficiência superior à observada neste trabalho (48,17%). Assim como na DBO, a remoção de DQO abaixo do valor esperado pode estar associada com a frequência de manutenção do sistema. Barboni e Rochetto (2014) analisaram a eficiência de uma fossa biodigestora com apenas uma adição de esterco bovino e relataram uma remoção de DQO de apenas 30,70%. Segundo Faustino (2007), a carga de matéria orgânica presente no efluente da fossa biodigestora, quando este é utilizado em práticas agrícolas, propicia a formação de húmus, melhorando a aptidão do solo.

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018), a eficiência de remoção de DQO esperada em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 80,00%. Benassi (2018) também afirma que a eficiência média de remoção é de 76,50%. Entretanto, há estudos que alcançam valores maiores. Lakho *et al.* (2020) observaram uma eficiência 89,00% em testes iniciais. Portanto, a eficiência de remoção de DQO verificada para o SAC (81,14%) está dentro da faixa esperada.

5.3.2.6 Sólidos totais

Os sólidos totais são compostos pelos sólidos em suspensão (fixos e voláteis), sólidos dissolvidos (fixos e voláteis) e sólidos sedimentáveis (VON SPERLING, 2011). A Tabela 21 apresenta os valores de ST encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento de esgoto monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 21 – Valores médios de ST nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (mg.L ⁻¹)	SAÍDA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	1679,31 ± 401,54	869,81 ± 237,58	47,80 ± 11,08
SAC	1202,31 ± 450,29	538,25 ± 210,08	53,27 ± 19,25

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quanto à concentração de ST no efluente da fossa biodigestora, Lara, Marmo e Silva (2019), analisando um sistema inoculado com bioaditivo comercial, constataram uma concentração média de 882,00 mg.L⁻¹ na saída do sistema. Em relação à eficiência, Oliveira (2018b) relatou uma remoção de ST de 46,00%. Sendo assim, os valores observados neste trabalho estão dentro do esperado.

Segundo Cooper, Smith e Maynard (1996), em SACs de escoamento subsuperficial, a remoção de sólidos se dá por filtração e sedimentação. Analisando o tratamento de efluentes de parboilização de arroz, Bortoletto e Almeida (2020) observaram uma remoção de ST pelo SAC de 41,10%. Monteiro, Sezerino e Philippi (2015) chegaram a valores semelhantes com águas cinzas: 37,00%. Portanto, a eficiência de remoção de ST pelo SAC (53,27%) está dentro da faixa esperada.

5.3.2.7 Nitrogênio total

Segundo Von Sperling (2011), o nitrogênio total inclui nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, sendo um nutriente fundamental para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico do esgoto. A Tabela 22 apresenta os valores de NT encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 22 – Valores médios de NT nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (mg.L ⁻¹)	SAÍDA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	317,35 ± 25,54	207,12 ± 16,68	34,66 ± 3,09
SAC	35,05 ± 6,66	19,27 ± 3,75	44,87 ± 3,37

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de NT observados na saída da fossa biodigestora variaram de 186,21 a 256,33 mg.L⁻¹. A concentração média observada (207,12 mg.L⁻¹) é semelhante a obtida por Lotfi (2016), 195,17 mg.L⁻¹. Entretanto, a eficiência de remoção de NT relatada pelo autor é de 43,00%, superior à do presente trabalho (34,65%). Freitas *et al.* (2015) também observaram uma eficiência maior, de 48,76%. Por ser projetada para realizar um tratamento anaeróbio, a fossa biodigestora não possui um ambiente propício para a nitrificação da amônia no esgoto, processo realizado por bactérias aeróbias (LOTFI, 2016). Portanto, a baixa remoção de NT está relacionada com o bom funcionamento do sistema. Por esse motivo, o líquido efluente pode ser utilizado como biofertilizante, substituindo a adubação mineral nitrogenada (ABREU, 2019).

As concentrações de NT na saída do SAC variaram de 11,52 a 28,69 mg.L⁻¹. Em testes iniciais, Lakho *et al.* (2020) constataram uma concentração média de NT de 20,50 mg.L⁻¹ no efluente do sistema. Os autores observaram também uma eficiência de remoção de 49,00%. Segundo Von Sperling e Sezerino (2018), a remoção de NT esperada em SACs de fluxo horizontal subsuperficial é de 50,00%. Portanto, a eficiência de remoção de NT observada para o SAC (44,87%) está dentro da faixa esperada. De acordo com Calijuri *et al.* (2009), a remoção de NT por esse sistema se dá principalmente pelos processos de nitrificação e desnitrificação, sedimentação, assimilação pelas plantas e assimilação pelos microrganismos.

5.3.2.8 Fósforo total

O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica do esgoto, podendo se apresentar em sua forma inorgânica (ortofosfatos e polifosfatos) ou orgânica (VON SPERLING, 2011). A Tabela 23 apresenta os valores de PT encontrados na entrada e saída dos sistemas de tratamento monitorados, além dos valores da eficiência de remoção desse parâmetro.

Tabela 23 – Valores médios de PT nos sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	ENTRADA (mg.L ⁻¹)	SAÍDA (mg.L ⁻¹)	EFICIÊNCIA (%)
Fossa biodigestora	37,34 ± 3,28	25,78 ± 1,81	30,77 ± 3,49
SAC	3,59 ± 0,72	0,94 ± 0,18	73,73 ± 2,48

