

TAYANE CRISTIELE RODRIGUES MESQUITA

**TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM
SISTEMAS CONSTITUÍDOS POR TANQUES SÉPTICOS E FILTROS
ANAERÓBIOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M582t
2019

Mesquita, Tayane Cristiele Rodrigues, 1994-

Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em
sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios /
Tayane Cristiele Rodrigues Mesquita. – Viçosa, MG, 2019.
xiv, 209f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: André Pereira Rosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Saneamento. 2. Esgotos. 3. Descentralização.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

II. Título.

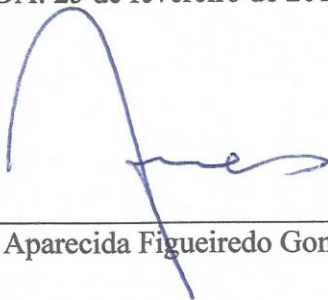
CDD 22 ed. 628.362

TAYANE CRISTIELE RODRIGUES MESQUITA

**TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM
SISTEMAS CONSTITUÍDOS POR TANQUES SÉPTICOS E FILTROS
ANAERÓBIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2019.



Uende Aparecida Figueiredo Gomes



Ana Augusta Passos Rezende



Alisson Carraro Borges
(Coorientador)



André Pereira Rosa
(Orientador)

*“Põe um motivo sobrenatural na tua
atividade profissional de cada dia e terás
santificado o trabalho.”*

São José Maria Escrivá

*Ao meuorado Deus, aos meus pais e à minha irmã, com todo
amor dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao fim de mais uma etapa em minha vida agradeço ao meu adorado Deus por Seu infinito amor e misericórdia.

Ao professor André Rosa, agradeço pela orientação, pela paciência, pelo imenso conhecimento compartilhado e pelo empenho na realização desse trabalho.

Aos professores Alisson Carraro e Maria Lúcia Calijuri, agradeço pelas sugestões, correções e pela disponibilidade para coorientação ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus pais Antonio e Lilia, que sempre acreditaram que a educação é a melhor ferramenta de transformação e dedicaram suas vidas à educação de suas filhas. Obrigada por todo amor e por me oferecerem muito mais do que a educação formal: a formação humana.

À minha irmã Sandy, agradeço por todo amor, cuidado, companheirismo e por nunca medir esforços para me ajudar em tudo.

Agradeço a toda a equipe do SAAE/Viçosa pela parceria realizada, pela disponibilidade em compartilhar dados e oferecer apoio técnico e financeiro para a elaboração desse trabalho.

Aos estagiários Túlio, Luiz, Thales, Breno e Alice, que contribuíram imensamente para a realização desse trabalho. Muito obrigada pelo compromisso e disponibilidade.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) pela disponibilidade para realização das análises necessárias ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Aos membros do Laboratório de Qualidade Ambiental (LQA) agradeço por toda a ajuda, pela convivência e pelas ricas discussões dos mais variados temas. Agradeço de maneira especial à Isabelle que, de diversas formas, me auxiliou durante todo o trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) pela infraestrutura disponibilizada e pela oportunidade de fazer parte do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de mestrado.

Às amigas da UFMG e companheiras de mestrado Adelaide, Isabelle e Fernanda, agradeço por todo o apoio e companheirismo em diversos momentos.

À Jasmine, agradeço por ter me acolhido tão bem em minha chegada a Viçosa e por ter me ajudado em tudo o que foi necessário, desde o processo seletivo para a Pós-Graduação.

À paróquia Santa Rita de Cássia, meu lugar em Viçosa, pelo apoio espiritual.

Aos membros da banca, agradeço a disponibilidade e as contribuições para o aperfeiçoamento desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	3
Objetivo geral	3
Objetivos específicos	3
1 SISTEMAS CENTRALIZADOS E DESCENTRALIZADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	4
1.1 INTRODUÇÃO	4
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	5
1.2.1 Sistemas centralizados e descentralizados de tratamento de esgotos	5
1.2.2 Avaliação dos aspectos legais na utilização de sistemas descentralizados no Brasil	5
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	6
1.3.1 Esgotamento sanitário no Brasil	6
1.3.2 Sistemas de gestão de águas residuárias	8
1.3.3 Gestão centralizada x descentralizada	12
1.3.4 Saneamento descentralizado e fatores econômicos	15
1.3.5 Saneamento descentralizado e fatores sociais	17
1.3.6 Sistemas descentralizados e aspectos legais	20
1.3.7 Alternativas tecnológicas para sistemas descentralizados	28
1.3.8 Tanques Sépticos e filtros anaeróbios como alternativas de tratamento de esgotos em sistemas descentralizados	31
1.4 CONCLUSÕES	44
1.5 REFERÊNCIAS	45
2 PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE TANQUES SÉPTICOS E FILTROS ANAERÓBIOS NO TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NO BRASIL	52
2.1 INTRODUÇÃO	52

2.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.2.1 Cenário atual do saneamento no Brasil	55
2.2.2 Avaliação da eficiência de remoção de DBO em sistemas de saneamento descentralizados utilizando TS+FAN no Brasil	56
2.2.3 Avaliação de ETEs TS+FAN descentralizadas por região.....	57
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
2.3.1 Cenário atual do saneamento no Brasil	58
2.3.2 Sistemas de saneamento descentralizados utilizando TS+FAN no Brasil	60
2.3.3 Avaliação de ETEs TS+FAN descentralizadas por região.....	71
2.4 CONCLUSÕES	99
2.5 REFERÊNCIAS.....	101
3 SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO REALIZADO EM ETEs NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG.....	105
3.1 INTRODUÇÃO	105
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	107
3.2.1 Caracterização da área de estudo	107
3.2.2 Estações de tratamento de esgotos avaliadas	108
3.2.3 Elaboração de material descritivo das ETEs	112
3.2.4 Avaliação do dimensionamento das unidades de tratamento.....	113
3.2.5 Acompanhamento operacional e monitoramento do sistema.....	115
3.2.6 Caracterização físico-química dos efluentes e das vazões ao longo do dia	117
3.2.7 Avaliação da influência da precipitação pluviométrica	118
3.2.8 Desempenho das ETEs quanto ao padrão de lançamento de efluentes.....	118
3.2.9 Readequação e proposição de medidas corretivas	120
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	121
3.3.1 Caracterização preliminar das estações de tratamento	121
3.3.2 Avaliação do dimensionamento das unidades de tratamento.....	127
3.3.3 Caracterização do esgoto bruto	133
3.3.4 Desempenho geral das ETEs e avaliação das eficiências de remoção	140
3.3.5 Desempenho das ETEs quanto ao atendimento aos padrões de lançamento de efluentes.....	165

3.3.6 Desempenho individual das unidades constituintes do processo de tratamento	175
3.3.7 Avaliação da influência da precipitação pluviométrica	186
3.3.8 Avaliação geral e recomendações	189
3.4 CONCLUSÕES	193
3.5 REFERÊNCIAS.....	194
CONCLUSÕES GERAIS.....	199
APÊNDICE A.....	200
APÊNDICE B	207

LISTA DE SIGLAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA - Agência Nacional das Águas
BJC – Conjunto habitacional Benjamim José Cardoso
CEAA - Contas Econômicas Ambientais da Água
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSF - Conjunto habitacional César Santana Filho
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda química de oxigênio
ETEs - estações de tratamento de esgotos
FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC - *International Code Council*
INMET - Instituto Brasileiro de Meteorologia
IPLAM - Instituto de Planejamento e Meio Ambiente do Município
IQA - Índice de Qualidade de Água
IQUES - Índice de Qualidade dos Serviços de Esgotamento Sanitário
LESA - Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental
PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico
PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida
PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PRFV - Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Ssed – Sólidos sedimentáveis
SDT – Sólidos dissolvidos totais
SFT – Sólidos fixos totais
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

MCidades - Ministério das Cidades

SST – Sólidos em suspensão totais

ST – Sólidos totais

SVT – Sólidos voláteis totais

TRH - Tempo de retenção hidráulica

TS+FAN - Tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios

USEPA - United States Environmental Protection Agency

ZEIS - Zona Especial de Interesse Social

RESUMO

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues Mesquita, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios.** Orientador: André Pereira Rosa. Coorientadores: Alisson Carraro Borges e Maria Lúcia Calijuri.

A parcela da população atendida por serviços de tratamento de esgotos no Brasil está situada majoritariamente em áreas urbanas, onde são utilizados sistemas centralizados de esgotamento sanitário. O fornecimento desses serviços a núcleos habitacionais situados em áreas periurbanas e rurais é dificultado, tendo em vista o elevado custo associado. Diante dessa realidade, a adoção de sistemas descentralizados tem se mostrado relevante para o tratamento de esgotos sanitários em locais distantes de estações centralizadas. No Brasil, embora não haja uma política de gestão do saneamento descentralizado, o uso de tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios (TS+FAN) é frequente. No entanto, o registro de informações e dados sobre projeto e operação dessas unidades é bastante escasso, o que impossibilita a avaliação do desempenho de tais sistemas. Nesse contexto, nesse estudo teve-se como objetivo realizar um levantamento das estações de tratamento de esgotos (ETEs) TS+FAN em operação no Brasil, por meio de dados secundários, fornecidos pela Agência Nacional das Águas (ANA) e complementados por outras fontes de consulta, e avaliar o desempenho de tais unidades quanto a parâmetros como eficiência e atendimento à legislação. Adicionalmente, buscou-se obter dados primários relativos ao desempenho de sistemas TS+FAN quanto aos principais parâmetros físico e químicos utilizados para caracterização de esgotos. Para isso, foram avaliados três sistemas simplificados e descentralizados de tratamento de esgoto sanitário no município de Viçosa (MG). A fim de proporcionar um efluente final de melhor qualidade os sistemas foram caracterizados, durante cerca de 14 meses de operação, sendo por fim apresentadas diretrizes para uma melhor operação dos sistemas. De acordo com o levantamento realizado verificou-se que cerca de 11% das ETEs existentes no país utilizam TS+FAN como unidades de tratamento. A maioria das ETEs são de pequeno porte, de modo que 68% atendem a populações de até 1.000 habitantes. Grande parte das ETEs TS+FAN em operação no país (43,2%) possui eficiência de remoção de DBO inferior a 40% e são responsáveis pelo atendimento a uma população superior a 223.000 habitantes. Apenas cerca de 30% das ETEs possuem sistemas que operam em conformidade com a legislação federal ou estadual vigente. Em relação às ETEs monitoradas no município de Viçosa, verificou-se que os esgotos afluentes a estas apresentaram concentrações superiores às

típicas relatadas na literatura para a maioria dos parâmetros avaliados. Ainda, foi constatado que os sistemas TS+FAN pertencentes às ETEs possuem volumes inferiores aos necessários, segundo os padrões da ABNT. Contudo, avaliando-se as condições de lançamento de efluentes estabelecidas pela legislação ambiental vigente, verificou-se que, em relação aos parâmetros DBO, temperatura e pH, todas as estações apresentaram desempenho satisfatório. Os principais problemas verificados nas ETEs avaliadas referem-se ao arraste de sólidos nos efluentes após passagem pelos tanques sépticos, o que está relacionado à ausência de rotinas apropriadas de descarte de lodo. A avaliação do tratamento de esgotos descentralizado utilizando TS+FAN realizada nesse estudo apresenta uma contribuição para a verificação do desempenho real de tais sistemas no Brasil e sua atuação efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente.

ABSTRACT

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Decentralized treatment of sewage in systems consisting of septic tanks and anaerobic filters.** Advisor: André Pereira Rosa. Co-advisors: Alisson Carraro Borges and Maria Lúcia Calijuri.

The portion of the population served by sewage treatment services in Brazil is mostly located in urban areas, where centralized sewage systems are preferred. The provision of these services to the peri-urban zone and rural areas is hampered due to the high associated cost. In face of this reality, the adoption of simplified and decentralized systems has shown to be relevant for the treatment of sanitary sewers in locations far from centralized stations. In Brazil, although there isn't a policy of management of decentralized sanitation, the use of septic tanks followed by anaerobic filters (ST+AF) is frequent. However, the registration of information and data on design and operation of these units is very scarce, which makes it impossible to evaluate the performance of such systems. In this context, this study aims to identify the sewage treatment plants (STPs) operating in Brazil using secondary data provided by the National Water Agency (ANA) and complemented by other sources, and also aims to evaluate the performance of such units. In addition, it was intended to obtain primary data regarding the performance of (ST+AF) for the main physico and chemical parameters used for sewage characterization. For this reason, three simplified and decentralized systems of sewage treatment in the municipality of Viçosa (MG) were evaluated. To provide a better-quality final effluent, the systems were characterized during about 14 months of operation and guidelines were finally presented for a better operation of the systems. According to the survey that was carried out, it was verified that about 11% of the STPs in the country use (ST+AF) as treatment units. Most of the STPs (ST+AF) in operation in the country (43.2%) has BOD removal efficiency less than 40% and are responsible for providing care to a population of more than 223,000 population. Only about 30% of the ETEs have systems that operate in compliance with applicable federal or state laws. With regard to STPs monitored in Viçosa city, evaluating the conditions for launching effluents established by the current environmental legislation, it was verified that, in the parameters BOD, temperature and pH, all the stations presented satisfactory performance. The main problems encountered in the evaluated STPs relate to the solids motion in the effluents after passage through the septic tanks, which is related to the absence of adequate excess sludge disposal routines. The evaluation of the decentralized sewage

treatment using (ST+AF) performed in this study contributes to the assessment of the actual performance of such systems in Brazil and its effective action in the protection of public health and the environment.

INTRODUÇÃO GERAL

O saneamento básico está intimamente ligado às condições de saúde da população, de modo que, a sua ausência resulta na disseminação de doenças e redução da qualidade de vida (ZHOU et al., 2018).

No Brasil, o déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgotos tem resultado no lançamento de parcela expressiva da carga orgânica gerada diariamente nos corpos de água, o que causa implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2017).

A precariedade nos serviços de esgotamento sanitário é mais acentuada em regiões periurbanas e rurais, cujas características muitas vezes impossibilitam a utilização dos sistemas centralizados de tratamento de esgotos comumente adotados em regiões urbanas e densamente povoadas (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015).

Libralato, Volpi Ghirardini e Avezzù (2012) citam que, para o atendimento das regiões citadas, a utilização de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes tem sido apontada como uma alternativa efetiva, capaz de aumentar os índices de tratamento de esgotos em regiões dispersas. Isso é possível tendo em vista que sistemas descentralizados, comumente, possuem baixo custo de implantação e operação, baixo requisito de energia/área, além de simplicidade operacional (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Diversas tecnologias de tratamento são utilizadas no modelo descentralizado de tratamento de esgotos. No entanto, a alternativa predominante no campo da descentralização é a aplicação de tecnologias anaeróbias de tratamento (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

No Brasil, o uso de sistemas adotados mundialmente no tratamento simplificado e descentralizado de esgotos é comum. Tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios (TS+FAN) são utilizados frequentemente em residências individuais, loteamentos, condomínios, pequenas comunidades e conjuntos habitacionais (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Apesar de sua pertinência no cenário nacional, estudos que avaliam a operação e eficiência desses sistemas são escassos, o que impossibilita a avaliação de seu desempenho e atuação na proteção da saúde pública e do ambiente.

Diante disso, nesse estudo teve-se como intuito fornecer subsídios a respeito da utilização de sistemas de tratamento de esgotos constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios, em escala plena, no Brasil.

O conteúdo desse estudo foi estruturado em três capítulos independentes.

O primeiro refere-se a uma revisão da literatura a respeito do tratamento descentralizado de esgotos sanitários e utilização de sistemas TS+FAN.

O segundo capítulo disponibiliza um panorama da utilização de sistemas TS+FAN no Brasil, realizando um levantamento do número de ETEs em operação por região do país, bem como do seu desempenho em termos de atendimento à legislação ambiental, atendimento à faixa de eficiência esperada para essa concepção de tratamento e remoção de carga orgânica. As ETEs inventariadas, bem como suas informações de desempenho e características gerais, foram espacializadas utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o que possibilitou uma melhor dinâmica para avaliação dos resultados.

O terceiro capítulo consistiu na avaliação de três ETEs descentralizadas que utilizam sistemas TS+FAN no município de Viçosa, sendo realizada a caracterização das ETEs, monitoramento dos efluentes e acompanhamento operacional durante período superior a um ano.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a utilização e o desempenho de sistemas de tratamento de esgotos constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios, em escala plena, no Brasil.