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

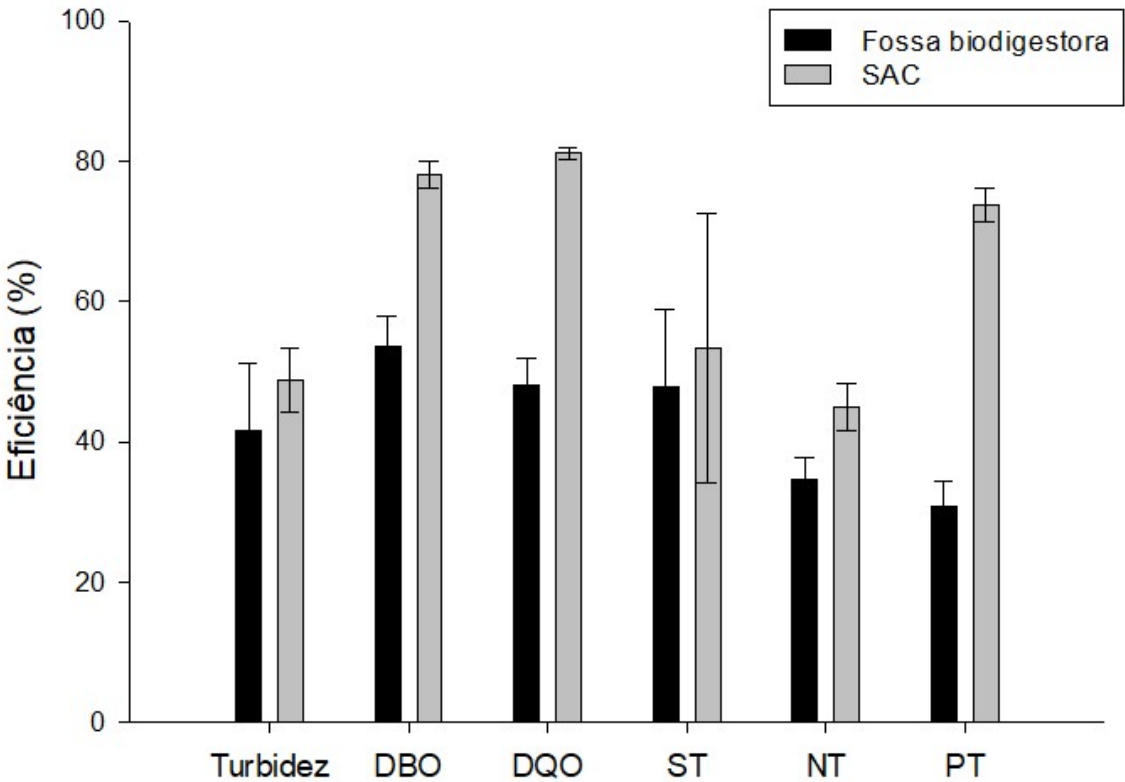
Em relação ao tratamento pela fossa biodigestora, a concentração de PT na saída do sistema variou de 22,41 a 28,97 mg.L⁻¹. Oliveira (2018b) relatou uma concentração média de PT de 34,60 mg.L⁻¹ no efluente final. Por outro lado, Figueiredo *et al.* (2019) observaram uma média de 20,00 mg.L⁻¹ de PT na saída do sistema. Os autores também verificaram uma eficiência de remoção de PT de 39,30%. Em seus estudos, Lotfi (2016) chegou em resultado semelhante: uma média de remoção de PT de 37,00%. Sendo assim, os valores observados no presente estudo estão dentro do esperado.

Na saída do SAC, os valores de PT observados variaram de 0,73 a 1,23 mg.L⁻¹. Ramprasad *et al.* (2017), analisando a performance de um SAC de fluxo horizontal subsuperficial para águas cinzas de dormitórios estudantis, encontraram uma concentração média de PT de 0,41 mg.L⁻¹ na saída do sistema. Lakho *et al.* (2020) constataram uma remoção de PT de 76,00%, eficiência próxima à observada neste trabalho (73,73%). Segundo Calijuri *et al.* (2009), a remoção de PT pelo SAC se dá principalmente pela assimilação das plantas e microrganismos, precipitação dos compostos insolúveis e adsorção pelo substrato.

5.3.2.9 Comparação dos sistemas

Com um custo de R\$1.909,28, valor próximo ao da fossa biodigestora (R\$1.998,76), e apresentando melhores eficiências de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, NT e PT, o SAC pode ser considerado o sistema de tratamento de esgoto com o melhor custo-benefício. A Figura 42 apresenta um gráfico comparativo entre as eficiências de remoção alcançadas pelos sistemas monitorados.

Figura 42 – Eficiências dos sistemas de tratamento de esgoto



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

6 CONCLUSÕES

Os moradores do assentamento “Estrela da Ilha” que participaram da entrevista são, em sua maioria, mulheres brancas, com idade entre 50 e 59 anos, casadas e com renda inferior a 2 salários mínimos.

A princípio, os moradores demonstraram despreocupação em relação à potabilidade da água. A maioria consome água proveniente de poço profundo sem realizar nenhum tipo de tratamento. Entre os que tratam a água antes do consumo, a filtração é o método mais utilizado. Episódios de diminuição da vazão do poço podem estar relacionados a períodos de escassez de chuvas.

Uma parcela significativa dos moradores ainda utiliza fossa rudimentar como solução alternativa de esgotamento sanitário. Apesar da maioria alegar ter construído sua fossa sem nenhum tipo de orientação externa, a distância entre esse sistema e o poço atende ao mínimo recomendado por norma. Entretanto, todos os entrevistados afirmaram lançar a céu aberto o esgoto de pias e tanques, uma possível explicação para a ocorrência de ratos e baratas.

Sendo o público-alvo as mulheres casadas, de meia idade e de baixa renda, elaborar o material em formato didático, com linguagem descomplicada e apelo à saúde da família foi uma estratégia que fez a população se interessar pela questão ambiental. Ao perceberem que os sistemas de tratamento de água e esgoto propostos eram simples, economicamente acessíveis e apresentavam diversas vantagens, os moradores se mostraram dispostos a adotar as novas soluções.

O clorador com filtro de carvão ativado apresenta um custo de R\$288,08. Se a manutenção do sistema for realizada corretamente, o teor de CRL na água ($0,43 \text{ mg.L}^{-1}$) atende o mínimo estabelecido pelo padrão de potabilidade brasileiro e o pH se mantém neutro (7,66). As eficiências de remoção de CT, *E. coli* e turbidez alcançadas são, respectivamente, 99,91%, 99,22% e 66,32%.

O SODIS apresenta um custo de R\$50,00. Se o sistema for operado corretamente, atinge bom nível de desinfecção e o pH se mantém neutro (7,12). As eficiências de remoção de CT, *E. coli* e turbidez alcançadas são, respectivamente, 98,14%, 96,35% e 44,98%.

A fossa biodigestora apresenta um custo de R\$1.998,76. Com um TDH de 20 dias, atinge eficiências de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, NT e PT de, respectivamente, 41,51%, 53,64%, 48,17%, 47,80%, 34,66% e 30,77%. Se a manutenção do sistema for realizada corretamente, a eficiência pode alcançar valores maiores. O efluente do sistema pode ser utilizado como biofertilizante em substituição à adubação mineral nitrogenada.

O SAC apresenta um custo de R\$1.909,28. Com uma vazão afluenta de 180,22 L.dia⁻¹ e TDH de 5,77 dias, atinge eficiências de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, NT e PT de, respectivamente, 48,79%, 78,04%, 81,14%, 53,27%, 44,87% e 73,73%. O efluente do sistema pode ser utilizado para irrigação.

Em comparação com o clorador com filtro de carvão ativado, o SODIS é o sistema alternativo de tratamento de água com o melhor custo-benefício. Em comparação com a fossa biodigestora, o SAC é o sistema alternativo de tratamento de esgoto com o melhor custo-benefício.

Os quatro sistemas estudados são economicamente acessíveis e apresentam boa eficiência de tratamento. Sendo assim, sua implementação em comunidades isoladas de baixa renda pode ser feita em maior escala, contribuindo com a universalização do saneamento básico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Pedro Alcantara da Silva. **Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestora como fonte de nitrogênio na cultura do milho**. 2019. 126 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
- ACRA, Aftim; RAFFOUL, Zeina; KARAHAGOPIAN, Yester. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions: guidelines for household application in developing countries**. Beirute: UNICEF, 1984. 56 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Novo Marco do Saneamento entra em vigor e deve trazer avanços econômicos, na saúde e no meio ambiente em todo o País**. 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/novo-marco-do-saneamento-entra-em-vigor-e-deve-trazer-avancos-economicos-na-saude-e-no-meio-ambiente-em-todo-o-pais>. Acesso em: 14 out. 2020.
- ALI, Qamar; KHAN, Muhammad Tariq Iqbal; KHAN, Muhammad Noraiz Iqbal. Dynamics between financial development, tourism, sanitation, renewable energy, trade and total reserves in 19 Asia cooperation dialogue members. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 179, p. 114-131, abr. 2018.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 23 ed. Washington DC: APHA, 2016. 1540 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60 p.
- AVERY, Lisa M.; FRAZER-WILLIAMS, Ronnie A. D.; WINWARD, Gideon; SHIRLEY-SMITH, Chris; LIU, Shuming; MEMON, Fayyaz A.; JEFFERSON, Bruce. Constructed wetlands for grey water treatment. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Warsaw, v. 7, n. 3-4, p. 191-200, jan. 2007.
- BANSAL, Roop Chand; GOYAL, Meenakshi. **Activated Carbon Adsorption**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. 472 p.
- BARBONI, Jéssica Tardelli; ROCHETTO, Ursula Luana. Análise Da Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora Para Tratamento de Esgotos Domésticos Em Área Rural. In: Congresso Nacional De Meio Ambiente De Poços De Caldas, 11, 2014, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas: IF Sul de Minas, 2014. p. 1-8.

BARRETO, Douglas. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, jun. 2008.

BASU, Onita; DHAWAN, Sahil; BLACK, Kerry. Applications of biofiltration in drinking water treatment - a review. **Journal Of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford,, v. 91, n. 3, p. 585-595, 21 dez. 2015.

BENASSI, Roseli Frederigi (org.). **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários**: implantação, operação e manutenção. Santo André: UFABC, 2018. 52 p.

BERNARD, Harvey Russell. **Research methods in anthropology**: qualitative and quantitative approaches. 4. ed. Lanham: AltaMira Press, 2006. 803 p.

BIANCH, Rodrigo; BOTTO, Márcio Pessoa. Análise de parâmetros físico-químicos de águas submetidas ao método SODIS de desinfecção. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 54-61, jan. 2019.

BORTOLETTO, Edmilson Cesar; ALMEIDA, João Vitor Costa. Avaliação do uso de *wetland* no tratamento do efluente de parboilização de arroz. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1395-1412, jan. 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988. 496 p.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**. Brasília: Câmara dos Deputados, jan. 2007. Seção 1, p. 3-7.

BRASIL. **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, 2010. 246 p.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério das Cidades, 2013. 173 p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, 2014. 36 p.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX: controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**. Brasília: Ministério da Saúde, out. 2017.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico**: documento em revisão submetido à apreciação dos conselhos nacionais de saúde, recursos hídricos e meio ambiente. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. 240 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Consehos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da União**. Brasília: Câmara dos Deputados, jul. 2020. Seção 1, p. 1.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto - Visão Geral 2020. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021a. 90 p. Disponível em: http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 03 fev. 2022.

BRASIL. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**. 85 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 7 mai. 2021b. Seção 1, p. 126-136.

CAI, Zhaoyang; LIU, Qing; CAO, Shixiong. Real estate supports rapid development of China's urbanization. **Land Use Policy**, Oxford, v. 95, p. 104582, jun. 2020.

CALIJURI, Maria Lúcia; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; MAGALHÃES, Tiago de Brito; CAPELETE, Bruna Cesca; DIAS, Edgard Henrique Oliveira. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/*wetlands* construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 421-430, set. 2009.

CHEN, Jun; LIU, You-Sheng; DENG, Wen-Jing; YING, Guang-Guo. Removal of steroid hormones and biocides from rural wastewater by an integrated constructed wetland. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 660, p. 358-365, abr. 2019.

CHEN, Han; LIN, Tao; ZHANG, Shisheng; CHEN, Wei; XU, Hang; TAO, Hui. Covalent organic frameworks as an efficient adsorbent for controlling the formation of disinfection by-products (DBPs) in chlorinated drinking water. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 746, p. 141138, dez. 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS (CBH-SJD). **Atualização do Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados – UGRHI 18**. São José do Rio Preto: CBH-SJD, 2016. 166 p. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-SJD/12067/resposta-aocrhi-ugrhi-18-rev-3.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS (CBH-SJD). **Relatório de situação dos recursos hídricos – UGRHI 18**. São José do Rio Preto: CBH-SJD, 2020. 130 p. Disponível em:

http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-SJD/19602/rs_cbh-sjd-ano-base-2019_final.pdf. Acesso em: 22 abr. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Aquífero Bauru**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-bauru/>. Acesso em: 7 dez. 2021.

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

COSTA, Cinthia Cabral da; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 51-60, abr. 2014.