Objetivos específicos

- Realizar um levantamento das ETEs que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios e suas condições de projeto para as regiões brasileiras;
- Analisar o desempenho de ETEs descentralizadas que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios como unidades de tratamento no Brasil em termos de eficiência de remoção de DBO e aspectos legais;
- Caracterizar três sistemas descentralizados no município de Viçosa (MG) em termos de projeto e dados operacionais e avaliar o desempenho das unidades de tratamento os compõe à luz da legislação ambiental vigente;
- Avaliar a capacidade instalada das ETEs no município de Viçosa (MG) e a possibilidade de expansão do atendimento em função das proposições das normas técnicas vigentes;
- Avaliar a influência da precipitação pluviométrica nas características do esgoto afluente e efluente nas ETEs no município de Viçosa (MG);
- Propor readequações nos sistemas avaliados no município de Viçosa (MG) visando otimizar o processo de tratamento e aumentar o reconhecimento dos sistemas descentralizados no município.

1 SISTEMAS CENTRALIZADOS E DESCENTRALIZADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento acerca dos efeitos deletérios à saúde humana e ao ambiente, provocados pela destinação inapropriada dos esgotos, culminou na busca de melhorias nas condições de saneamento básico.

As ações de saneamento buscam preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental visando a manutenção da saúde humana. Desse modo, a abordagem dos conceitos de saúde, saneamento e ambiente deve ser realizada de maneira integrada, evidenciando-se a influência das alterações ambientais na qualidade de vida humana (BRASIL, 2015).

Para a manutenção das condições apropriadas de saneamento básico é fundamental a utilização de sistemas efetivos de tratamento de esgoto, que possam atuar na redução do potencial poluidor dos efluentes e, conseqüentemente, proteger a saúde pública e o ambiente dos danos causados pela poluição de origem antrópica (MARZOUK; OTHMAN, 2017).

A gestão dos sistemas de tratamento de águas residuárias é, comumente, realizada de modo centralizado ou descentralizado (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012).

No Brasil, apesar da existência de um enquadramento legal sólido para a gestão da água e do setor de saneamento, a abordagem descentralizada é pouco discutida a nível federal. A ausência de uma clara definição da responsabilidade de gestão de sistemas descentralizados em legislação tende a criar setores descobertos e prejudica a implementação bem-sucedida de tais sistemas.

Para Cooke et al. (2016) parte expressiva das falhas verificadas em sistemas descentralizados em países em desenvolvimento pode estar associada à ausência de regulamentações ou à existência destas de forma pouco clara e/ou inapropriada à realidade dos países.

Diante da lacuna verificada na abordagem descentralizada de tratamento de esgotos no Brasil, buscou-se nesse estudo avaliar os aspectos relativos à utilização de sistemas descentralizados no país e discutir questões relacionadas à gestão de tais

sistemas à luz da legislação vigente, a fim de identificar potenciais e limitações para o saneamento descentralizado brasileiro.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Sistemas centralizados e descentralizados de tratamento de esgotos

Para estruturar essa revisão, inicialmente foi elaborada uma visão geral da situação do esgotamento sanitário no Brasil sendo, em seguida, abordados os principais aspectos ambientais, sociais e econômicos relativos à utilização de sistemas centralizados e descentralizados no tratamento de esgotos sanitários. A partir do levantamento das características dos referidos sistemas, e da consulta à literatura técnica relacionada ao tema, fez-se a inferência de conjunturas as quais a adoção dos sistemas descentralizados é mais conveniente.

Adicionalmente, foram investigadas as principais alternativas tecnológicas citadas na literatura para o tratamento de esgotos em sistemas descentralizados.

1.2.2 Avaliação dos aspectos legais na utilização de sistemas descentralizados no Brasil

A fim de identificar as limitações e potenciais no aparato legal existente no Brasil, o conceito e a utilização do saneamento descentralizado foram avaliados à luz da legislação ambiental brasileira vigente.

O método utilizado para a obtenção das informações consistiu em uma análise documental das diretrizes que normatizam o saneamento brasileiro.

A avaliação foi realizada abrangendo as regulamentações federais, estaduais e municipais existentes relativas ao tema, utilizando-se as bases de consulta disponíveis em portais de pesquisa de legislação a nível federal (BRASIL, 2019), estadual (LEIS MUNICIPAIS, 2019) e nível municipal (LEIS MUNICIPAIS, 2019).

Após a seleção das legislações existentes foi realizada uma avaliação individual dos documentos buscando-se menções ao saneamento descentralizado, por meio de soluções individuais ou em clusters. Nesse ponto também foi verificada a existência de menções à atribuição da responsabilidade pela implantação e gestão dos sistemas descentralizados em locais não atendidos pelas redes públicas de coleta.

Como critério de inclusão das legislações a serem avaliadas, foram utilizados somente documentos que estivessem em vigor no ano de 2019.

A consulta das legislações vigentes foi realizada respeitando-se a hierarquia legal, com a avaliação das diretrizes constitucionais e, em seguida, das infraconstitucionais (leis, decretos, atos normativos, portarias e resoluções).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Esgotamento sanitário no Brasil

A Lei Federal nº 11.445/2007 que estabelece diretrizes para o saneamento básico no Brasil, define o referido termo como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

A promulgação da Lei de Saneamento Básico representou um avanço ao estabelecer princípios e diretrizes a serem adotados visando a universalização do saneamento no Brasil. Apesar dos avanços verificados, decorridos doze anos da implementação de tal Lei, os déficits no setor de saneamento básico são ainda expressivos, sobretudo, em relação aos índices esgotamento sanitário.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), o atendimento da população residente nas sedes municipais urbanas do Brasil pode ser caracterizado da seguinte maneira: 43% da população é atendida por sistema coletivo de tratamento, dotado de rede coletora e estação de tratamento de esgotos; 12% é atendida por solução individual (fossa séptica); 18% da população é atendida por sistemas de coleta, porém, os esgotos coletados não são submetidos a tratamento; e 27% é desprovida de atendimento, ou seja, não há coleta nem tratamento de esgotos (ANA, 2017).

Tendo em vista que o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) considera como atendimento apropriado de esgotamento sanitário a utilização de soluções individuais, com fossa séptica, ou a coleta e tratamento de esgotos de forma coletiva (BRASIL, 2013), apenas 55% da população urbana brasileira possui atendimento apropriado.

Desconsiderando-se os índices de atendimento por solução individual, cerca de 67% dos municípios brasileiros possuem índice de atendimento com coleta e tratamento

de esgotos igual a 0%. Municípios de pequeno porte, cuja sede municipal urbana possui população inferior a 5.000 habitantes, representam 51% dos municípios sem atendimento com sistemas coletivos de tratamento de esgoto (ANA, 2017).

De acordo com Leoneti, Prado e Oliveira (2011) a grande desigualdade e déficit no acesso aos serviços de saneamento básico, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgotos, no Brasil está relacionada ao histórico dos investimentos realizados no setor. Desde a década de 1950 até o final do século passado os investimentos em saneamento básico no país ocorreram de maneira pontual em períodos específicos, destacando-se as décadas de 1970 e 1980.

Nas últimas décadas, maior atenção governamental tem sido dada ao setor. Avaliando-se os dados Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período de 1992 a 2015 verifica-se que, no ano de 2015, o percentual de domicílios atendidos com rede coletora de esgotos apresentou um incremento de 19,4 pontos percentuais em relação às duas décadas anteriores (Figura 1.1).

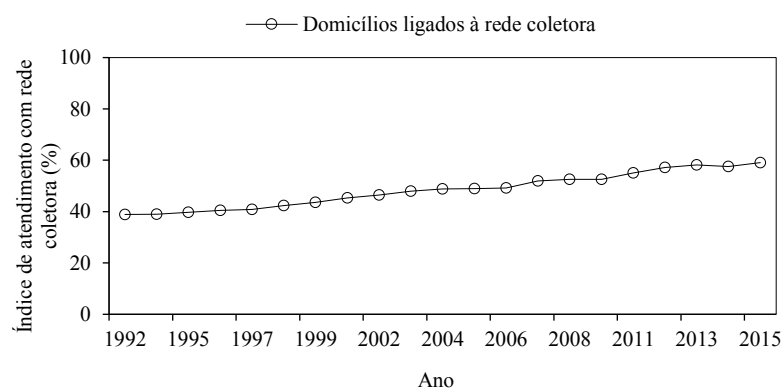


Figura 1.1 – Evolução histórica do acesso a rede coletora de esgotos nos domicílios brasileiros.

Fonte: PNAD (1992 a 2015).

O déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem resultado no lançamento de parcela expressiva da carga orgânica gerada diariamente nos corpos hídricos, o que causa implicações negativas aos usos múltiplos das águas. Adicionalmente, o saneamento está intimamente ligado às condições de saúde da população, desse modo, a sua ausência resulta na disseminação de doenças e redução da qualidade de vida da população (ZHOU et al., 2018).

Segundo os mesmos autores, para alcançar a universalização do saneamento não há uma abordagem única a ser utilizada. A seleção de tecnologias de tratamento sem a ponderação dos fatores ambientais, econômicos e sociais associados a cada contexto geográfico pode resultar na ocorrência de impactos negativos, contrariando o desempenho sustentável da tecnologia (MENA-ULECIA; HERNÁNDEZ, 2015). Por esta razão, para a implantação de soluções de tratamento de esgotos, esforços devem ser empreendidos com base no apoio dos órgãos responsáveis, na aceitação social, bem como na confiabilidade tecnológica das alternativas de tratamento avaliadas (ZHOU et al., 2018). Adicionalmente, os sistemas de tratamento a serem adotados devem ser capazes de fornecer efluentes com qualidade compatível com as exigidas pela legislação ambiental vigente para lançamento em corpos hídricos.

1.3.2 Sistemas de gestão de águas residuárias

1.3.2.1 Sistemas centralizados

Das técnicas de gestão de águas residuárias existentes, os modelos de gestão centralizada e descentralizada são citados na literatura como aqueles que apresentam maior relevância (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012).

Os sistemas centralizados têm sido empregados no tratamento de águas residuárias oriundas de regiões urbanizadas e com elevada densidade populacional (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012). Tais sistemas, comumente, são de propriedade pública e realizam a coleta de grandes volumes de águas residuárias que são tratadas e descartadas distantes da fonte de geração (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012). Ainda, segundo Libralato, Volpi Ghirardini e Avezzù (2012) sistemas centralizados são fortemente dependentes de energia elétrica.

De acordo com Zaharia (2017), a coleta dos esgotos nesses sistemas é realizada por meio de extensas tubulações que recebem contribuições de sub-bacias de esgotamento sanitário e convergem a pontos de reunião de cotas baixas. Nesses pontos, por meio da utilização de estações elevatórias, os efluentes são encaminhados para a estação de tratamento em local afastado do centro urbano.

Em função das distâncias serem elevadas entre os pontos de geração e de tratamento das águas residuárias em modelos de gestão centralizada, a maior parte dos custos financeiros advindos dessa concepção está associada à implantação de redes

coletoras de esgotos. Segundo Zaharia (2017) os sistemas de coleta representam mais de 60% do orçamento total requerido para a implantação de sistemas de tratamento de esgotos centralizados. Além disso, prevê-se que os dispositivos de coleta em tais sistemas devam ser renovados a cada 50 ou 60 anos, além dos custos advindos da manutenção periódica requerida (MAURER; ROTHENBERGER; LARSEN, 2016).

Os sistemas centralizados são aplicados em grande parte dos países desenvolvidos e em desenvolvimento por serem considerados uma alternativa consolidada para o tratamento efetivo de esgotos sanitários. No entanto, a implantação, operação e manutenção desses sistemas possuem custos elevados, o que torna a sua utilização inapropriada em áreas com baixa densidade populacional e domicílios dispersos (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009). O menor número de beneficiários em tais áreas resulta em perdas das economias de escala e de densidade, acarretando maiores custos com a provisão dos serviços de esgotamento sanitário (EGGIMANN; TRUFFER; MAURER, 2016; WANG, 2014).

Adicionalmente, os custos de implantação de uma malha de coleta e transporte dos esgotos de regiões periurbanas até as estações de tratamento centralizadas, por vezes, tornam essa alternativa inviável em tais regiões (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Tal fato acarreta um elevado número de pessoas sem acesso aos serviços de esgotamento sanitário, tendo em vista que, nos países em desenvolvimento, a economia é o critério mais importante na tomada de decisões (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Alternativamente, a abordagem descentralizada para o tratamento de águas residuárias é citada como uma solução para a problemática do esgotamento sanitário em comunidades rurais e periurbanas, as quais não são servidas pelo sistema de esgotamento sanitário centralizado (MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010). Estudos recentes indicam que a implantação de unidades de tratamento descentralizadas em pequenas comunidades, comparativamente às alternativas centralizadas, resulta em menores custos de implantação e operação (EGGIMANN; TRUFFER; MAURER, 2016, JUNG; NARAYANAN; CHENG, 2018).

Desse modo, a utilização de sistemas descentralizados nas áreas citadas pode reduzir o grande investimento de capital associado à implantação dos sistemas de esgoto centralizados, o que aumenta a acessibilidade dos sistemas de gerenciamento de águas residuárias em países em desenvolvimento (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

1.3.2.2 Sistemas descentralizados

Os sistemas de gerenciamento descentralizado são definidos como aqueles cuja coleta, tratamento e disposição/reutilização de águas residuárias são realizadas próximas da fonte geração (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012).

A abordagem descentralizada comumente compreende sistemas locais ou em cluster (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012; MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; USEPA, 2005) (Figura 2).

Os sistemas locais caracterizam-se por realizar o tratamento de águas residuárias geradas em residências individuais. Tais sistemas podem ser aplicados com ou sem separação de efluentes. Quando a separação de efluentes é adotada, as águas negras são direcionadas para o tratamento anaeróbio enquanto as águas cinzentas podem ser submetidas a tratamento e posterior reutilização. Essa prática, difundida no continente europeu, é adotada em virtude da possibilidade de recuperação dos recursos potenciais advindos dos esgotos domésticos. No Brasil, usualmente os efluentes são tratados sem separação prévia em sistemas locais de tratamento de esgotos (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).



Figura 1.2 - Representação de sistemas descentralizados locais e em *clusters*.

Fonte: Adaptada de Asano et al. (2007)

Os sistemas de tratamento comunitários ou em clusters, por sua vez, realizam o tratamento de efluentes residenciais e comerciais (excluídos os efluentes industriais) de um grupo de edificações em área próxima do ponto de geração (USEPA, 2005).

Não há na literatura uma definição clara do número máximo de habitantes que uma estação de tratamento de esgotos (ETE) descentralizada em cluster pode atender. No entanto, Massoud, Tarhini e Nasr (2009) citam que tais sistemas servem mais do que um agregado familiar, podendo atender até números superiores a 100 residências. Raymond

et al. (2018) e Ho e Anda (2004) por sua vez, determinam que esses sistemas de tratamento de águas residuárias de pequena escala atendem a populações de até 5.000 habitantes.

No Brasil, o enquadramento das ETEs descentralizadas tem sido, comumente, realizado em conformidade com a legislação vigente que dispõe sobre a classificação dos sistemas em função de seus portes (CONAMA, 2006). Segundo a referida legislação, são consideradas de pequeno porte ETEs projetadas para atender vazões de até 50 L s⁻¹ ou com capacidade para atendimento de população igual ou inferior a 30.000 habitantes.

No entanto, segundo Orth (2007) não há uma relação direta entre ETEs descentralizadas e ETEs de pequeno porte, tendo em vista que as primeiras nem sempre são classificadas como pequenas. Segundo o autor, a classificação de uma ETE como descentralizada está relacionada a uma questão geral de escala, ou seja, da comparação da população atendida pelo sistema descentralizado com a população total residente no município ou atendida por outros sistemas de tratamento.

Avaliando-se os critérios para instalação de ETEs centralizadas verifica-se que, em pequenas comunidades, dentre os componentes básicos de sistemas de esgotamento sanitário (coleta, tratamento e disposição), a coleta é responsável pela maior parte do orçamento total. Em função disso, os sistemas descentralizados em clusters buscam manter a rede de coleta a menor possível e priorizar as etapas de tratamento e disposição dos efluentes (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Nhapi (2004) cita inúmeras vantagens da utilização de sistemas descentralizados, tais como: utilização de tecnologias de tratamento que requerem menores investimentos em manutenção; redução dos custos advindos da implantação de extensas redes coletoras; possibilidade de expansão do sistema caso seja verificada a necessidade; facilidade de planejamento e execução dos projetos; possibilidade de utilização de diferentes estratégias de gestão financeiramente e ambientalmente efetivos; e possibilidade de reutilização dos efluentes próximo à fonte de geração.