CUTHBERTSON, Amy; KIMURA, Susana; LIBERATORE, Hannah; SUMMERS, Scott; KNAPPE, Detlef; STANFORD, Benjamin; MANESS, Clark; MULHERN, Riley; SELBES, Meric; RICHARDSON, Susan. Does granular activated carbon with chlorination produce safer drinking water? From disinfection byproducts and total organic halogen to calculated toxicity. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 53, n. 10, p. 5987-5999, 30 abr. 2019.

DELGADO, Nasly; BERMEO, Lizeth; HOYOS, Daniel Alejandro; PEÑUELA, Gustavo Antonio; CAPPARELLI, Alberto; MARINO, Damián; NAVARRO, Agustín; CASAS-ZAPATA, Juan Carlos. Occurrence and removal of pharmaceutical and personal care products using subsurface horizontal flow constructed wetlands. **Water Research**, Oxford, v. 187, p. 116448, dez. 2020.

DOTRO, Gabriela; LANGERGRABER, Günter; MOLLE, Pascal; NIVALA, Jaime; PUIGAGUT, Jaume; STEIN, Otto; VON SPERLING, Marcos. **Treatment Wetlands**. Biological Wastewater Treatment Series. Londres: IWA Publishing, 2017. 154 p.

DRUZIAN, Maria; DRUZIAN, Felipe Barreto; SILVA, Francisca de Oliveira e; CALIMAN, Milena da Vitória; CASA NOVA, Guilherme Pacheco; SILVA, Mateus Guimaraes da. A eficiência do uso de um clorador para descontaminação de água de poço. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 2, mar. 2020.

EDGEFX. **Solar Water Disinfection**. 2017. Disponível em:

<https://www.efxkits.co.uk/solar-energy-based-water-purification-systems/solar-water-disinfection/>. Acesso em: 29 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **ABC da agricultura familiar: saneamento básico rural**. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. 68 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Memorial descritivo**: montagem e operação da fossa séptica biodigestora. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. 27 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Perguntas e respostas - Fossa Séptica Biodigestora**: edição revisada e ampliada. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019. 34 p.

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

FERREIRA, Danielle Costa; LUZ, Sergio Luiz Bessa; BUSS, Daniel Forsin. Avaliação de cloradores simplificados por difusão para descontaminação de água de poços em assentamento rural na Amazônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 767-776, mar. 2016.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; COASACA, Raúl Lima; DUARTE, Natália Cangussu; MIYAZAKI, Caroline Kimie; LEONEL, Lays Paulino; SCHNEIDER, Jerusa; TONETTI, Adriano Luiz. Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. **Revista DAE**, [S.L.], v. 67, n. 220, p. 100-114, nov. 2019.

FREITAS, Gilson Araújo de; PEREIRA, Miréia Aparecida Bezerra; BESSA, Nelita Gonçalves Faria de; CARNEIRO, Jefferson Santana da Silva; CONCEIÇÃO, Rosetânia Correia Neves da; CERQUEIRA, Fernando Barnabé. Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: SBCS, 2015

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Perfil dos municípios paulistas**. 2021. Disponível em: <https://perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

GARCÍA-GIL, Ángela; PABLOS, Cristina; GARCÍA-MUÑOZ, Rafael A.; MCGUIGAN, Kevin G.; MARUGÁN, Javier. Material selection and prediction of solar irradiance in plastic devices for application of solar water disinfection (SODIS) to inactivate viruses, bacteria and protozoa. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 730, p. 139126, ago. 2020.

GARRIDO, Juliana; ROCHA, Wilson; GAMBRILL, Martin; COLLET, Heitor. **Estudo de modelos de gestão de serviços de abastecimento de água no meio rural no Brasil**: parte I. Brasília: Banco Mundial, 2016. 112 p.

GEARY, Phillip Milton. Effluent tracing and the transport of contaminants from a domestic septic system. **Water Science And Technology**, London, v. 51, n. 10, p. 283-290, maio 2005.

GOEL, Snigdha; KANSAL, Arun. Phosphorous recovery from septic tank liquor: optimal conditions and effect of tapered velocity gradient. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 275, p. 124056, dez. 2020.

GOLEA, Dan Mihai; JARVIS, Peter; JEFFERSON, Bruce; MOORE, Graeme; SUTHERLAND, S.; PARSONS, Simon; JUDD, Simon. Influence of granular activated carbon media properties on natural organic matter and disinfection by-product precursor removal from drinking water. **Water Research**, Oxford, v. 174, p. 115613, maio 2020.

GOOGLE MAPS. **Ilha Solteira – SP**. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/dir/Ilha+Solteira,+SP//@-20.4278898,-51.3798562,13z/data=!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x9499f8721870cc65:0xf6bd188d5f7de344!2m2!1d-51.3448365!2d-20.4279737!1m0!3e0>. Acesso em: 22 ago. 2021.

GRAF, Jürg; TOGOUET, Serge Zebaze; KEMKA, Norbert; NIYITEGEKA, Domitille; MEIERHOFER, Regula; PIEBOJI, Joseph Gangoue. Health gains from solar water disinfection (SODIS): evaluation of a water quality intervention in Yaoundé, Cameroon. **Journal Of Water And Health**, London, v. 8, n. 4, p. 779-796, maio 2010.

HACH COMPANY. **Method 10071**: Nitrogen, Total. 10 ed. Loveland: Hach Company, 2014. 8 p

HACH COMPANY. **Method 8190**: Phosphorus, Total. 10 ed. Loveland: Hach Company, 2017. 7 p

HUA, Guanghui; RECKHOW, David. DBP formation during chlorination and chloramination: effect of reaction time, pH, dosage, and temperature. **Journal American Water Works Association**, [S.L.], v. 100, n. 8, p. 82-95, ago. 2008.

ILHA SOLTEIRA. Lei Complementar nº 151, de 01 de julho de 2008. Institui o Plano Diretor do Município de Ilha Solteira, cria o Conselho da Cidade e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**. Ilha Solteira: Câmara Municipal, p. 1-167. Disponível em: <https://www.ilhasolteira.sp.gov.br/?wpdmpro=lei-complementar-151-2018>. Acesso em: 23 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010**: características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 270 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: características gerais dos domicílios e dos moradores 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2020a. 9 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de Informações Geográficas e Estatísticas sobre os indígenas e quilombolas para enfrentamento à Covid-19**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020b. 17 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017**: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2020c. 124 p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Informações gerais sobre os assentamentos da Reforma Agrária**. 2017. Disponível em: <https://painel.incra.gov.br>. Acesso em: 22 ago. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Pesquisa saneamento básico em áreas irregulares**: Relatório Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2016. 118 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento Brasileiro**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2018. 86 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

JIANG, Jingyi; LI, Wanxin; ZHANG, Xiangru; LIU, Jiaqi; ZHU, Xiaohu. A new approach to controlling halogenated DBPs by GAC adsorption of aromatic intermediates from chlorine disinfection: effects of bromide and contact time. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 203, p. 260-267, set. 2018.

KEHOE, Siobhán; JOYCE, Tina; IBRAHIM, Pazilah; GILLESPIE, J.; SHAHAR, Ron; MCGUIGAN, Kevin. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. **Water Research**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 1061-1065, mar. 2001.

LAKHO, Fida Hussain; LE, Hong Quan; VAN KERKHOVE, Frédéric; IGODT, Wouter; DEPUYDT, Veerle; DESLOOVER, Joachim; ROUSSEAU, Diederik P. L.; VAN HULLE, Stijn W. H. Water treatment and re-use at temporary events using a mobile constructed wetland and drinking water production system. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 737, p. 139630, out. 2020.

LARA, Paula Alejandra; MARMO, Carlos Renato; SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. Avaliação da qualidade do efluente de esgoto tratado em fossas sépticas biodigestoras inoculadas com substitutos ao esterco bovino fresco. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2019. **Livro de resumos**. São Carlos: Siagro, 2019. p. 295-299.

LOTFI, Pedro Carlos Sztajn. **Avaliação preliminar da eficiência de fossas biodigestoras no tratamento de esgoto unidomiciliar**: assentamentos Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP). 2016. 67 f. TCC (Graduação), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

MANTECH. **Disinfection Byproduct Formation Pathway**. 2020. Disponível em: <https://mantech-inc.com/blog/new-article-in-ontario-pipeline-magazine-pecod-for-control-prevention-of-disinfection-by-products/dbp-formation-pathway/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MAX WATER. **GAC filter**. 2020. Disponível em: <https://www.maxwaterflow.com>. Acesso em: 29 out. 2020.

MAZHAR, Mohd Aamir; KHAN, Nadeem Ahmad; AHMED, Sirajuddin; KHAN, Afzal Husain; HUSSAIN, Azhar; UDDIN, Rahis; CHANGANI, Fazlollah; YOUSEFI, Mahmood; AHMADI, Shahin; VAMBOL, Viola. Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 273, p. 123159, nov. 2020.

MARQUES, Vanessa Caetano; NICLODI, Joao Luiz. Ferramentas de Educomunicação Socioambiental: subsídios para a Gestão Integrada da Zona Costeira. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 385-408, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/10786>. Acesso em: 24 nov. 2021.

MONTEIRO, Rodrigo Cesar de Moraes. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reúso não potável**. 2009. 84 f. TCC (Graduação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MONTEIRO, Victória Regina Celso; SEZERINO, Pablo Heleno; PHILIPPI, Luiz Sérgio. Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 2, p. 93-109, jul. 2015.

MOREIRA, Gislene. A educomunicação e os sertões do século XXI. **Educação & Sociedade**, v. 41, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/mp5fXLnXZHLDXN6kFkV8ycd/?lang=pt>. Acesso em: 24 nov. 2021.

NOBRE, Miriam. **Relações de gênero e agricultura familiar**. In: NOBRE, M.; SILIPRANDI, E.; QUINTELA, S.; MENASCHE, R. (org.). *Gênero e Agricultura Familiar*. São Paulo: Sempre Viva Organização Feminista, 1998.

OLIVEIRA, Bruna Rocha de; GUEDES, Marcelino Carneiro; LIRA-GUEDES, Ana Cláudia; MARMO, Carlos Renato; SARGES, Railan Coelho; COSTA, Janaina Barbosa Pedrosa. **Construção do sistema de fossa séptica biodigestora adaptada para várzeas estuarinas do Rio Amazonas**. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2018a. 32 p.

OLIVEIRA, Thaissa Jucá Jardim. **Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018b.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: don't forget the basics of good hygiene**. 2021. Disponível em:

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>. Acesso em: 08 set. 2021.

PATKI, Vinayak K.; BABU, P. V. Vijay; PALASE, Adinath. On-site grey water treatment integrated with constructed wetland for household appliance. **Lecture Notes In Civil Engineering**, [S.L.], v. 178, p. 401-422, nov. 2021.

PERES, Leandro José Simoni; HUSSAR, Gilberto José; BELI, Euzebio. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. **Engenharia Ambiental**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 20-36, jan. 2010.

PHILIPPI, Luiz Sérgio; SEZERINO, Pablo Heleno. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias**: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004. 144 p.

PICHEL, Natalia; VIVAR, Marta; FUENTES, Manuel. The problem of drinking water access: a review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. **Chemosphere**, [S.L.], v. 218, p. 1014-1030, mar. 2019.

PISHGAR, Roya; MORIN, Dean; YOUNG, Shane J.; SCHWARTZ, Jon; CHU, Angus. Characterization of domestic wastewater released from 'green' households and field study of the performance of onsite septic tanks retrofitted into aerobic bioreactors in cold climate. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 755, p. 142446, fev. 2021.

PRIHANDANA, Gunawan Setia; SURURI, Ahmad; SRIANI, Tutik; YUSOF, Farazila; JAMALUDIN, Mohd Fadzil; MAHARDIKA, Muslim. Facile fabrication of low-cost activated carbon bonded polyethersulfone membrane for efficient bacteria and turbidity removal. **Water Practice And Technology**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 102-111, dez. 2021.

PROPOLSKY, Dmitry; ROMANOVSKAIA, Elena; KWAPINSKI, Witold; ROMANOVSKI, Valentin. Modified activated carbon for deironing of underground water. **Environmental Research**, [S.L.], v. 182, p. 108996, mar. 2020.

QUEIROZ, Leandro Santos; SOUZA, Luiz; THOMAZ, Kelly Taise; LIMA, Erika Tallyta Leite; ROCHA FILHO, Geraldo; NASCIMENTO, Luis Adriano; PIRES, Luiza Helena de Oliveira; FAIAL, Kelson do Carmo Freitas; COSTA, Carlos Emmerson Ferreira da. Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (acai seed): modification, characterization, and use for removal of metal ions from water. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 270, p. 110868, set. 2020.