Em função de tais vantagens diversos países como Índia, Malásia e Indonésia têm promovido a implantação de sistemas descentralizados de pequena escala como alternativa potencial para acelerar a cobertura do saneamento em todo o território (LARSEN et al., 2016).

Vale ressaltar que, apesar das vantagens citadas, Massoud, Tarhini e Nasr (2009) afirmam que, para que os sistemas descentralizados sejam efetivos na diminuição do potencial poluidor dos esgotos sanitários, é necessário que seja implementado um

programa de gestão rigoroso, que garanta a inspeção regular e a manutenção apropriada dos sistemas.

Jordão e Pessoa (2017) destacam que devido à lentidão na implantação de serviços públicos de tratamento de esgotos, em relação ao crescimento populacional, é possível prever que soluções descentralizadas de tratamento continuarão a ser ampla e permanentemente adotadas, sobretudo em países em desenvolvimento.

No Brasil, embora não haja uma política de gestão do saneamento descentralizada, o uso de sistemas adotados mundialmente no tratamento simplificado e descentralizado de esgotos é comum. Tanques sépticos seguidos de unidades de tratamento complementar ou simples disposição no solo por meio de sumidouros e valas de infiltração são utilizados frequentemente em residências individuais, loteamentos e condomínios residenciais (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Diversas opções de tratamento complementar para o efluente do tanque séptico são indicadas na NBR 13969 (ABNT, 1997), sendo o filtro anaeróbio de leito fixo com escoamento ascendente a principal alternativa utilizada no país.

1.3.3 Gestão centralizada x descentralizada

O processo de avaliação e seleção de um sistema de tratamento de esgoto mais apropriado para uma localidade envolve diversos fatores, tais como: a concepção do sistema de tratamento, nível de tratamento exigido, características da população atendida, custos relativos à construção, operação e manutenção dos sistemas, bem como dos custos advindos da reparação e substituição do sistema (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Além disso, é de fundamental importância a avaliação do sistema de gestão de águas residuárias mais apropriado para cada contexto. Os sistemas existentes para o tratamento de esgotos sanitários, basicamente, incluem duas abordagens: centralizadas e descentralizadas (MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010).

De acordo com Libralato, Volpi Ghirardini e Avezzi (2012), o debate internacional evidenciou a existência de diversas restrições de natureza ambiental, social e econômica na dicotomia centralização/descentralização. Desse modo, segundo os autores, não é concebível aceitar ou recusar uma delas por pressuposição, isto é, sem a devida avaliação técnica prévia caso a caso.

Ao longo dos anos de avaliação da aplicação dos sistemas centralizados e descentralizados, verifica-se uma consonância entre diversos autores relativa às principais

origens dos custos de implantação em ambos sistemas. Em sistemas centralizados, os maiores custos são absorvidos pelo sistema de coleta e, inversamente, em sistemas descentralizados, a maior parte do investimento necessário é direcionado para o estabelecimento da tecnologia de tratamento (BAKIR, 2001; HONG et al., 2005; LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012).

A avaliação dos estudos que envolvem a análise de sistemas centralizados e descentralizados em diferentes contextos possibilita a identificação das principais vantagens e desvantagens desses sistemas. Um resumo das principais vantagens, críticas e limitações, considerando questões sociais, econômicas e ambientais é apresentado na Tabela 1.1.

Diante das vantagens e desvantagens descritas dos sistemas centralizados e descentralizados e a partir dos critérios definidos por Asano et al. (2007) pode-se inferir algumas situações as quais a adoção de sistemas descentralizados é mais indicada:

Quando a população está localizada em regiões rurais, periurbanas ou de baixa densidade demográfica;

Quando a comunidade, condomínio ou conjunto habitacional está localizada distante de um sistema de coleta e tratamento de esgotos já existente;

Quando existem oportunidades e demandas locais de reúso de água;

Quando os sistemas centralizados existentes não possuem capacidade de atender toda a população e os recursos para expansão são limitados.

Desse modo, percebe-se que a abordagem descentralizada não está em contraste com a centralizada (BROWN; JACKSON; KHALIFE, 2010). A descentralização é aqui apresentada como uma alternativa para integrar os sistemas convencionais existentes e aumentar o atendimento e desempenho geral no tratamento de esgotos.

Orth (2007) cita que ambas configurações de sistemas são aplicáveis em diferentes situações, cabendo aos gestores do setor a decisão do sistema que melhor se aplica aos diferentes contextos.

A proposta consiste em adotar a coexistência de diversos níveis de centralização e descentralização em ETEs, explorando as potencialidades que cada sistema oferece. A abordagem descentralizada, por exemplo, mostra-se muito aplicável no caso de grandes blocos, tais como hospitais, centros comerciais e aeroportos. Por outro lado, em áreas urbanas densamente povoadas e historicamente servidas por sistemas centralizados de tratamento, a descentralização não representa uma alternativa econômica viável (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012).

Tabela 1.1 - Principais vantagens e desvantagens associadas à utilização de sistemas de tratamento de esgotos centralizados e descentralizados.

Sistema centralizado	
Vantagens	Desvantagens
Economias de escala em áreas densamente povoadas	Baixo atendimento às populações periurbanas e rurais
Elevada aceitação social	Alto custo de implantação
Regulamentação consolidada	Operação e manutenção normalmente complexas
Múltiplos níveis de qualidade de água possíveis	Pode ocorrer eutrofização no corpo receptor devido aos grandes volumes de efluentes descartados
Normalmente possui unidades para processamento da fase sólida	Forte dependência do fornecimento de energia elétrica
Variações de vazão e carga de poluentes no esgoto são frequentemente absorvidas pelas extensas redes coletoras	Deseconomias de escala são possíveis quando longas distâncias têm que ser cobertas
Tratamento em níveis seguros para a saúde pública e qualidade do corpo receptor	Necessidade de renovação do sistema de coleta a cada 50-60 anos
Sistema descentralizado	
Vantagens	Desvantagens
Atende áreas periurbanas, rurais e de baixa densidade populacional	Manutenção inapropriada deixa o sistema altamente exposto a falhas
Redução de custos com transporte de esgoto	Eficácia do sistema depende de programa de gestão intenso
Requisitos simples de operação e manutenção	Ausência de regulamentação consolidada
Potencial reúso de águas residuárias tratadas	Instalação e gerenciamento de diversos sistemas pode ser uma tarefa difícil
Utilização de sistemas com baixa demanda energética	Usualmente não possui unidade de processamento da fase sólida
Possibilidade de construção gradativa do sistema (evita capacidade ociosa)	Ampla variação de vazão e carga poluente no esgoto
Promove o retorno das águas residuárias tratadas dentro da bacia de origem	-
Tratamento em níveis seguros para a saúde pública e qualidade do corpo receptor	-
Distribui o risco de falha a múltiplos subsistemas	-

Fonte: (BAKIR, 2001; GIKAS; TCHOBANOGLOUS, 2009; LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012; MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; MAURER, 2009; NHAPI, 2004; TCHOBANOGLOUS et al., 2004).

A descentralização também tem se mostrado favorável em regiões urbanas que apresentam demanda para o reúso não potável dos efluentes tratados. Isso ocorre tendo em vista que, em ETEs centralizadas o grande volume de águas residuárias tratadas gera um excedente de efluente em locais onde não há, necessariamente, demanda para reúso (OPHER; FRIEDLER, 2016).

Gikas e Tchobanoglous (2009) destacam, ainda, que a urbanização de áreas próximas às ETEs centralizadas, construídas no passado, faz com que, atualmente, uma série de alternativas sejam avaliadas para futura expansão do atendimento, incluindo o uso de ETEs descentralizadas. Isso ocorre pois, historicamente, as ETEs foram projetadas para atender áreas centrais urbanas, realizando o tratamento em locais distantes do ponto de geração. No entanto, o crescimento populacional, e consequente ocupação de áreas remotas, tornaram a área para expansão das ETEs limitada ou inexistente.

Desse modo, verifica-se que a definição do sistema ideal a ser implementado em uma área está vinculada a uma profunda análise das características regionais, da avaliação das instalações já existentes e de demandas específicas da população atendida, tal como o interesse pela reúso não potável dos efluentes tratados.

Partindo do pressuposto que a densidade populacional de uma área é um dos fatores mais importantes na definição do sistema a ser utilizado, a instituição de requisitos legislativos baseados em tal parâmetro pode auxiliar o processo de tomada de decisão e torná-lo menos subjetivo. Adicionalmente, no processo de tomada de decisão, ressalta-se a importância da avaliação do zoneamento, instituído no plano diretor do município, e das características topográficas da região, bem como da localização de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

1.3.4 Saneamento descentralizado e fatores econômicos

De acordo com Orth (2007), a rejeição dogmática de sistemas centralizados de tratamento de esgotos ou a classificação de sistemas descentralizados como sistemas de qualidade inferior não são justificadas em termos ecológicos, tampouco em termos de custo-efetividade.

Segundo o mesmo autor, nos últimos anos, a alegação de que sistemas centralizados de tratamento de esgotos são sempre mais caros apresentou relativa frequência. No entanto, tal afirmação é equivocada, tendo em vista que para definir qual sistema apresenta menor custo é necessário que os fatores de avaliação sejam

comparáveis, ou seja, características como eficiência e nível do tratamento realizado devem ser levadas em consideração para uma análise factual.

Orth (2007) ressalta, no entanto, que em áreas periurbanas e com baixa densidade demográfica a definição dos sistemas descentralizados como mais baratos é incontestável.

A fim de avaliar os sistemas mais apropriados para diversos contextos, em termos econômicos, alguns autores têm desenvolvido estudos comparativos entre os custos advindos de sistemas centralizados e descentralizados.

Eggimann, Truffer e Maurer (2016) desenvolveram uma ferramenta de planejamento capaz de determinar o grau ótimo de centralização na gestão de águas residuárias. Os autores verificaram que a dispersão das residências é o principal fator responsável pela redução da viabilidade de implantação de sistemas centralizados. Quando aplicado a uma comunidade suíça de 1.500 habitantes, o modelo desenvolvido pelos autores indicou que a aplicação de sistemas descentralizados resultaria em uma economia de cerca de 40% do investimento total demandado para a implantação de um sistema centralizado.

Jung, Narayanan e Cheng (2018) avaliaram um modelo de custos desenvolvido para simular uma ampla variedade de configurações de modelos descentralizados e centralizados no gerenciamento de águas residuárias. Por meio do estudo realizado, os autores concluíram que, quando configurada estrategicamente, a descentralização reduz o custo do gerenciamento de águas residuárias, em cerca de 40 a 45%. Isso é possível através da eliminação de sistemas de bombeamento, do uso de tubulação de pequeno diâmetro e profundidade de escavação superficial.

Assim como relatado em trabalhos anteriores (MAURER, 2009; TCHOBANOGLIOUS et al., 2004), Jung, Narayanan e Cheng (2018) verificaram que os sistemas descentralizados avaliados demandaram maior custo de capital na construção das ETEs, devido à perda nas economias de escala, porém menor custo de capital no transporte do esgoto e na operação e manutenção. Adicionalmente, os autores verificaram que o custo de sistemas descentralizados foi menor quando o tamanho dos *clusters* aumentou. O uso de poucos subsistemas de tamanho médio (374 m³ dia⁻¹) foi consistentemente mais barato que sistemas descentralizados individuais e sistemas centralizados atendendo a mesma população.

Além do custo mais baixo, o uso de sistemas em *clusters* atendendo a populações de tamanho médio pode oferecer vantagens adicionais para o gerenciamento do sistema, uma vez que, a operação de muitos subsistemas pequenos pode representar maior desafios

em termos de gerenciamento, manutenção e operação (JUNG; NARAYANAN; CHENG, 2018).

Os resultados obtidos nos estudos citados podem ser atribuídos à diminuição dos custos advindos da implantação de extensas redes coletoras em regiões de baixa densidade, além da utilização de tecnologias simplificadas para o tratamento de esgotos, que possuem manutenção simples e baixos custos operacionais. Desse modo, verifica-se que, na centralização, a aplicação de elevado capital em ligações prediais, redes, interceptores, emissários e estações de bombeamento onera o investimento em áreas periurbanas e rurais.

Segundo Massoud, Tarhini e Nasr (2009) esses fatores fazem com que os sistemas descentralizados ganhem atenção, sendo considerados uma solução de longo prazo, confiável e econômica para pequenas comunidades.

1.3.5 Saneamento descentralizado e fatores sociais

A promoção da universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento básico é um dos princípios fundamentais definidos na Lei Federal 11.445/2007. Para efeito de tal Lei, a universalização é definida como a “ampliação progressiva do acesso ao saneamento básico para os domicílios ocupados no país”. Desse modo, a universalização remete à possibilidade de atendimento de todos os brasileiros com serviços de esgotamento sanitário, sem quaisquer barreiras de acessibilidade, sejam elas legais, econômicas, físicas ou culturais.

No entanto, conforme evidenciado pelos dados fornecidos pela ANA (2017), os índices de coleta e tratamento de esgotos no Brasil apresentam expressivos déficits.

A população não atendida pelos serviços públicos de esgotamento sanitário está localizada, sobretudo, em regiões de baixa densidade demográfica, áreas periurbanas e rurais, comunidades tradicionais, condomínios residências isolados, municípios de pequeno porte e em áreas onde, em função das condições topográficas existentes, a ligação aos sistemas de tratamento centralizados é inviável (HIGUERREY; TRUJILLO, 2017; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013; PAZ; ALMEIDA; GÜNTHER, 2012). Adicionalmente, Santos et al. (2019) citam que déficits expressivos na provisão de serviços de esgotamento sanitário são verificados em zonas vulneráveis que abrigam populações de baixa renda nas grandes cidades brasileiras.

A inviabilidade econômica do atendimento centralizado nas áreas citadas compromete a universalização dos serviços de saneamento e conduz à reflexão a respeito do paradigma técnico dos projetos de saneamento básico no Brasil, que se baseiam, predominantemente, na adoção de sistemas centralizados.

Promover a inclusão de áreas não atendidas com serviços de saneamento ambiental de boa qualidade, compatíveis com aqueles realizados em áreas centrais, é uma das diretrizes estabelecidas pela política federal de saneamento básico. Tal política determina que a União deverá priorizar ações que promovam a equidade social e territorial no acesso ao saneamento básico (BRASIL, 2007).

Desse modo, verifica-se que os entraves para a inclusão social em saneamento urbano e rural não estão relacionados à ausência de regulamentação que defina a inclusão como ação prioritária, mas, sobretudo, a questões econômicas. Diante desse contexto, é imperativo considerar abordagens diferentes, avaliando-se modelos de gestão capazes de pulverizar o tratamento de esgotos ao longo do território brasileiro a custo reduzido (GIKAS; TCHOBANOGLIOUS, 2009; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

Uma das alternativas citadas para promover a universalização do atendimento, tem como princípio a incorporação de sistemas descentralizados aos sistemas centralizados (CRUZ et al., 2019; LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012; MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

As soluções individuais de afastamento e destinação final dos esgotos sanitários estão incluídas na Lei Federal 11.445/2007 como uma das alternativas para o saneamento em locais que não dispõem de sistemas públicos. De acordo com o PLANSAB, o atendimento dessas populações com tanques sépticos sucedidos por pós-tratamento ou unidade de disposição final é considerado apropriado (BRASIL, 2013).

No entanto, o modelo de saneamento descentralizado em *clusters* ainda é pouco discutido no Brasil.

Segundo Libralato, Volpi Ghirardini e Avezzi (2012), a abordagem descentralizada está relacionada à utilização de mais de uma estação de tratamento de esgotos, as quais servem populações de uma área específica, utilizando uma variedade de tecnologias de tratamento. Baseado em tal definição, verifica-se que apesar dos sistemas descentralizados em *clusters* serem pouco citados, existem numerosos sistemas com as características descritas pelos autores mencionados em operação no Brasil, sobretudo, em regiões onde o acesso aos serviços públicos coletivos de tratamento de esgotos é limitado.

Sistemas descentralizados são, comumente, utilizados em condomínios no Brasil, sendo possível encontrá-los em condomínios verticais e horizontais, sejam eles de alto padrão ou populares. A ampla utilização de tais sistemas nesses locais parece estar relacionada às imposições estaduais e/ou municipais e dos prestadores de serviços de esgotamento sanitário. Tais imposições, por vezes, definem que nenhum loteamento poderá ser aprovado pelo município na ausência de projetos de coleta e tratamento de esgotos, quando verificada a impossibilidade de ligação à rede pública de coleta.