RAMPRASAD, C.; SMITH, Chris Shirley; MEMON, Fayyaz A.; PHILIP, Ligy. Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 106, p. 55-65, set. 2017.

RAPHAEL, O. D.; OJO, S. I. A.; OGEDENGBE, K.; EGHOBAMIEN, C.; MORAKINYO, A. O. Comparison of the performance of horizontal and vertical flow constructed wetland planted with *Rhynchospora corymbosa*. **International Journal Of Phytoremediation**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 152-159, jan. 2019

ROSE, Anuradha; ROY, Sheela; ABRAHAM, Vinod HOLMGREN, Gunnar; GEORGE, Kuryan; BALRAJ, Vinohar; ABRAHAM, Sulochana; MULIYIL, Jayaprakash; JOSEPH, Abraham; KANG, Gagandeep. Solar disinfection of water for diarrheal prevention in southern India. **Archives Of Disease In Childhood**, [S.L.], v. 91, n. 2, p. 139-141, fev. 2006.

SCOTT, Parry; CORDEIRO, Rosineide; MENEZES, Marilda. (org.). **Gênero e Geração em Contextos Rurais**. Florianópolis: Editora Mulheres, 2010, 473 p.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. 171 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SEZERINO, Pablo Heleno; BENTO, Alessandra Pellizaro; DECEZARO, Samara Terezinha; MAGRI, Maria Elisa; PHILIPPI, Luiz Sérgio. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da; FAUSTINO, Adriana Soares; NOVAES, Antônio Pereira de. **Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2007. 20 p.

SILVA, Guilherme Otávio Rosa e; LOUREIRO, Helen Oliveira; SOARES, Laura Guimarães; ANDRADE, Laura Hamdan de; SANTOS, Rana Gabriela Lacerda. Evaluation of an alternative household water treatment system based on slow filtration and solar disinfection. **Journal Of Water And Health**, London, v. 20, n. 1, p. 157-166, nov. 2021.

SILVEIRA, Jéssica Rodrigues; NEVES, Jordana Portilho; VIEIRA, Bruno Henrique Rabelo; SANTOS, Marianne Stella Côrrea dos; PITALUGA, Douglas Pereira da Silva. Tratamento de efluentes por sistema *wetland* construído de uma unidade universitária. **Tecnia**, Lima, v. 5, n. 1, p. 136-152, jul. 2020.

SINGH, Sarjinder. **Simple Random Sampling**. In: SINGH, Sarjinder. *Advanced Sampling Theory with Applications*. Dordrecht: Springer, 2003, p. 71-136.

SOARES, Márcia Toffani Simão; CALHEIROS, Débora Fernandes; GALVANI, Fábio; FEIDEN, Alberto; CAMPOLIM, Aldalgiza Inês; SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. Parâmetros físico-químicos e eficiência de fossa séptica biodigestora na redução da carga orgânica de esgoto originado de água doce ou salobra, na borda oeste do Pantanal. In: AGROECOL, 2016. Dourados: **Cadernos de Agroecologia**, 2016. p. 1-12.

SOS LIQUID WASTE. **Septic Tanks**. 2020. Disponível em: <http://www.sosliquidwaste.com/septic-tanks/>. Acesso em: 16 out. 2020.

SRIVASTAV, Arun Lal; PATEL, Naveen; CHAUDHARY, Vinod Kumar. Disinfection by-products in drinking water: occurrence, toxicity and abatement. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 267, p. 115474, dez. 2020.

SUBTIL, Eduardo Lucas; SANCHEZ, Aline Alvez; CAVALHERO, Amanda. **Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água**. In: MANTOVANI, Waldir; CARDOSO, Andrea; BENASSI, Roseli Frederigi; SUBTIL, Eduardo Lucas (org.). *Ciência e Tecnologia Ambiental: conceitos e perspectivas*. São Paulo: Editora UFABC, 2016. p. 201-220.

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY (EAWAG). DEPARTMENT OF SANITATION, WATER AND SOLID WASTE FOR DEVELOPMENT (SANDEC). **SODIS manual**: guidance on solar water disinfection. Dübendorf: EAWAG/SANDEC, 2016. 56 p.

TONETTI, Adriano Luiz; BRASIL, Ana Lúcia; MADRID, Francisco José Peña y Lillo; FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SCHNEIDER, Jerusa; CRUZ, Luana Mattos de Oliveira; DUARTE, Natália Cangussu; COASACA, Raúl Lima; GARCIA, Rodrigo Sanches; MAGALHÃES, Taína Martins. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.

VIVAR, Marta; FUENTES, Manuel; CASTRO, Juan; GARCÍA-PACHECO, Raquel. Effect of common rooftop materials as support base for solar disinfection (SODIS) in rural areas under temperate climates. **Solar Energy**, Oxford, v. 115, p. 204-216, maio 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 452 p.

VON SPERLING, Marcos; SEZERINO, Pablo Heleno. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. Florianópolis: Wetlands Brasil, 2018. 65 p. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/boletins>. Acesso em: 21 out. 2020.

WAMBOYE, Evelyn; NYARONGA, Peter John; SERGI, Bruno. What are the determinants of international tourism in Tanzania? **World Development Perspectives**, Amsterdam, v. 17, p. 100175, mar. 2020.

WITHERS, Paul; JARVIE, Helen; STOATE, Chris. Quantifying the impact of septic tank systems on eutrophication risk in rural headwaters. **Environment International**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 644-653, abr. 2011.

ZHU, Yan; YE, Ming; ROEDER, Eberhard; HICKS, Richard W.; SHI, Liangsheng; YANG, Jinzhong. Estimating ammonium and nitrate load from septic systems to surface water bodies within ArcGIS environments. **Journal Of Hydrology**, Amsterdam, v. 532, p. 177-192, jan. 2016.

APÊNDICE A – Formulário da pesquisa**Data:** ____/____/____.**Nº do lote:** ____.**Parte 1 – Perfil da(o) entrevistada(o):**

1) Nome: _____.

2) Idade: ____ anos.

3) Gênero:

☐ Feminino.☐ Masculino.☐ Outro.

4) Estado civil:

☐ Solteira(o).☐ Casada(o).☐ Separada(o).☐ Divorciada(o).☐ Viúva(o).

5) Cor/raça:

☐ Branca.☐ Preta.☐ Parda.☐ Amarela.☐ Indígena.

6) Renda mensal da família:

☐ Até 2 salários mínimos.☐ De 2 a 4 salários mínimos.☐ De 4 a 10 salários mínimos.☐ Acima de 10 salários mínimos.**Parte 2 – Abastecimento de água:**

7) Qual a principal forma de abastecimento de água deste domicílio?

☐ Rede geral.☐ Poço profundo ou artesiano.☐ Poço raso, freático ou cacimba.☐ Fonte, nascente ou mina.☐ Carro-pipa☐ Rio, açude, córrego, lago ou igarapé.☐ Cisterna.☐ Outra.

8) Se poço, como foi a construção? (Acompanhamento técnico, profundidade, dificuldades, etc.)

9) Utiliza algum método de tratamento de água?

- () Sim. Qual? _____.
- () Não. Por quê? _____.

10) Já ocorreu falta de água?

- () Sim. Em qual período? _____.
- () Não.

Parte 3 – Esgotamento sanitário:

11) Qual a principal forma de esgotamento sanitário deste domicílio?

- () Rede geral.
- () Fossa séptica.
- () Fossa rudimentar.
- () Vala.
- () Rio, lago ou córrego.
- () Outra.

12) Se fossa, como foi a construção? (Acompanhamento técnico, profundidade, distância do poço, dificuldades, etc.)

13) O esgoto das pias, tanques e chuveiros é separado do esgoto do vaso sanitário?

- () Sim. Para onde vai? _____.
- () Não.

Parte 4 – Saúde:

14) É frequente o aparecimento de animais neste domicílio? (Insetos, roedores, etc.)

- () Sim. Quais? _____.
- () Não.

15) Sua família fica doente com qual frequência? Quais os principais sintomas?

APÊNDICE B – Material didático

SANEAMENTO INCLUSIVO

Sistemas para tratamento de água e esgoto em comunidades isoladas



Ilustração: Freepik.com

Letícia Beatriz de Lima
Liliane Lazzari Albertin
Maurício Augusto Leite

Esta publicação está disponibilizada gratuitamente no site oficial do ProfÁgua UNESP, no link:

<https://www.feis.unesp.br/#!/pos-graduacao/profagua/livro/livros/>

DESIGNER GRÁFICO

Tarcísio Buzatto Floriano

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos também o apoio técnico-científico do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua - Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015.

L437s

Lima, Letícia Beatriz de

Saneamento inclusivo – sistemas para tratamento de água e esgoto em comunidades isoladas / Letícia Beatriz de Lima, Liliane Lazzari Albertin e Maurício Augusto Leite – São Carlos: RiMa Editorial, 2021.

9 p. il. e-book

ISBN: 978-65-996815-2-3

1. saneamento básico. 2. esgoto. 3. água. 4. comunidades isoladas. 5 tratamento de água e esgoto. I. Autores. II. Título.



COMISSÃO EDITORIAL

Dirlene Ribeiro Martins

Paulo de Tarso Martins

Evaldo L. G. Espíndola (USP - SP)

João Batista Martins (UEL - PR)

Michèle Sato (UFMT - MT)

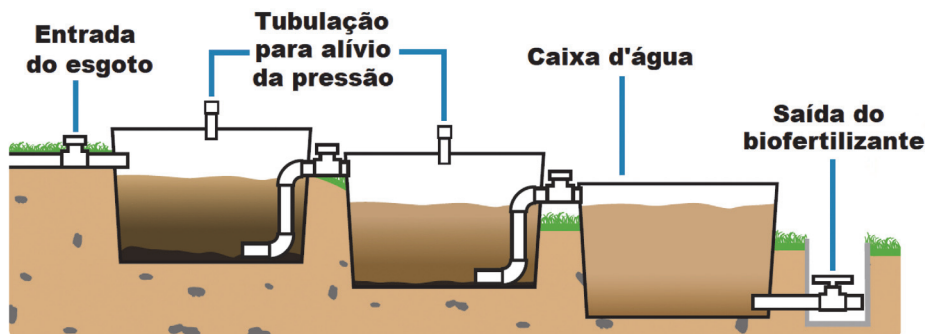
RiMa

Rua Virgílio Pozzi, 81 – Santa Paula

13564-040 – São Carlos, SP

Fone/Fax: (16) 988064652

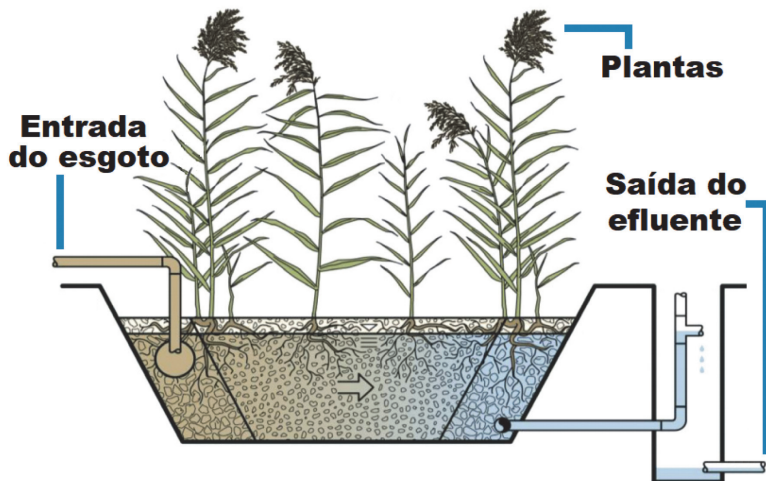
FOSSA BIODIGESTORA



Fonte: Adaptada de Tonetti et al. (2018)

- Sistema feito com 3 caixas d'água enterradas e conectadas com tubos de PVC;
- Trata o esgoto do vaso sanitário (águas negras);
- O tratamento é feito por meio da degradação da matéria orgânica;
- O líquido tratado pode ser utilizado como biofertilizante, rico em nutrientes para as plantas;
- **Manutenção:** Adicionar esterco bovino e água (5 litros de cada) na entrada do sistema 1 vez por mês.