Adicionalmente, a frequência de utilização de sistemas de tratamento descentralizados em conjuntos habitacionais populares ocorre em função das determinações da Lei nº 11.977/2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida, e da Resolução CONAMA 412/2009, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à construção de habitações de interesse social.

As referidas regulamentações determinam que os locais de instalação de habitações de interesse social devam possuir infraestrutura básica que inclua solução de esgotamento sanitário. Tendo em vista que é permitida a construção de tais habitações em áreas de expansão urbana (que, por vezes, carecem de infraestrutura instalada de esgotamento sanitário), a implantação de ETEs faz-se necessária para a aprovação dos projetos junto aos órgãos competentes.

A ampla utilização de ETEs descentralizadas nos locais citados contribui para a diminuição da parcela da população sem acesso aos serviços apropriados de saneamento básico. No entanto, vale ressaltar que, além da implantação de ETEs, é fundamental a adoção de programas de monitoramento e gestão efetivos (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009). Isso se faz necessário tendo em vista que a falta de suporte às comunidades, após a construção dos sistemas de tratamento, pode resultar em problemas operacionais, que levam à baixa qualidade do efluente final.

Adicionalmente, é desejável que a concepção dos sistemas de tratamento seja realizada de forma participativa com a população atendida, utilizando estratégias que busquem desenvolver o compromisso dos usuários com a integridade dos sistemas (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Massoud, Tarhini e Nasr (2009) consideram a aceitação social, aliada à viabilidade econômica e à sustentabilidade ambiental, um dos principais fatores a serem avaliados durante a seleção de uma alternativa tecnológica de tratamento de esgotos em uma comunidade. No entanto, segundo Libralato, Volpi Ghirardini e Avezzù (2012), os

aspectos sociais em ETEs descentralizadas, frequentemente, são subestimados em comparação com os fatores econômicos e ambientais.

Em ETEs descentralizadas, a participação da população é mais efetiva sobre a prestação destes serviços essenciais, tendo em vista a proximidade das residências com as unidades de tratamento (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012). Essa proximidade faz com problemas operacionais e inconvenientes, tais como entupimentos e incidência de odores sejam rapidamente observados pela comunidade e reportados aos prestadores de serviço (LARSEN et al., 2009).

Desse modo, conforme citado por Suriyachan, Nitivattananon e Amin (2012), para o sucesso de sistemas descentralizados é necessário que programas efetivos de gestão de efluentes e de educação ambiental sejam implementados, tendo em vista a necessidade de fomentar nos usuários o compromisso com a integridade dos sistemas.

1.3.6 Sistemas descentralizados e aspectos legais

1.3.6.1 Visão geral

A Constituição Federal brasileira, instituída no ano de 1988, estabelece que a saúde e o meio ambiente equilibrado são direitos fundamentais de todo cidadão.

Segundo Freeman et al. (2017) o saneamento deficiente resulta na incidência de diversas doenças e, desse modo, apresenta relação direta com as questões de saúde pública. Diante disso, verifica-se que na ausência de condições sanitárias apropriadas, o direito à saúde e ao meio ambiente equilibrado, previstos constitucionalmente, não pode ser efetivado.

O texto constitucional determina que é competência da União instituir diretrizes para o saneamento básico no país. A promoção de programas de melhoria nas condições de saneamento básico, por sua vez, é definida como de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

Tais linhas gerais, instituídas na Constituição Federal, delinearam o desenvolvimento das diretrizes infraconstitucionais para o saneamento existentes atualmente no Brasil. Destas, a Política Federal de Saneamento Básico, com diretrizes instituídas pela Lei Federal 11.445/2007, é considerada a mais importante na conjuntura nacional do saneamento básico.

A referida Lei, dentre suas atribuições, estabelece os princípios legais para a provisão do saneamento básico no Brasil e determina a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab).

Por meio do Decreto Federal 7.217/2010, a regulamentação da Política Federal de Saneamento Básico foi efetivada. Adicionalmente, o referido Decreto apresentou complementações às disposições da Lei 11.445/2007 ao definir como obrigatória a utilização dos serviços de saneamento disponibilizados pelos poderes públicos e ao sujeitar a execução dos planos e projetos de saneamento ao licenciamento ambiental.

Segundo dados do Plansab, aprovado pelo governo federal em 2013, a maior parcela do déficit de saneamento básico no Brasil é verificada em áreas rurais e nas periferias urbanas. Em função disso, o plano manifesta a necessidade de elaboração de um programa de saneamento rural que contemple essa população que não dispõe dos serviços de esgotamento sanitário. Atualmente, encontra-se em construção o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), sob coordenação do Ministério da Saúde, por meio da Fundação Nacional da Saúde (Funasa).

Contudo, o atendimento às regiões dispersas, situadas em áreas urbanas, e às populações periurbanas com os serviços de esgotamento sanitário ainda é pouco discutido em legislação na esfera federal. Nos níveis estaduais e municipais, ainda que de modo incipiente, são verificadas legislações que dispõem de diretrizes a respeito da utilização de sistemas de tratamento de esgotos para áreas não atendidas pelos serviços públicos disponíveis, cujos detalhes serão abordados nos tópicos seguintes.

1.3.6.2 Sistemas locais

A Lei Federal nº 11.445/2007 apresenta como um dos seus objetivos: “proporcionar condições apropriadas de salubridade ambiental às populações rurais e às pequenas comunidades”. Ainda, a referida Lei determina que, na ausência de redes públicas de saneamento básico, soluções individuais de afastamento e tratamento de esgotos são admitidas.

Conforme anteriormente descrito, os sistemas descentralizados têm sido apontados como a alternativa mais indicada para o atendimento de áreas rurais, periurbanas e pequenas comunidades. Desse modo, a utilização de tais sistemas pode contribuir para a universalização do saneamento no país.

No entanto, mais do que a ampliação do atendimento, é necessário que os sistemas utilizados sejam efetivos na redução da carga poluidora dos esgotos e não apresentem riscos para a saúde pública e para a qualidade dos corpos hídricos.

No Brasil, os sistemas descentralizados locais (ou individuais) comumente utilizam tanques sépticos como opção de tratamento de efluentes, com disposição final nos solos, sumidouros ou corpos hídricos. Tais sistemas, em função de uma inapropriada rotina de descarte de sólidos, por vezes, não apresentam efluentes com a qualidade necessária para proteção dos cursos de água e da saúde pública.

A falta de manutenção em tais unidades pode estar associada à ausência de uma regulamentação específica, que defina com clareza as responsabilidades sobre a manutenção dos sistemas e a disposição final dos resíduos (ANA, 2017).

A Lei Federal 11.445/2007 determina que “não constitui serviço público a ação de saneamento executada por meio de soluções individuais, desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços (...)”. O Decreto nº 7.217/2010, por sua vez, complementa que serão considerados serviços públicos “a fossa séptica e outras soluções individuais de esgotamento sanitário, quando se atribua ao Poder Público a responsabilidade por sua operação, controle ou disciplina, nos termos de norma específica.”

Desse modo, a falta de clareza quanto à dependência citada e ausência de normas específicas faz com que o gerador, por vezes, não assuma a responsabilidade pelo manejo de resíduos dos sistemas, o que resulta em diversas falhas operacionais.

A ANA (2017) ressalta que os tanques sépticos podem ser considerados soluções de tratamento de esgotos apropriadas, desde que sejam executados e operados de maneira apropriada. Estima-se que cerca de 18% dos domicílios brasileiros utilizam tanques sépticos como solução individual de tratamento e, em muitos casos, tais sistemas continuarão como única solução viável (IBGE, 2015).

Por esse motivo, torna-se fundamental o estabelecimento de diretrizes para a utilização de tanques sépticos como uma alternativa de política pública para universalização do esgotamento sanitário (ANA, 2017).

Além dos entraves relacionados à responsabilidade da manutenção dos tanques sépticos, o destino final do lodo proveniente de tais unidades constitui um problema que ainda não foi apropriadamente equacionado. Segundo Andreoli (2009), o lodo é considerado um passivo, desse modo, há uma grande resistência do poder público, das empresas privadas e da população atendida em assumir a responsabilidade de sua gestão.

De acordo com o Decreto nº 7.217/2010, considera-se serviço público de esgotamento sanitário “a disposição final dos esgotos sanitários e dos lodos originários da operação de unidades de tratamento coletivas ou individuais, inclusive fossas sépticas”. No entanto, verifica-se que a gestão do lodo gerado em sistemas individuais no país divide-se entre o poder público, por meio das prefeituras municipais, e empresas privadas que dispõem desse serviço. Algumas dessas empresas não são regulamentadas e, muitas vezes, não fornecem uma apropriada destinação ao material recolhido (ANDRADE; VON SPERLING; MANJATE, 2017).

Nesse ponto, é importante ressaltar a necessidade de contratação de empresas que realizem a disposição final do material coletado em locais apropriados, conforme definido pelos órgãos ambientais. No estado de Minas Gerais, de acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2011), foi verificado que alguns municípios realizam a contratação de empresas para a limpeza de tanques sépticos sem uma verificação prévia se estas possuem regularização ambiental e se a disposição dos resíduos é realizada em local apropriado. Diante disso, a FEAM sugere que sejam desenvolvidos mecanismos de cadastro e controle da atividade de tais empresas, a fim de possibilitar uma fiscalização de suas atividades de maneira efetiva.

De acordo com Jong e Tang (2014), a inapropriada destinação do material coletado em tanques sépticos pode resultar na contaminação dos corpos hídricos e representar riscos à saúde pública e ao ambiente. Por esse motivo, Strande et al. (2014) afirmam que a gestão apropriada do lodo proveniente de tanques sépticos é uma necessidade crítica.

Nos Estados Unidos, a gestão do lodo oriundo de tanques sépticos é realizada baseando-se nas recomendações da Agência de Proteção Ambiental, que dispõe de documentos com recomendações de tecnologias para o tratamento e descarte do lodo gerado (USEPA, 1999). Contudo, em países em desenvolvimento, tais como Brasil, Índia (PRASAD; RAY, 2019) e Camboja (FRENOUX; TSITSIKALIS, 2014) o descarte e o tratamento do lodo séptico gerado em sistemas individuais ainda são problemas de primeira ordem.

Alguns estados e municípios brasileiros dispõem de regulamentações que têm como objetivo aprimorar a gestão do lodo oriundo de tanques sépticos. Na Tabela 1.2 são apresentados exemplos de regulamentações acerca do tema.

Verifica-se que apenas o Estado de Santa Catarina possui legislação que define as responsabilidades pelos sistemas individuais de tratamento. As demais leis encontradas

em vigência nos estados e municípios brasileiros a respeito do tema possuem foco no destino do lodo após coleta, sobretudo, em relação aos mecanismos de controle e fiscalização dos caminhões “limpa-fossa”.

A utilização de dispositivos de rastreamento nos caminhões que realizam o esgotamento de tanques sépticos é considerada uma alternativa para fiscalização do correto descarte dos resíduos coletados. Os estados do Amazonas, Santa Catarina e Rio de Janeiro são pioneiros na criação de leis que determinam a utilização dessa tecnologia. A adoção de tal medida também está sendo analisada em outros estados, como Mato Grosso e Bahia, por meio de projetos de lei.

A gestão estratégica das soluções individuais, incluindo a coleta, tratamento e destinação do lodo, é indispensável para garantir tratamento apropriado ao esgoto gerado pela população não assistida por sistemas coletivos e para controlar os riscos advindos da utilização de sistemas com baixa eficiência de remoção de poluentes.

Tabela 1.2 - Regulamentações referentes à gestão do lodo de tanques sépticos em estados e municípios brasileiros.

Esfera estadual			
Estado	Legislação	Enfoque	
Amazonas	Resolução CEMAN nº 27/2017	Regulamenta a obrigatoriedade da instalação de sistema de rastreamento via satélite nos veículos prestadores de serviços de coleta de resíduos doméstico/sanitários.	
Rio de Janeiro	Lei nº 6.862/2014	Determina que os veículos responsáveis pela limpeza de fossas devem ser equipados com rastreador.	
Santa Catarina	Lei nº 17.082/2017	Obriga os caminhões limpa fossa a instalarem dispositivo de geoposicionamento.	
Santa Catarina	Lei nº 17.492/2018	Define que a instalação, funcionamento e manutenção de sistemas individuais ficarão a cargo do proprietário em todo o Estado.	
Esfera municipal			
Estado	Município	Legislação	Enfoque
Alagoas	Maceió	Lei nº 4.548/1996	Determina que os dejetos provenientes da limpeza de fossas sépticas deverão ser despejados na rede pública de esgotos.
Amazonas	Manaus	Resolução COMDEMA nº 10/2010	Define que a destinação do material coletado em fossas e filtros são as ETEs, sendo proibida a descarga em sistema público de esgotos ou corpos hídricos.
Minas Gerais	Sete Lagoas	Norma Técnica NT/SAAE 02/2012	Estabelece que o material proveniente da limpeza de fossas sépticas, poderá ser recebido pelo sistema público de esgotos.

Esfera municipal			
Estado	Município	Legislação	Enfoque
Pará	Belém	Lei nº 7.597/ 1992	Determina que as empresas que trabalham na limpeza de fossas ficam obrigadas a determinar o local onde os dejetos recolhidos serão despejados.
Paraná	Ponta Grossa	Lei nº 8.427/2006	Define que a concessionária deverá efetuar a limpeza de fossas e destinar os resíduos para estação de tratamento.
Paraná	Curitiba	Decreto nº 1.153/2004	Determina que os serviços de limpeza e conservação de fossas sépticas estão sujeitos a Autorização Ambiental de Funcionamento.
Paraná	Curitiba	Lei nº 11.095/2004	Determina que nas edificações que possuam fossa séptica, o proprietário fica obrigado a efetuar manutenções periódicas.
Santa Catarina	Joaçaba	Decreto nº 3.112/2007	Regulamenta prestação de serviços de limpas-fossa e autoriza o Serviço Intermunicipal de Água e Esgotos a coletar e despejar os resíduos esgotados dos sistemas individuais na ETE.
	Herval d'Oeste		
	Luzerna		
São Paulo	São Paulo	Lei nº 10.477/ 1988	Determina que o material retirado das fossas deverá ser transportado para destino final por empresas previamente cadastradas e credenciadas pela Prefeitura.
Rio Grande do Sul	Viamão	Decreto executivo nº 87/2015	Define que o lodo da limpeza das fossas sépticas e filtro deverá ser recolhido periodicamente, por empresa licenciada no município e descartados em local licenciado.
São Paulo	Atibaia	Lei nº 3.936/2010	Estabelece que a limpeza de fossas sépticas somente poderá ser realizada por empresas comprovem o credenciamento em algum centro de tratamento de esgoto.
São Paulo	Ribeirão Preto	Lei nº 6.870/1994	Isenta o pagamento de serviços de limpeza de fossas sépticas para população carente.
São Paulo	Bragança Paulista	Lei 3.922/2007	Autoriza o Poder Executivo Municipal a conceder mensalmente limpezas de fossas sépticas para população carente.
Santa Catarina	Içara	Lei 2.140/2005	A limpeza do sistema de tratamento de esgoto (fossa séptica e filtro anaeróbio), é obrigatória em todas as edificações em períodos não superiores a dois anos.
Santa Catarina	Florianópolis	Lei complementar nº 594/2016	Determina que os proprietários de caminhão limpa-fossa são obrigados a descarregar o esgoto coletado em ETE pela concessionária de esgotos e define que todo caminhão limpa-fossa deve ser dotado de serviço de rastreador veicular.

Fonte: Da autora (2019).

1.3.6.3 Sistemas coletivos de esgotamento sanitário (*clusters*)

O sistema coletivo ou em cluster é caracterizado pelo atendimento de mais de um domicílio, sendo comumente verificado em condomínios residenciais, loteamentos, conjuntos habitacionais e pequenas comunidades ou bairros, localizados em regiões periurbanas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

A implantação de sistemas de tratamento de esgotos em tais localidades requer autorização do órgão ambiental competente, ao qual cabe a função de classificar o empreendimento quanto ao seu potencial poluidor e, a partir disso, definir os requisitos necessários para o licenciamento ambiental, bem como definir o plano de auto monitoramento, quando necessário (CONAMA, 2011).