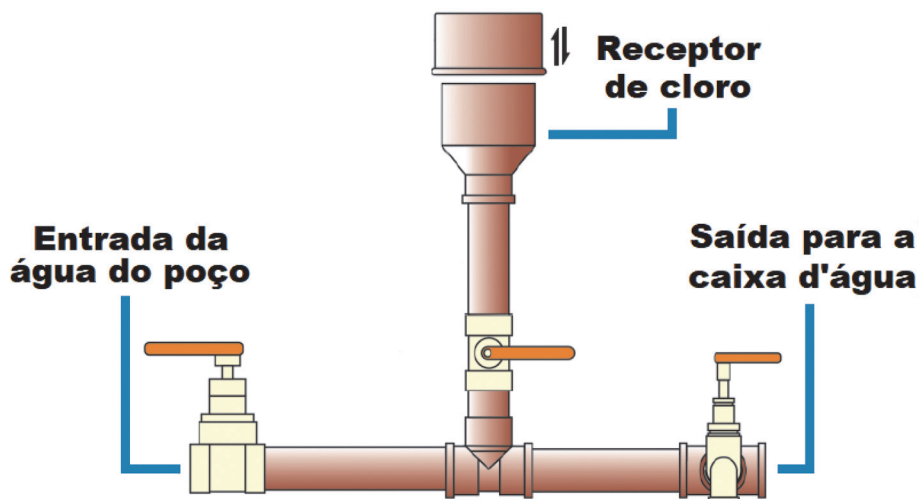
JARDIM FILTRANTE



Fonte: Adaptada de Dotro et al. (2017)

- Sistema feito com uma vala preenchida de brita e plantas, como a Taboa;
- Trata o esgoto de pias, tanques e chuveiros (águas cinzas);
- O tratamento é feito por meio da degradação da matéria orgânica e remoção dos poluentes pelas plantas;
- O líquido tratado pode ser utilizado para irrigar plantações e lavar pisos;
- **Manutenção:** Podar as plantas quando necessário.

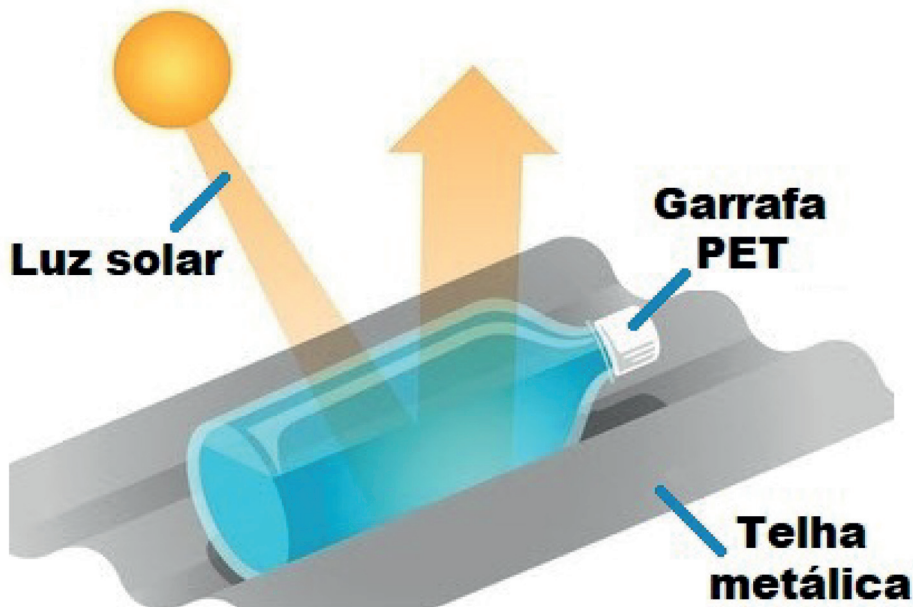
CLORADOR



Fonte: Adaptada de Embrapa (2014)

- Sistema feito com tubos e conexões de PVC;
- Trata a água do poço;
- O tratamento é feito com cloro, que elimina os micro-organismos causadores de doenças;
- **Manutenção:** Adicionar 1 colher de café de hipoclorito de cálcio (cloro de piscina) no receptor 1 vez por dia.

SODIS



Fonte: Adaptada de EdgeFX (2017)

- Sistema feito com garrafas PET transparentes e telhas metálicas;
- Trata a água do poço e de rios;
- O tratamento é feito com a radiação do sol, que elimina os micro-organismos causadores de doenças;
- **Manutenção:** Encher as garrafas com água, agitar e expor ao sol por 6 horas (das 9h da manhã às 3h da tarde).

VANTAGENS DE UTILIZAR ESSES SISTEMAS DE TRATAMENTO

- Eles ajudam a evitar doenças causadas pelo consumo de água contaminada, como diarreia, verminoses, hepatite A e leptospirose;
- O biofertilizante gerado pela fossa biodigestora aumenta a produtividade da lavoura e gera economia com adubos comerciais;
- As plantas cultivadas no jardim filtrante também podem ser uma fonte de renda;
- O tratamento com cloro permite um fácil monitoramento da qualidade da água;
- Além de tratar a água, o SODIS reduz o descarte inadequado de garrafas PET;
- Essas soluções contribuem com a saúde da sua família e a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

DOTRO, Gabriela; LANGERGRABER, Günter; MOLLE, Pascal; NIVALA, Jaime; PUIGAGUT, Jaume; STEIN, Otto; VON SPERLING, Marcos. **Treatment Wetlands**. Biological Wastewater Treatment Series. Londres: IWA Publishing, 2017. 154 p.

EDGEFX. **Solar Water Disinfection**. 2017. Disponível em: <https://www.efxkits.co.uk/solar-energy-based-water-purification-systems/solar-water-disinfection/>. Acesso em: 04 nov. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **ABC da agricultura familiar: saneamento básico rural**. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. 68 p.

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY (EAWAG). DEPARTMENT OF SANITATION, WATER AND SOLID WASTE FOR DEVELOPMENT (SANDEC). **SODIS manual: guidance on solar water disinfection**. Dübendorf: EAWAG/SANDEC, 2016. 56 p.

TONETTI, Adriano Luiz; BRASIL, Ana Lúcia; MADRID, Francisco José Peña y Lillo; FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SCHNEIDER, Jerusa; CRUZ, Luana Mattos de Oliveira; DUARTE, Natália Cangussu; COASACA, Raúl Lima; GARCIA, Rodrigo Sanches; MAGALHÃES, Taína Martins. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.

ProfÁgua

Mestrado Profissional em Rede Nacional
em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



ISBN 978-659968152-3



9

786599

681523