Assim como em sistemas centralizados, as ETEs descentralizadas devem atender aos requisitos dispostos em legislação, referentes a normas de projeto das unidades e atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos.

No Brasil, os referidos padrões estão dispostos na Resolução CONAMA nº 430/2011. Em suas diretrizes, a Resolução estabelece que os responsáveis por fontes poluidoras devem realizar o auto monitoramento periódico dos efluentes lançados nos corpos hídricos. Tais responsáveis devem apresentar todos os anos, ao órgão competente, uma declaração da carga poluidora gerada. Contudo, a declaração mencionada e o auto monitoramento dos efluentes poderão ser dispensados, mediante definição do órgão ambiental, para fontes de baixo potencial poluidor. Tal definição baseia-se nas especificidades do empreendimento, riscos ambientais, porte e demais características relevantes ao município e/ou estado.

Para a implantação de um grupo de domicílios em áreas não atendidas por serviços públicos de esgotamento sanitário, cabe ao empreendedor a busca pela solução técnica mais apropriada para a coleta e tratamento dos esgotos gerados. O mesmo procedimento deve ser realizado para a implantação de moradias de interesse social, conforme estabelecido na Lei nº 11.977/2009 e na Resolução CONAMA nº 412/2009.

Após a implantação das ETEs descentralizadas, assim como verificado para os sistemas locais, a responsabilidade pela operação e manutenção dos sistemas de tratamento não são definidas de maneira clara em regulamentações a nível federal.

Contudo, alguns estados e municípios definem, em leis complementares, a responsabilidade pela manutenção e operação desses sistemas após a construção.

No Estado de Santa Catarina, a Lei nº 17.492/2018 determina que, havendo a necessidade de implantação de ETEs descentralizadas em locais não atendidos pelas redes públicas, fica a cargo da concessionária de saneamento a operação, manutenção e exploração comercial da ETE.

No estado do Maranhão, por meio da Lei nº 9.550/2012, foi determinado que os edifícios que possuem mais de três andares e os condomínios residenciais que contêm mais de 10 unidades devem ter, obrigatoriamente, pequenas ETEs. A referida Lei estabelece, ainda, que a operação e a manutenção das ETEs poderão ser realizadas pelo órgão responsável no âmbito do Estado.

Nos municípios de Porto Velho (RO) é determinado, por meio da Lei Complementar nº 695/2017, que a todas edificações comerciais, industriais e condomínios residenciais que necessitam de um sistema de tratamento de esgotos, cabe a responsabilidade de construção dos mesmos.

A referida Lei também estabelece que, após a construção dos sistemas, estes poderão ser repassados à concessionária de saneamento, que se responsabilizará pela operação e manutenção necessária. Alternativamente, os empreendedores poderão optar pela administração dos sistemas. Nesse caso, cabe a estes o envio de relatórios de auto monitoramento dos efluentes ao órgão ambiental competente. Vale ressaltar que a opção de repasse dos serviços à concessionária resulta na obrigação do pagamento das tarifas vigentes.

Em Manaus (AM) o procedimento referido na Lei nº 1.192/2007 é semelhante ao anteriormente citado. Contudo, nesse município, a instalação de sistemas de tratamento de esgotos descentralizados é obrigatória nos empreendimentos públicos ou privados, localizados em áreas desprovidas de serviços públicos, cujo número de usuários seja superior a 40 pessoas.

Conforme indicado nos exemplos anteriores, soluções de tratamento de esgotos em nível comunitário são passíveis de implementação pública, podendo ser incentivadas e controladas pelos operadores dos sistemas em locais onde a implantação de redes públicas de coleta é inviável (LARSEN; UDERT; LIENERT, 2013).

Para que os sistemas descentralizados funcionem apropriadamente, é imprescindível que as responsabilidades pela manutenção e operação sejam claramente estabelecidas, por meio de regulamentações a nível federal, estadual ou municipal.

Para Tchobanoglous et al. (2004) a implantação de ETEs descentralizadas em grande escala só deve ser permitida mediante a designação de uma agência pública ou privada para realizar inspeções periódicas e qualquer manutenção necessária.

A proposição de Tchobanoglous et al. (2004) tem se mostrado efetiva em países que a adotaram. Langergraber et al. (2018) explicam que, na Áustria, as autoridades locais concedem uma licença simplificada para ETEs descentralizadas que seguem o projeto padrão por elas disponibilizado. Tais autoridades solicitam que os proprietários das ETEs possuam contrato de manutenção com uma empresa especializada ou que os proprietários realizem um curso de formação de operadores de pequenas ETEs, oferecido pela Associação Austríaca de Resíduos e Águas Residuária. De acordo com os autores, a implantação de tal política de gestão resulta em ETEs bem operadas e mantidas.

A implementação das medidas descritas por Tchobanoglous et al. (2004) e Langergraber et al. (2018) na elaboração de projetos de ETEs descentralizadas no Brasil poderia atuar como uma ferramenta efetiva na gestão dos recursos hídricos. Tal suposição baseia-se no fato de que ETEs descentralizadas, quando submetidas a monitoramento e operação frequentes, são capazes de fornecer efluentes com qualidade compatível com a exigida na legislação ambiental vigente.

1.3.7 Alternativas tecnológicas para sistemas descentralizados

Diversas tecnologias de tratamento são utilizadas no modelo descentralizado de tratamento de esgotos. No entanto, a alternativa predominante entre os pesquisadores no campo da descentralização é a aplicação de tecnologias anaeróbias de tratamento. Tal opção baseia-se na boa relação custo-benefício dessas tecnologias e demais características, tais como: baixa demanda de energia elétrica, compactidade, baixa produção de lodo e custos reduzidos de implantação, operação e manutenção (AL-SHAYAH; MAHMOUD, 2008; MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010).

O uso de sistemas de baixa demanda energética e simplicidade operacional em sistemas descentralizados tem se destacado em função da facilidade operacional e economia nos custos em países como Colômbia, Brasil e Índia. De modo geral, as tecnologias de tratamento utilizadas em sistemas descentralizados devem ter baixa exigência de manutenção e serem capazes de absorver as oscilações de vazão e concentração dos efluentes ao longo do dia (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Adicionalmente, segundo os mesmos autores, a seleção da tecnologia de tratamento a ser utilizada depende das características socioeconômicas da região e das normas vigentes. Tecnologias com alta eficiência e que possam ser implantadas com um menor investimento global destacam-se como soluções mais viáveis em países em desenvolvimento.

Levando-se em consideração uma série de critérios de seleção, na literatura são apontadas diferentes opções de tecnologias para o tratamento de esgotos em sistemas descentralizados, tais como sistemas alagados construídos (LI et al., 2018), reatores UASB (AL-SHAYAH; MAHMOUD, 2008), lodos ativados (GARFÍ; FLORES; FERRER, 2017), lagoas facultativas, aeróbias ou anaeróbias (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012), filtros anaeróbios e filtros de areias (CRUZ et al., 2019).

De modo geral, os sistemas acima indicados, predominantemente, são utilizados de modo combinado com tanques sépticos, que realizam o tratamento primário dos esgotos e promovem a digestão parcial da matéria orgânica (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Os tanques sépticos convencionais são a tecnologia de tratamento mais amplamente utilizada no saneamento descentralizado em diversos países. Nos Estados Unidos, estima-se que cerca de 20 a 25% dos domicílios são atendidos por tal sistema (LIN et al., 2017). Na Austrália, por sua vez, o saneamento rural é realizado por meio de tanques sépticos, que atendem a uma população de cerca 180.000 habitantes (BUCHANAN et al., 2018).

No entanto, o tratamento de esgotos sanitários utilizando tanques sépticos como únicas unidades de tratamento é considerado ineficiente devido à alta concentração de matéria orgânica solúvel que permanece no efluente após o tratamento. Desse modo, a fim de evitar possíveis contaminações no solo e águas subterrâneas, recomenda-se que seja realizado o pós tratamento dos efluentes de tanques sépticos (ANIL; LALI, 2016; MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010).

Segundo Oliveira Junior (2013), sistemas de tratamento individuais de esgoto doméstico foram implementados no Brasil inicialmente por meio da instalação de fossas, tanques sépticos e tanques Imhoff em locais desprovidos de coleta e transporte de águas residuárias. Posteriormente, tecnologias de tratamento como filtros anaeróbios foram adotadas a fim de melhorar a qualidade do efluente tratado e, ao mesmo tempo, manter a característica de baixo custo operacional desejada para sistemas descentralizados.

Diversas alternativas tecnológicas de pós tratamento de efluentes de tanques sépticos são indicadas na normatização brasileira expedida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13.969 (ABNT, 1997), sendo elas: filtro anaeróbio, filtro aeróbio, filtro de areia, vala de infiltração, lodos ativados em batelada e lagoa com plantas.

Tais tecnologias apresentam diferenças em termos de eficiência, custos, demanda de área e aspectos relacionados à manutenção e operação dos sistemas. Desse modo, a seleção da alternativa apropriada para cada local deve basear-se na avaliação criteriosa de cada um desses fatores. Na Tabela 1.4 são dispostas algumas características dos sistemas citados.

Avaliando-se a Tabela 1.4 e levando-se em consideração os requisitos desejáveis para sistemas descentralizados, os filtros anaeróbios destacam-se por apresentar reduzida demanda de área, baixos custos operacionais e manutenção e operação simples.

Segundo Cruz et al. (2019), além das características mencionadas, os filtros anaeróbios possuem a vantagem de permitir o uso de diferentes materiais de enchimento, o que possui influência direta nos custos de implantação.

Tabela 1.3 - Características de alternativas de pós tratamento de efluentes de tanques sépticos.

Característica	Alternativa de tratamento					
	Filtro anaeróbio	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de infiltração	Lodos ativados	Lagoa com plantas
Remoção de DBO (%) ¹	70-90	95	85	80	83-93	90
Remoção de Ssed (%) ¹	>70	>90	>90	>90	>90	>90
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Complexa	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Complexa	Simples

Nota: ¹Eficiências consideradas em conjunto com o tanque séptico. ²Ssed: sólidos sedimentáveis

Fonte: ABNT (1997); JORDÃO; PESSOA (2017) e VON SPERLING (2014).

No Brasil, segundo dados divulgados pela ANA (2017), sistemas constituídos por tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios são amplamente utilizados, sendo a terceira combinação tecnológica mais adotada nas ETEs em operação.

A disseminação da utilização conjunta de tais tecnologias no país é atribuída, além do custo reduzido, à simplicidade de dimensionamento e construção. A partir da publicação da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (BRASIL, 1997), os sistemas TS+ FAN foram difundidos no país, sobretudo em sistemas descentralizados de tratamento. Isso ocorreu em função das referidas normas apresentarem informações de maneira concisa a respeito do projeto, construção e operação de tanques sépticos e filtros anaeróbios (SUBTIL; SANCHEZ; CAVALHERO, 2016).

1.3.8 Tanques Sépticos e filtros anaeróbios como alternativas de tratamento de esgotos em sistemas descentralizados

1.3.8.1 Tanques sépticos

1.3.8.1.1 Histórico

Os registros históricos relacionados à utilização de tanques sépticos indicam que em 1860 tal unidade, inicialmente denominada Fossa Mouras, foi construída por Jean Louis Mouras, na França (ANDRADE NETO, 1997; JORDÃO; PESSOA, 2017).

O invento de Mouras consistia em um tanque hermético de alvenaria que retinha os esgotos, restos de cozinha e águas pluviais de uma pequena habitação em Veoul, encaminhados para o tanque por meio de tubulações submersas na massa líquida (JORDÃO; PESSOA, 2017).

O intuito de Mouras era reter o material sólido presente nos efluentes e, desse modo, evitar a obstrução do sumidouro e impermeabilização do solo, que dificultaria a infiltração dos líquidos. Após 12 anos da construção, o tanque foi aberto e o inventor verificou que o volume de sólidos acumulado era menor do que aquele previamente estimado por ele. Após essa verificação Mouras, em colaboração com o Abade Moigne, autoridade científica da época, empreendeu uma série de experiências com a unidade criada e em 2 de setembro de 1881 registrou a patente do modelo testado (JORDÃO; PESSOA, 2017).

De acordo com Andrade Neto (1997), Moigne conhecia as, à época recentes, descobertas de Pasteur, que permitiram inferir que a redução do material sólido acumulado ocorria em função da atividade de microrganismos, que resultavam na liquefação e gaseificação dos sólidos orgânicos.

As fossas Mouras foram empregadas inicialmente na Europa e, no ano de 1883, foram adotadas nos Estados Unidos quando Edward S. Philbrick construiu um modelo de fossa com dois compartimentos. A expressão “Tanque Séptico” só foi difundida após o seu registro e patente na Inglaterra pelo inventor Donald Cameron, no ano de 1895. Cameron atribuiu tal nome ao tanque construído a fim de lembrar à população que a eficiência do tanque dependia da ação dos microrganismos que nele viviam (JORDÃO; PESSOA, 2017).

A fim de aumentar a eficiência do tratamento nos tanques sépticos, posteriormente, foram desenvolvidos em alguns países outros modelos de tanques. Na Inglaterra, no ano de 1903, surgiram os tanques Travis, também conhecidos como tanques hidrolíticos. Tais tanques evoluíram para os tanques de câmaras sobrepostas denominados Imhoff, em função dos estudos realizados por Karl Imhoff na Alemanha (JORDÃO; PESSOA, 2017).

De acordo com Azevedo Netto (1985), no Brasil, a primeira aplicação de tanques sépticos ocorreu em Campinas (SP), no ano de 1892, para o tratamento de esgoto sanitário. No entanto, somente após a década de 1930 os tanques sépticos passaram a ser amplamente difundidos no país. No ano de 1963 a ABNT publicou a NB-41, sendo esta a primeira norma técnica que orientava sobre a utilização de tanques sépticos no país. Posteriormente foi publicada pela ABNT, em 1982, a NBR 7.229. A referida norma técnica foi revisada e substituída pela NBR 7.229/1993 que, até a presente data, encontra-se em vigor no território brasileiro.

Durante o período de revisão da NBR 7.229/1982 foi definida, pela comissão de revisão da ABNT, a ampliação e desmembramento da norma em três normas distintas, responsáveis por apresentar diretrizes sobre o projeto e operação de tanques sépticos, pós tratamento dos efluentes dos tanques sépticos e, por fim, da disposição de lodos.

A primeira norma técnica (NBR 7.229) denominada “Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos” entrou em vigor em novembro de 1993. A segunda (NBR 13.969), entrou em vigor em setembro de 1997 e tem como título “Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação”. A terceira norma técnica

denominada “Tratamento e disposição final de sólidos do sistema de tanque séptico” teria como objetivo complementar o tema e, desse modo, abranger todos os aspectos relacionados aos sistemas de tratamento de esgotos no local, ou descentralizados. No entanto, tal norma nunca foi publicada, sendo informado na publicação da NBR 13.969/1997 que ela se encontrava em fase de elaboração.

Vale ressaltar que, no ano de 2017, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) anunciou que as normas NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997 passarão por revisão, tendo em vista a necessidade de atualização destas.

Antes da revisão da NBR 7.229/1982, os tanques sépticos eram comumente referidos como fossas sépticas. A fim de diferenciar os tanques sépticos das fossas negras, decidiu-se, a partir da revisão, pela adoção do termo tanque séptico em todo o território brasileiro.

O conjunto de normas técnicas publicadas pela ABNT contribuíram para a popularização e difusão dos sistemas de tanques sépticos no Brasil. Conforme indicado na Figura 1.3, a NBR 7.229/1993 apresentou diversas alternativas de tratamento complementar e disposição final dos efluentes de tanques sépticos. Dentre as opções de tratamento complementar indicadas, o filtro anaeróbio destacou-se como a principal unidade de pós tratamento utilizada no Brasil (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

Segundo Além Sobrinho e Jordão (2000), o uso intensivo de tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios ocorreu, principalmente, em função da simplicidade para construir e operar tais sistemas, além da facilidade para projetá-los após a publicação da NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997.

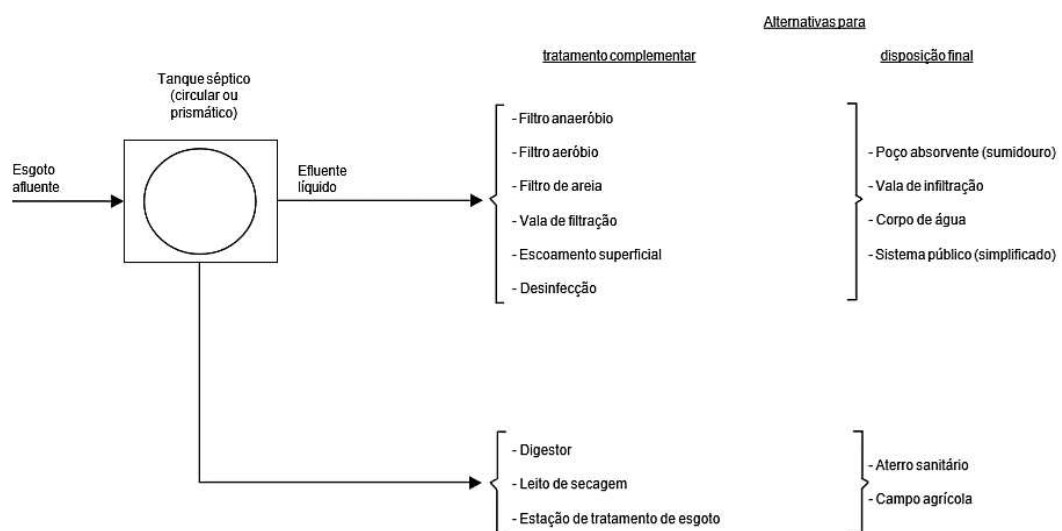


Figura 1.3 – Alternativas de concepção de sistemas de tanque séptico.

Fonte: ABNT (1993)

1.3.8.1.2 Princípios do funcionamento e aplicações

O tanque séptico, também conhecido como decanto-digestor, é um dispositivo de tratamento de esgotos comumente destinado a receber contribuições de pequenas comunidades e áreas urbanas desprovidas de rede coletora pública de esgotos. Segundo Jordão e Pessoa (2017) o tratamento realizado em tanques sépticos é compatível com sua simplicidade e custo.

De acordo com os mesmos autores, o tanque séptico pode ser definido como uma unidade de tratamento de esgotos construída para reter esgotos sanitários, por um período pré-estabelecido, a fim de permitir a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo presente nos esgotos. O material retido nos tanques é transformado, por meio da ação de microrganismos anaeróbios, em substâncias e compostos mais simples e estáveis.

O funcionamento dos tanques sépticos pode ser explicitado em seis fases de desenvolvimento do processo, sendo elas:

- Retenção do esgoto: o esgoto é retido no tanque séptico por um período de tempo pré-estabelecido, podendo variar de 12 a 24 horas em função das vazões afluentes;
- Decantação do esgoto: ocorre a sedimentação de 60 a 70% dos sólidos em suspensão presentes nos esgotos. Os sólidos sedimentados formam, no fundo do tanque, uma substância semilíquida denominada lodo;
- Formação de espuma: Parte dos materiais não sedimentados, formados por óleos, graxas e demais materiais leves presentes nos esgotos, emerge até a superfície do tanque e é retida na superfície livre do líquido, formando uma camada denominada espuma;
- Saída do esgoto: O esgoto, após a remoção de materiais sedimentáveis e flutuantes, deixa o tanque séptico em sua extremidade oposta, sendo encaminhado para o pós tratamento em unidades complementares;
- Digestão anaeróbia do lodo e espuma: O material orgânico retido no tanque é degradado por microrganismos facultativos e anaeróbios, sendo convertido em compostos mais estáveis, tais como CO_2 , CH_4 e H_2S ;
- Redução do volume de lodo: Por meio da digestão anaeróbia do material orgânico presente nos esgotos ocorre a redução do volume do lodo depositado no fundo do tanque, que adquire características estáveis. Embora haja a diminuição do volume do lodo, há sempre uma acumulação desse material do fundo do tanque ao longo

dos meses de operação, o que requer que tal material seja removido periodicamente (ANDRADE NETO, 1997; CHERNICHARO, 2007; JORDÃO; PESSOA, 2017).

A remoção do lodo de excesso nos tanques sépticos, comumente, é realizada uma vez a cada ano, o que faz com que tais unidades de tratamento sejam construídas com volumes razoavelmente grandes, a fim de armazenar o lodo retido durante esse período. Segundo Além Sobrinho e Jordão (2000) esse fato limita a aplicação de tanques sépticos a populações inferiores a 1.000 habitantes.

De acordo com as recomendações da NBR 7229/1993, os tanques sépticos podem ser construídos em câmaras únicas ou em câmaras múltiplas em série, sendo estas indicadas para tanques de volume pequeno a médio, com capacidade para atender a até 30 pessoas. Os tanques sépticos podem ter formato cilíndrico ou prismático retangular e são dotados de dispositivos de entrada do esgoto e saída do efluente tratado. Na Figura 1.4 é indicado o corte esquemático de um tanque séptico retangular de câmara única, indicando seus principais componentes e localização dos constituintes dos esgotos que passam por tratamento.

Os dispositivos de entrada e saída dos efluentes nos tanques sépticos possuem expressiva importância para o bom funcionamento dessas unidades. Os dispositivos de entrada possuem como finalidade evitar perturbações hidráulicas no interior do tanque; direcionar o escoamento dos esgotos para o fundo do tanque e, desse modo, possibilitar uma sedimentação dos sólidos mais eficiente; evitar que os esgotos afluentes ao tanque misturem-se diretamente com o líquido já depurado; e evitar que a espuma retorne à entrada do tanque. Os dispositivos de saída, por sua vez, possuem a função de reter a espuma formada no tanque e orientar a saída do efluente clarificado (VON SPERLING, 2014).

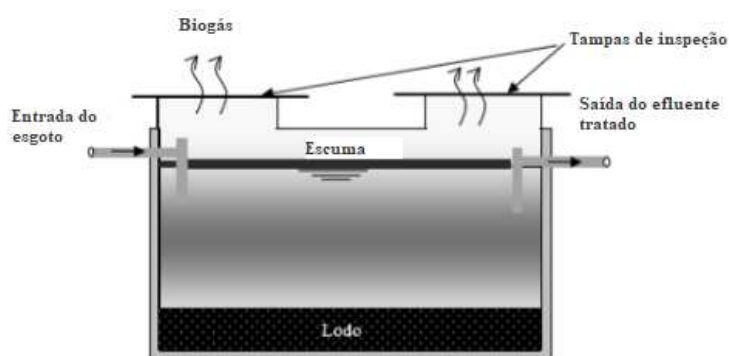


Figura 1.4 - Corte esquemático de um tanque séptico retangular de câmara única.

Fonte: Adaptada de Ávila (2005)

As eficiências de remoção de poluentes nos tanques sépticos podem variar em função de diversos fatores, tais como: carga orgânica volumétrica, carga hidráulica, geometria, arranjo das câmaras, temperatura e condições de operação. Segundo Jordão e Pessoa (2017), tanques sépticos de câmara única possuem eficiência de remoção de DBO na faixa de 30 a 50%. Tanques de câmara em série, por sua vez, apresentam eficiência de remoção de DBO no intervalo de 35 a 65%. Quanto à remoção de sólidos suspensos, a eficiência de remoção dos tanques sépticos encontra-se em torno de 60%.

Conforme mencionado por Jordão e Pessoa (2017), o tratamento de esgotos realizado no tanque séptico não apresenta elevada eficiência, produzindo efluentes de qualidade razoável, que devem ser encaminhados para sistemas de pós tratamento.

1.3.8.1.3 Dimensionamento

As diretrizes para elaboração do projeto, construção e operação de tanques sépticos são normalizadas pela ABNT por meio da NBR 7.229/1993. O modelo de dimensionamento estabelecido pela ABNT é o mais adotado e difundido no Brasil.

De acordo com a referida norma técnica, os tanques sépticos podem ser utilizados para o tratamento de esgotos domésticos. Para o tratamento de despejos oriundos de hospitais, clínicas, laboratórios de análises clínicas, postos de saúde e demais estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, a ABNT determina que os projetos dos tanques sépticos devam ser previamente submetidos à avaliação das autoridades competentes, a fim de fixar as exigências necessárias para o pré e pós tratamento dos efluentes.

Adicionalmente, a norma restringe o encaminhamento ao tanque séptico de águas pluviais e despejos capazes de causar interferência em qualquer fase do processo de tratamento.

Segundo a NBR 7.229/1993, o dimensionamento do tanque séptico deve ser realizado de acordo com a Equação 1.1.

$$V = 1000 + N * (C * T + K * Lf) \quad \text{Equação 1.1}$$

Em que:

V: volume útil (L);

N: número de pessoas ou unidades de contribuição;

C: contribuição de despejos (L hab⁻¹dia⁻¹);

T: período de retenção (d);

K: taxa de acumulação de lodo digerido (d);

Lf: contribuição de lodo fresco ($L \text{ hab}^{-1} \text{d}^{-1}$).

Nota-se que a equação de dimensionamento proposta pela ABNT estabelece um volume adicional de 1.000 L para os tanques sépticos, sendo este independente do volume requerido em função das características da população e região de implantação da unidade de tratamento.

Para o cálculo do parâmetro C, a norma técnica define que devem ser considerados o número de pessoas a serem atendidas pelo sistema de tratamento e o consumo de água local. O coeficiente de retorno de esgotos a ser adotado deve ser de 80%, com exceção de casos plenamente justificados, onde percentuais diferentes do citado poderão ser adotados. Na ausência de dados locais relativos ao consumo de água, a ABNT determina que poderão ser adotados os valores estabelecidos na Tabela 1.5, que determina também os valores de contribuição de lodo fresco.

Tabela 1.4 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos ($L \text{ d}^{-1}$)	Contribuição de lodo fresco ($L \text{ d}^{-1}$)
<i>Ocupantes permanentes</i>			
Residência - Padrão alto	Pessoa	160	1
Residência - Padrão médio	Pessoa	130	1
Residência - Padrão baixo	Pessoa	100	1
Hotel	Pessoa	100	1
Alojamento provisório	Pessoa	80	1
<i>Ocupantes temporários</i>			
Fábrica em geral	Pessoa	70	0,30
Escritório	Pessoa	50	0,20
Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50	0,20
Escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50	0,20
Bares	Pessoa	6	0,10
Restaurantes e similares	Refeição	25	0,10
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	0,02
Sanitários públicos	Bacia sanitária	480	4,0

Fonte: Adaptada de ABNT (1993)

O tempo de retenção (T) e a taxa de acumulação de lodo digerido (K) por sua vez, são definidos por meio das Tabelas 1.6 e 1.7.

Avaliando-se a Tabela 1.7, verifica-se que o valor de K diminui com aumento da temperatura, para um dado intervalo de limpeza. Isso ocorre pois, em regiões de clima quente, a atividade biológica é mais intensa, o que resulta em uma maior estabilização e redução do material orgânico retido no interior do tanque (CHERNICHARO, 2007).

Tabela 1.5 - Período de retenção dos despejos por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de retenção (t)	
	Dias	Horas
Até 1.500	1,00	24
1.501 – 3.000	0,92	22
3.001 – 4.500	0,83	20
4.501 – 6.000	0,75	18
6.001 – 7.500	0,67	16
7.501 – 9.000	0,58	14
Mais que 9.000	0,50	12

Fonte: ABNT (1993)

Tabela 1.6 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em d, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

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

Fonte: ABNT (1993)

Quanto à geometria dos tanques sépticos, a NBR estabelece que tanques sépticos cilíndricos devem possuir diâmetro interno mínimo de 1,10 m. Para tanque prismáticos retangulares, a largura interna mínima deve de 0,80 m. Nesses tanques, a relação comprimento/largura deve ser de, no mínimo 2:1 e, no máximo, 4:1. Em relação à profundidade, valores limites são estabelecidos pela ABNT em função do volume útil dos tanques, conforme indicado na Tabela 1.8.

Tabela 1.7 – Profundidade útil mínima e máxima por faixa de volume útil.

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

Fonte: ABNT (1993)

1.3.8.2 Filtros anaeróbios

1.3.8.2.1 Histórico

Os filtros anaeróbios de leito fixo, também conhecidos como filtros biológicos anaeróbios, são considerados uma das mais antigas soluções de tratamento de efluentes e surgiram simultaneamente à evolução dos filtros biológicos aeróbios (JORDÃO; PESSOA, 2017).

A aplicação racional dessa tecnologia teve maior divulgação a partir dos experimentos realizados na década de 1960 em Stanford, Califórnia (EUA), por Perry L. McCarty (CAMPOS, 2000). Posteriormente, no ano de 1972, os pesquisadores V. Raman e N. Chakladar realizaram experiências na Índia. Por meio dos resultados obtidos em tais experimentos, os filtros anaeróbios foram indicados como uma solução para melhoria da qualidade do efluente de tanques sépticos (JORDÃO; PESSOA, 2017).

No Brasil, por volta do ano de 1977, foram realizadas experiências utilizando filtros anaeróbios em unidades piloto na Universidade de São Paulo. Nessa época, os experimentos realizados comprovaram os resultados apresentados na década de 1960 por McCarty (JORDÃO; PESSOA, 2017).

Em 1982, com a revisão da NB-41, foi proposta pela ABNT a utilização de filtros biológicos anaeróbios de escoamento ascendente como pós-tratamento de tanques sépticos em casos de lançamento em corpos hídricos cujos padrões de qualidade exigidos eram altos.

Apesar da NBR 7.229/1982 ter difundido a tecnologia dos filtros anaeróbios no Brasil, tal norma apresentava diversas deficiências na definição de características construtivas, de projeto e de operação, sobretudo no que se refere à remoção do lodo acumulado na câmara inferior de entrada.

Em 1997, com a publicação da NBR 13.969, a ABNT apresentou modelos de filtros anaeróbios mais detalhados em relação aos aspectos construtivos e operacionais. No entanto, não foram definidos intervalos específicos de limpeza das unidades de tratamento, sendo apenas informado que o leito filtrante dos filtros deveria ser limpo quando constatada a sua colmatação.

Após a inclusão dos filtros anaeróbios como opção de tratamento complementar nas normas da ABNT, essas unidades passaram a ser amplamente utilizadas, sobretudo em pequenos conjuntos habitacionais e condomínios (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

Adicionalmente, diversas universidades brasileiras realizaram experimentos com filtros anaeróbios, destacando-se os estudos realizados na Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade de Campinas, Universidade Federal do Rio de Janeiro e outros desenvolvidos no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) (JORDÃO; PESSOA, 2017).

1.3.8.2.2 Princípios do funcionamento e aplicações

De acordo com Chernicharo (2007), os filtros anaeróbios são o exemplo mais conhecido de reatores de leito fixo com crescimento bacteriano aderido. Essas unidades de tratamento são caracterizadas pela presença de um material inerte que atua como suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos. O biofilme formado pelos microrganismos aderidos ao meio suporte propicia uma alta retenção de biomassa no reator. Embora a biomassa se desprenda esporadicamente, é comum que o tempo médio de residência de sólidos no reator seja superior a 20 dias.

A imobilização dos microrganismos ocorre por meio de sua aderência ao meio suporte. As interações célula-célula, a presença de moléculas de polímeros na superfície e a composição do meio influenciam essa aderência. A depuração do esgoto se dá por meio da percolação do líquido entre os interstícios do meio suporte, que propicia o contato com o lodo ativo retido. Por meio desse contato ocorre a conversão dos compostos orgânicos solúveis em produtos intermediários e finais, tais como CH_4 e CO_2 (VON SPERLING, 2014).

Segundo Jordão e Pessoa (2017), o tratamento realizado em filtros anaeróbios pode ser resumido em dois fenômenos principais, a saber:

- Retenção de sólidos de pequenas dimensões por sedimentação forçada e por meio do contato direto com o meio suporte recoberto de biofilme;
- Ação metabólica dos microrganismos formadores do biofilme sobre a matéria dissolvida.

Chernicharo (2007) afirma que, no tratamento biológico, as características mais importantes são o tempo de residência dos sólidos e as concentrações de microrganismos presentes no meio. Em filtros anaeróbios, os elevados tempos de residência de sólidos no interior dos reatores, associados aos baixos tempos de retenção hidráulica, fazem com

essas unidades de tratamento possuam elevado potencial para aplicação em tratamento de águas residuárias de baixa concentração.

Os filtros anaeróbios podem ser utilizados como unidade principal no tratamento de efluentes, no entanto, são mais apropriados para o pós tratamento. Isso ocorre tendo em vista que efluentes que não receberam um polimento inicial comumente possuem elevada concentração de sólidos em suspensão. Esse material, em grande quantidade, pode obstruir os interstícios do meio suporte dos filtros anaeróbios e conduzir a uma diminuição da eficiência e, em alguns casos, ao colapso da unidade de tratamento. (CAMPOS, 2000).

Os filtros podem ter diversos formatos, configurações e dimensões, contanto que sejam obtidas boas condições de distribuição de escoamento no meio percolador. Essas unidades podem ser operadas com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal. Usualmente, os filtros de escoamento vertical são mais utilizados, sobretudo, os de escoamento ascendente. Nessa configuração o efluente é introduzido pela base do reator, também denominada de fundo falso, e flui através do meio suporte sendo, posteriormente, descartada na parte superior (Figura 1.5). Na configuração de escoamento descendente, por sua vez, o efluente é distribuído na parte superior do filtro e depois recolhido na parte inferior (CHERNICHARO, 2007).

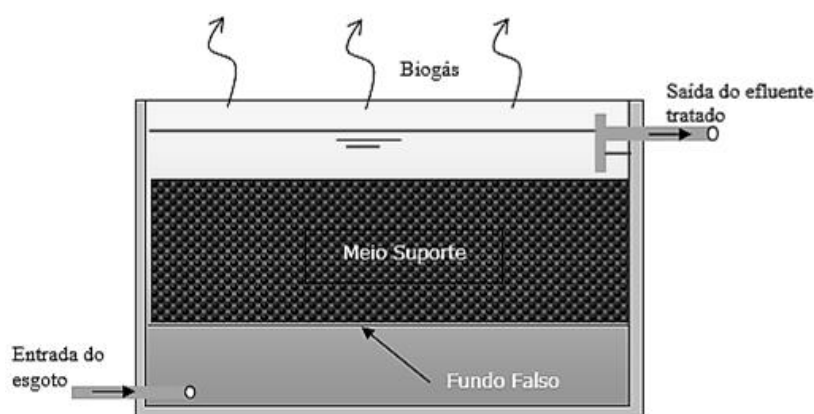


Figura 1.5 – Corte esquemático de um filtro anaeróbio de leito fixo e escoamento ascendente.

Fonte: Ávila (2005)

A eficiência do filtro anaeróbio pode variar em função de diversos fatores, tais como as características do esgoto afluente, da carga aplicada, do meio suporte utilizado e de alguns fatores relacionados à atividade biológica, como temperatura. Algumas variáveis de projeto também influenciam o desempenho dos filtros sendo as principais o

tempo de retenção celular e tempo de retenção hidráulica. A primeira, que corresponde ao tempo de retenção do biofilme no interior do reator, é de difícil obtenção prática. A segunda pode ser obtida de maneira mais simples, dividindo-se o volume do reator pela vazão de operação (JORDÃO; PESSOA, 2017).

A ABNT apresenta, na NBR 13.969/1997, a faixa de eficiência esperada para filtros anaeróbios operados em conjunto com tanques sépticos. Para o parâmetro DBO, a eficiência estimada pode variar de 40 a 75%, para DQO, de 40 a 70%, para sólidos suspensos, de 60 a 90% e para sólidos sedimentáveis é esperada uma eficiência superior a 70%. De acordo com a referida norma, os limites inferiores correspondem às eficiências de tanques instalados em locais com ocorrência de temperaturas inferiores a 15 ° C e os limites superiores correspondem às temperaturas superiores a 25 ° C. Para Jordão e Pessoa (2017) a eficiência global de remoção da DBO em filtros anaeróbios, em relação ao afluente ao tanque séptico, é de 70 a 85%.

No entanto, diferentes percentuais de eficiência têm sido verificados em estudos que avaliaram o desempenho de filtros anaeróbios em conjunto com tanques sépticos em escala plena (Tabela 1.9). A variabilidade nos valores observados evidencia que a eficiência desses sistemas pode apresentar diferenças em função de diferentes fatores, tais como parâmetros de projeto e práticas de operação e manutenção.

Tabela 1.8 - Eficiências de remoção de poluentes em sistemas TS+FAN operados em escala plena.

Eficiência de remoção de DBO (%)	Eficiência de remoção de SST (%)	Referência
59	66	Oliveira e Von Sperling (2011) ¹
69	85	Nguyen, Morel e Tonderski (2010)
80	89	Alvarado et al. (2017) ²

Nota: ¹Valores médios para nove sistemas avaliados. ² Valores médios para 19 sistemas avaliados

Os filtros anaeróbios apresentam como principal desvantagem a acumulação de biomassa na parte inferior do meio suporte dos reatores operados em escoamento ascendente. Essa acumulação de material pode provocar o entupimento do meio filtrante ou resultar na formação de caminhos preferenciais, que reduzem a eficiência dos filtros no tratamento de efluentes. Nesse sentido, para o tratamento de efluentes que possuem elevada concentração de sólidos em suspensão, habitualmente tem sido indicada a utilização de filtros anaeróbios de escoamento descendente (CHERNICHARO, 2007).

1.3.8.2.3 Dimensionamento

No Brasil, as diretrizes para o projeto, construção e operação de filtros anaeróbios são estabelecidas pela ABNT por meio da NBR 13.969/1997. Segundo a norma técnica, o volume dos filtros anaeróbios pode ser determinado por meio da Equação 1.2.

$$V_u = 1,6 NCT \quad \text{Equação 1.2}$$

Em que,

V_u : volume útil (L);

N : número de contribuintes;

C : contribuição de despejos ($L \text{ hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$);

T : período de retenção (d).

Os valores de C e T , que dependem do tipo de ocupação e da variação da vazão e temperatura, respectivamente, são estabelecidos de maneira semelhante aos tanques sépticos, por meio de dados referentes à população atendida e ao consumo de água ou pela consulta às Tabelas 1.5 e 1.6.

A norma especifica que, quando construído como unidade complementar para o tratamento de efluentes de tanques sépticos, a perda de carga prevista entre o nível mínimo do tanque séptico e o nível máximo do filtro deve ser de 0,10 m.

Em relação à altura dos filtros anaeróbios, a norma técnica define que a altura do leito filtrante, já incluindo a altura do fundo falso, deve ser limitada a 1,20 m. O fundo falso, por sua vez, deve possuir altura máxima de 0,60 m, já incluindo a espessura da laje. A altura total do filtro anaeróbio é obtida pela Equação 1.3. Os valores de h_1 , que se referem à altura da lâmina livre e h_2 , referentes à altura do vão livre do reator, são variáveis.

$$H = h + h_1 + h_2 \quad \text{Equação 1.3}$$

Em que:

H : altura total interna do filtro anaeróbio (m);

h : altura total do leito filtrante (m);

h_1 : altura da calha coletora (m);

h_2 : altura sobressalente (m).

Adicionalmente, a norma cita detalhes referentes à construção dos filtros, estabelecendo as características requeridas para o sistema de distribuição dos esgotos, especificações do material filtrante a ser utilizado, cobertura do reator e tampas de inspeção e materiais de construção a serem utilizados.

1.4 CONCLUSÕES

A universalização do saneamento no Brasil é uma das metas prioritárias descritas no plano nacional de saneamento básico. Contudo, o cenário atual do saneamento no país aponta que, para atingir tal meta, é necessário empreender esforços na ampliação do atendimento dos serviços de esgotamento sanitário, sobretudo, em áreas rurais, municípios de pequeno porte e áreas com difícil acesso à rede pública de coleta.

Avaliando-se os aspectos conceituais das abordagens centralizadas e descentralizadas para o tratamento de esgotos, verifica-se que a atuação de sistemas descentralizados na matriz tecnológica do setor pode contribuir substancialmente para o aumento dos índices de atendimento nas áreas anteriormente citadas.

No entanto, para garantir que tais sistemas atuem de maneira efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente diversos desafios ainda devem ser superados.

O desempenho de sistemas descentralizados está diretamente associado à seleção da tecnologia apropriada e da existência de programas de gerenciamento, que assegurem inspeção e manutenção regulares nos sistemas. Além disso, sistemas descentralizados exigem maior conscientização e participação da comunidade.

Por se tratar de uma abordagem menos disseminada no Brasil, os sistemas descentralizados são menos aceitos pelo público geral, quando comparados aos sistemas centralizados. Comportamento similar também é verificado em relação aos gestores do setor de saneamento. De modo geral, a população considera que os sistemas centralizados não têm razão para serem substituídos pelos sistemas descentralizados.

De fato, advogar pela substituição dos sistemas centralizados, onde estes já se encontram em vigor, não é considerada uma alternativa efetiva para a universalização do saneamento. A alternativa proposta consiste na coexistência entre sistemas centralizados e descentralizados, que devem atuar de maneira complementar a fim de ampliar o acesso da população não atendida aos serviços de saneamento.

O descrédito habitual atribuído aos sistemas descentralizados pode estar associado à ausência de sistemas de gestão efetivos. Embora as unidades de tratamento utilizadas

em tais sistemas comumente requeiram apenas manutenção periódica, estas não costumam ser realizadas, o que resulta em seu baixo desempenho. Desse modo, para que os sistemas descentralizados possam atuar de maneira efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente, torna-se necessária a adoção de práticas de gestão que permitam operação frequente e manutenção periódica das unidades de tratamento. Para isso, é necessário que sistemas de gestão, com foco em sistemas descentralizados, sejam desenvolvidos e implementados no setor de saneamento.

Adicionalmente, verifica-se que o Brasil carece de regulamentação que defina, de maneira clara, as responsabilidades pela manutenção e operação dos sistemas descentralizados. Diante dessa lacuna legal, torna-se fundamental o estabelecimento de diretrizes para a utilização de tais sistemas como uma alternativa para universalização do saneamento. A definição de diretrizes nacionais permitirá nortear as responsabilidades pela prestação de serviços e pela gestão dos sistemas existentes.

Por fim, acredita-se que a utilização de sistemas descentralizados possa contribuir para o incremento nos índices de tratamento de esgotos no Brasil. A adoção de sistemas simplificados como solução técnica de tratamento indica ter maior viabilidade econômica e social em algumas áreas no país.

Contudo, a simplicidade não deve ser entendida como uma opção de baixa qualidade e que não demanda quaisquer cuidados na construção, operação e manutenção. De maneira oposta, os sistemas simplificados e descentralizados devem ser vistos como sistemas que, quando submetidos às práticas apropriadas de operação e manutenção, possibilitam a obtenção de efluentes com qualidade compatível com a exigida em legislações ambientais.

1.5 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229: Projeto, Construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ALÉM SOBRINHO, P. A.; JORDÃO, E. P. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: uma análise crítica.** In: CAMPOS, J. R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos -2000. São Carlos: ABES, 2000, p. 1-17.

AL-SHAYAH, M.; MAHMOUD, N. Start-up of an UASB-septic tank for community on-site treatment of strong domestic sewage. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 7758–7766, 2008.

ALVARADO, A.; LARRIVA, J.; SÁNCHEZ, E.; IDROVO, D., CISNEROS, J. F. Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador. **Water Practice and Technology**, v. 12, n. 1, p. 240–249, 2017.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**. Brasília: ANA, 2017. 92 p.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários. Experiência brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997, 302 p.

ANDRADE, C. F.; VON SPERLING, M.; MANJATE, E. S. Treatment of septic tank sludge in a vertical flow constructed wetland system. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**. v. 37, n.4, p. 811–819, 2017.

ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Projeto PROSAB. 388 p.

ANIL, R.; LALI, A. Modified Septic Tank Treatment System. **Procedia Technology**, v. 24, p. 240–247, 2016.

ASANO, T. et al. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. New York: McGraw Hill, 2007, 1.570 p.

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

AZEVEDO NETTO, J. M., Tanques sépticos: Conhecimentos atuais. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 24, n. 2, p. 222-229, 1985.

BAKIR, H. A. Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. **Journal of Environmental Management**, n. 61, p. 319-328, 2001.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 07 fev. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2013. 173 p.

BRASIL. Portal da legislação – governo federal. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 10 ago. 2018.

BROWN, V.; JACKSON, D. W.; KHALIFE, M. Melbourne metropolitan sewerage strategy: a portfolio of decentralised and on-site concept designs. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 3, 2010.

BUCHANAN, N. A.; YOUNG, P.; CROMAR, N. J.; FALLOWFIELD, H. J. Performance of a high rate algal pond treating septic tank effluent from a community wastewater management scheme in rural South Australia. **Algal Research**, v. 35, p. 325–332, 2018.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos – 2000**. Projeto PROSAB. São Carlos: ABES, 2000.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380p.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 377, de 9 de outubro de 2006**. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>. Acesso em: 10 abr. 2018.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 10 abr. 2018.

CRUZ, L. M. O.; GOMES, B. G. L. A.; TONETTI, A. L.; FIGUEIREDO, I. C. S. Using coconut husks in a full-scale decentralized wastewater treatment system: The influence of an anaerobic filter on maintenance and operational conditions of a sand filter. **Ecological Engineering**, v. 127, p. 454–459, 2019.

EGGIMANN, S.; TRUFFER, B.; MAURER, M. The cost of hybrid waste water systems: A systematic framework for specifying minimum cost-connection rates. **Water Research**, v. 103, p. 472–484, 2016.

FREEMAN, M. C.; GARN, J. V.; SCLAR, G. D.; BOISSON, S.; MEDLICOTT, K.; ALEXANDER, K. T.; REHFUESS, E. A. The impact of sanitation on infectious disease and nutritional status: A systematic review and meta-analysis. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 220, n. 6, p. 928-949, 2017.

FRENOUX, C.; TSITSIKALIS, A. Domestic private fecal sludge emptying services in Cambodia: between market efficiency and regulation needs for sustainable management. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, n. 5, v.1, p. 143-155, 2015.

GARFÍ, M.; FLORES, L.; FERRER, I. Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 211–219, 2017.

GIKAS, P.; TCHOBANOGLOUS, G. The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 144–152, 2009.

HIGUERREY, A.; TRUJILLO, L. Has efficiency improved after the decentralization in the water industry in Venezuela. **Utilities Policy**, v. 49, p. 127–136, 2017.

HO, G.; ANDA, M. **Centralised versus decentralised wastewater systems in an urban context: the sustainability dimension**. In: 2nd IWA Leading edge on sustainability in water-limited environments. IWA Publishing, p. 81–89, 2006.

HONG, S.; CHOI, Y. S.; KIM, S. J.; KWON, G. Pilot-testing an alternative on-site wastewater treatment system for small communities and its automatic control. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 101–108, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 108p.

JONG, V. S.; TANG, F. E. Organic matter and nitrogen removal at planted wetlands treating domestic septage with varying operational strategies. **Water Science and Technology**, v. 70, n. 2, p. 352–360, 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 909 p.

JUNG, Y. T.; NARAYANAN, N. C.; CHENG, Y. L. Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 90–97, 2018.

LANGERGRABER, G.; PRESSL, A.; KRETSCHMER, F.; WEISSENBACHER, N. Small wastewater treatment plants in Austria – Technologies, management and training of operators. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 164–169, 2018.

LARSEN, T. A.; HOFFMANN, S.; LÜTHI, C.; TRUFFER, B.; MAURER, M. Emerging Solutions to the Water Challenges of an Urbanizing World. **Science**, v. 352, n. 6288, p. 928–933, 2016.

LARSEN, T. A.; ALDER, A. C.; EGGEN, R. I.; MAURER, M.; LIENERT, J. Source Separation: Will We See a Paradigm Shift in Wastewater. **Environmental Science and Technology**, v. 43, n. 16, p. 6121–6125, 2009.

LARSEN, T. A.; UDERT, K. M.; LIENERT, J. **Source separation and decentralization for wastewater management**. London: IWA Publishing, 2013. 512 p.

LEIS ESTADUAIS. Sistema Leis Estaduais. Disponível em: <http://www.leisestaduais.com.br>. Acesso em: 10 ago. 2018.

LEIS MUNICIPAIS. Sistema Leis Municipais. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br>. Acesso em: 10 ago. 2018.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331–348, 2011.

LI, H.; LIU, F.; LUO, P.; XIE, G.; XIAO, R.; HU, W.; WU, J. Performance of integrated ecological treatment system for decentralized rural wastewater and significance of plant harvest management. **Ecological Engineering**, v. 124, p. 69–76, 2018.

LIBRALATO, G.; VOLPI GHIRARDINI, A.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management**, v. 94, n. 1, p. 61–68, 2012.

LIN, H.; LIU, W.; ZHANG, X.; WILLIAMS, N.; HU, B. Microbial electrochemical septic tanks (MESTs): An alternative configuration with improved performance and minimal modifications on conventional septic systems. **Biochemical Engineering Journal**, v. 120, p. 146–156, 2017.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 652–659, 2009.

MAURER, M. Specific net present value: An improved method for assessing modularisation costs in water services with growing demand. **Water Research**, v. 43, n. 8, p. 2121–2130, 2009.

MAURER, M.; ROTHENBERGER, D.; LARSEN, T. A. Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: at what cost are they competitive. **Water Science and Technology**, v. 5, n. 6, p. 145–154, 2006.

MENA-ULECIA, K.; HERNÁNDEZ, H. H. Decentralized peri-urban wastewater treatment technologies assessment integrating sustainability indicators. **Water Science and Technology**, v. 72, n. 2, p. 214–222, 2015.

MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 88, n. 1, p. 47–52, 2010.

NGUYEN, V. A.; MOREL, A.; TONDERSKI, K. Baffled Septic Tank with Anaerobic Filter (BASTAF) and vertical subsurface flow constructed wetland for domestic wastewater treatment in Vietnam. **Water Practice and Technology**, v. 5, n. 4, p. 100, 2010.

NHAPI, I. A framework for the decentralised management of wastewater in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 29, n. 15–18, p. 1265–1273, 2004.

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

OPHER, T.; FRIEDLER, E. Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 464–476, 2016.

ORTH, H. Centralised versus decentralised wastewater systems?. **Water Science and Technology**, v. 58, n. 5, p. 259–266, 2007.

PAZ, M. G. A.; ALMEIDA, M. F.; GÜNTHER, W. M. R. Diarrhea in children and sanitation and housing conditions in periurban areas in the city of Guarulhos, SP. **Revista Brasileira Epidemiologia**, v. 15, n. 1, p. 188–197, 2012.

PRASAD, C. S.; RAY, I. When the pits fill up:(In) visible flows of waste in urban India. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, 2019 [no prelo].

REYMOND, P.; WAHAAB, R. A.; MOUSSA, M. S.; LÜTHI, C. Scaling up small scale wastewater treatment systems in low- and middle-income countries: An analysis of challenges and ways forward through the case of Egypt. **Utilities Policy**, v. 52, p. 13–21, 2018.

SANTOS, R.; GUPTA, J.; POUW, N. R.; SCHWARTZ, K. Public Water Supply and Sanitation Policies and Inclusive Development of the Urban Poor in Brazil. **Water Policy**, p. 1–17, 2019.

STRANDE, L.; RONTETAP, M.; BRDJANOVIC, D. **Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation**. London: IWA, 2014, 427 p.

SUBTIL, E. L.; SANCHEZ, A. A.; CAVALHERO, A. **Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água**. Santo André: UFABC, 2016, 19 p.

SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIN, N. T. M. N. Potential of decentralized wastewater management for urban development: Case of Bangkok. **Habitat International**, v. 36, n. 1, p. 85–92, 2012.

TCHOBANOGLIOUS, G.; RUPPE, L.; LEVERENZ, H.; DARBY, J. Decentralized wastewater management: challenges and opportunities for the twenty-first century. **Water Science and Technology**, v. 4, n.1, p. 95–102, 2004.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Decentralized Systems Technology Fact Sheet Septage Treatment/Disposal**. Washington: USEPA/EPA, 1999, 7 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management guidelines**. Washington: USEPA/EPA, 2005, 64 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Onsite Wastewater treatment Systems Manual**. Washington: USEPA/EPA, 2002, 367 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2014. 452 p.

WANG, S. Values of decentralized systems that avoid investments in idle capacity within the wastewater sector: A theoretical justification. **Journal of Environmental Management**, v. 136, p. 68–75, 2014.

ZAHARIA, C. Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 108, p. 74–88, 2017.

ZHOU, X.; LI, Z.; ZHENG, T.; YAN, Y.; LI, P.; ODEY, E. A.; UDDIN, S. M. N. Review of global sanitation development. **Environment International**, v. 120, p. 246–261, 2018.

2 PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DE TANQUES SÉPTICOS E FILTROS ANAERÓBIOS NO TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NO BRASIL

2.1 INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas efetivos de tratamento de esgotos, capazes de atuar na redução do potencial poluidor dos efluentes e proteção da saúde pública, é fundamental para a manutenção das condições apropriadas de saneamento básico (MARZOUK; OTHMAN, 2017).

Para a gestão de águas residuárias dois modelos são comumente abordados, sendo eles caracterizados pela utilização de sistemas de tratamento centralizados e descentralizados (MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010).

O gerenciamento centralizado de efluentes consiste na utilização de sistemas de grande porte para o tratamento de águas residuárias em áreas altamente povoadas ou urbanizadas (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZU, 2012). Tais sistemas caracterizam-se pela utilização de avançadas tecnologias de tratamento e pela realização do tratamento e disposição das águas residuárias tratadas distantes da fonte de geração, o que acarreta elevados custos para seu estabelecimento (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012).

Os sistemas descentralizados, por sua vez, caracterizam-se por realizar a coleta, tratamento, disposição ou reúso dos efluentes tratados próximo às fontes de geração (GIKAS; TCHOBANOGLOUS, 2009). Nesse tipo de gestão os custos associados à implantação dos sistemas de tratamento são reduzidos (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009) haja vista a ausência da necessidade de construção de extensas redes coletoras e a utilização de sistemas de tratamento simplificados, que possuem baixa demanda energética.

Tais sistemas mostraram ser uma alternativa viável aos sistemas convencionais em áreas periurbanas, pequenas comunidades e assentamentos rurais (GIKAS; TCHOBANOGLOUS, 2009). Desse modo, diversos países têm utilizado estações de tratamento de esgotos descentralizadas (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

De acordo com Massoud, Tarhini e Nasr (2009) a utilização de sistemas descentralizados para o tratamento de esgotos em países em desenvolvimento é

estimulada em função dos benefícios econômicos associados a eles, tendo em vista que em tais países a economia é o critério mais importante na tomada de decisões.

As limitações técnicas e econômicas levaram vários países de renda média, como Índia, Malásia e Indonésia a utilizar sistemas de pequena escala que, em função dos menores custos de implantação, têm o potencial de acelerar a cobertura de saneamento (LARSEN et al. 2016).

No Brasil, embora não haja uma política de gestão do saneamento descentralizado, o uso de tanques sépticos é frequente, sobretudo, em residências individuais, loteamentos e condomínios habitacionais (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Para o tratamento complementar do efluente do tanque séptico, diversas opções são indicadas pela NBR 13969 (ABNT, 1997) sendo o filtro anaeróbio de leito fixo com escoamento ascendente a principal alternativa utilizada no país.

A ampla utilização de sistemas constituídos por tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios ocorre, principalmente, em função da simplicidade operacional e construtiva desses sistemas, além dos reduzidos custos de implantação (ALÉM SOBRINHO, JORDÃO, 2000; SHARMA; KHURSHEED; KAZMI, 2014). Tais sistemas apresentam bom desempenho quando são bem dimensionados e recebem a manutenção necessária. No entanto, a ausência de tais condições pode acarretar no mau desempenho dos sistemas e, conseqüentemente, na contaminação dos solos, águas superficiais e subterrâneas.

Embora diversos autores mencionem a existência de numerosos sistemas de tratamento constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios em operação no Brasil, atuando no tratamento de esgotos gerados em residências populares, rurais ou localizadas em áreas desprovidas de sistema de esgotamento sanitário, o registro de informações e dados sobre projeto e operação dessas unidades é bastante escasso, o que impossibilita a avaliação do desempenho de tais sistemas e a verificação de sua atuação efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente.

Diante disso, busca-se por meio desse estudo realizar um levantamento das ETES em operação no Brasil que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios bem como obter informações a respeito do atendimento e desempenho de tais unidades a fim de fornecer subsídios para municípios que desejam implementar tais soluções descentralizadas de saneamento.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem principal da pesquisa consistiu na investigação da aplicação e desempenho de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios como unidades de tratamento no Brasil.

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades) por meio do relatório “Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas” (ANA, 2017), tendo em vista que esse estudo fornece as informações mais recentes a respeito do saneamento do Brasil. O referido material foi elaborado a partir do levantamento de dados primários por meio de visitas de campo e reuniões técnicas com representantes de companhias estaduais, autarquias municipais e concessionárias privadas de saneamento.

A dinâmica utilizada pela ANA e SNSA/MCidades para a obtenção dos dados baseou-se na divisão dos municípios brasileiros em função de seu porte e do modelo de organização dos serviços de esgotamento sanitário.

Os municípios que não possuíam prestador de serviço institucionalizado, estando este a cargo das prefeituras municipais, foram divididos em dois grupos, a saber: i) população urbana superior a 50.000 habitantes e ii) população urbana inferior a 50.000 habitantes. Para o primeiro grupo a metodologia de obtenção de dados utilizada foi semelhante à anteriormente citada, sendo obtidos dados primários. No segundo grupo, por sua vez, as informações levantadas referem-se a dados secundários cujas fontes de consulta foram o SNIS e estudos do IBGE tais como o Censo Demográfico de 2010, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2000 e de 2008 e a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2001 a 2011.

Adicionalmente, o banco de dados obtido junto à ANA (2017) foi complementado por meio de dados brutos provenientes do estudo de Chernicharo et. al. (2018), consultas aos prestadores de serviço de saneamento municipais, informações disponíveis em documentos públicos ou ainda em páginas oficiais da web de empresas de saneamento. Isso se fez necessário uma vez que as informações oriundas da ANA abrangiam, exclusivamente, soluções de tratamento de esgotos utilizadas em sedes urbanas, não sendo avaliadas aquelas adotadas em distritos e áreas rurais.

Após a obtenção dos dados, por meio das fontes citadas, as ETEs inventariadas foram avaliadas individualmente a fim de evitar duplicidades no banco de dados

elaborado. A Tabela 2.1 indica o número de ETEs obtidas em cada uma das fontes consultadas.

Tabela 2.1 – Fonte dos dados utilizados no levantamento realizado.

Fonte consultada	Número de ETEs
ANA (2017)	225
Chernicharo et. al. (2018)	69
Outras fontes	17

O banco de dados elaborado para este estudo consistiu em informações a respeito de estações de tratamento de esgotos em operação nas cinco regiões brasileiras, dando ênfase àquelas que utilizam sistema de tratamento constituído por tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios (ETEs TS+FAN). Foram levantadas as tipologias de tratamento empregadas em cada ETE bem como as respectivas vazões de operação e projeto, população atendida e eficiência de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). As ETEs inventariadas que não possuíam nenhuma das informações anteriormente citadas não foram incluídas no banco de dados.

Todas as ETEs inventariadas pela ANA possuíam informações relativas à eficiência de remoção de DBO. Nas demais fontes consultadas, no entanto, apenas 29 ETEs disponibilizaram tal informação. Desse modo, a avaliação da eficiência as quais as ETEs operam foi realizada apenas para as 254 ETEs que possuíam as informações necessárias.

2.2.1 Cenário atual do saneamento no Brasil

Para traçar o panorama do tratamento de esgoto no Brasil a partir das fontes indicadas foi realizado a categorização das ETEs quanto às tecnologias de tratamento de esgotos e arranjos empregados em seis grandes grupos, sendo eles:

- i. Reatores anaeróbios: Reator anaeróbio (UASB), Reator anaeróbio + Decantador, Reator anaeróbio + Disposição no solo, Reator anaeróbio + Filtro aeróbio, Reator anaeróbio + Filtro anaeróbio, Reator anaeróbio + Físico-químico, Reator anaeróbio + lagoa aerada/anaeróbia/facultativa/maturação; Reator anaeróbio + lodos ativados/lodos ativados aeração prolongada;
- ii. Lodos Ativados: Lodos ativados convencional, lodos ativados com remoção de nutrientes, lodos ativados de aeração prolongada e lodos ativados em batelada;

- iii. Primário: Tratamento primário ou primário com físico-químico;
- iv. Lagoas de estabilização: Lagoa aerada, Lagoa aerada + lagoa de decantação/facultativa/maturação, Lagoa anaeróbia, Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa, Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação, Lagoa facultativa e Lagoa facultativa + lagoa de maturação;
- v. Tanques sépticos e filtros anaeróbios: Tanque séptico + filtro anaeróbio, Tanque séptico + filtro anaeróbio + sumidouro/disposição no solo;
- vi. Outros: Tanque séptico ou Tanque Imhoff sem opção de pós tratamento.

Adicionalmente, as ETEs foram categorizadas quanto à população atendida, sendo utilizados os quatro portes definidos por Chernicharo et. al. (2018), a saber: i) ETEs de pequeno porte I (atendimento a populações inferiores a 2.000 habitantes); ii) ETEs de pequeno porte II (atendimento a populações superiores a 2.000 habitantes e inferiores a 10.000 habitantes); iii) ETEs de médio porte (atendimento a populações superiores a 10.000 habitantes e inferiores a 100.000 habitantes); e iv) ETEs de grande porte (atendimento a populações superiores a 100.000 habitantes).

2.2.2 Avaliação da eficiência de remoção de DBO em sistemas de saneamento descentralizados utilizando TS+FAN no Brasil

As ETEs TS+FAN foram agrupadas quanto à região e à unidade da federação pertencente e, posteriormente foram espacializadas em ambiente SIG, utilizando o software ArcGIS 10.4.1.

Para a avaliação das eficiências de remoção as quais as ETEs operam foram utilizados gráficos *boxplot*. Tais gráficos que permitiram a visualização da distribuição dos dados, seus valores discrepantes, a disposição gráfica comparativa entre as ETEs localizadas em diferentes regiões brasileiras bem como a obtenção de medidas de estatísticas descritivas tais como valores mínimos, máximos, primeiro quartil, segundo quartil (mediana) e terceiro quartil.

As eficiências de remoção de DBO foram confrontadas com as eficiências típicas relatadas na literatura para tais sistemas bem como com as eficiências mínimas requeridas para lançamento de efluentes pela legislação ambiental vigente. De posse dessas informações foram utilizadas ferramentas de análise espacial disponíveis no software ArcGIS 10.4.1 para a quantificação das ETEs cujos sistemas operam de acordo ou não

com os valores sugeridos pela literatura consultada e legislações federais, estaduais e municipais sendo, posteriormente, gerados mapas temáticos que permitiram a rápida visualização do desempenho das ETEs quanto aos aspectos citados.

2.2.3 Avaliação de ETEs TS+FAN descentralizadas por região

A situação do esgotamento sanitário foi avaliada, individualmente, nas cinco regiões brasileiras, sendo verificadas as principais tecnologias de tratamento empregadas nas ETEs e a influência das ETEs TS+FAN em relação à vazão coletada e tratada na região e ao número de unidades existentes.

Adicionalmente, foram utilizados os dados relativos à estimativa dos investimentos necessários em coleta e tratamento de esgotos para a universalização do atendimento disponibilizados pela ANA (2017), que tem como horizonte o ano de 2035, para avaliação das demandas regionais.

A fim de verificar o impacto da infraestrutura em esgotamento sanitário existente no abatimento da carga de esgotos a ser disposta em corpos receptores foram estimadas nesse estudo as cargas orgânicas remanescentes nos efluentes após a passagem pelos sistemas de tratamento TS+FAN presentes nas diferentes regiões. Para isso, foram criados dois cenários sendo o primeiro cenário construído de acordo com as eficiências de remoção atuais as quais as ETEs TS+FAN operam e o segundo cenário considerando uma situação a qual os sistemas existentes foram reapropriados operacionalmente e atuam com a eficiência de remoção de DBO mínima de 75%, valor selecionado a partir do cálculo da eficiência média dos percentuais citados por Chernicharo (2007), ABNT (1997), Jordão e Pessoa (2017) e Von Sperling (2005).

Em relação ao cálculo do abatimento e da respectiva carga remanescente de DBO proveniente da parcela do esgoto coletado e tratado, foram utilizadas as eficiências das ETEs identificadas, considerando em cada município a população urbana atendida por esse serviço (população estimada para o ano de 2013) e a carga orgânica per capita de $0,054 \text{ kg DBO hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Por fim, foram utilizados os dados relativos à capacidade de diluição dos corpos hídricos disponibilizados pela ANA (2017) para avaliação da qualidade dos corpos hídricos pertencentes aos municípios que possuem ETEs TS+FAN e são utilizados como receptores de efluentes sanitários. Para a avaliação desse parâmetro foram utilizados pela ANA dados referentes à população, vazão de referência (Q95) dos cursos d'água, carga

orgânica remanescente e a avaliação da conformidade com as classes de enquadramento em função do parâmetro DBO, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Cenário atual do saneamento no Brasil

Os dados obtidos juntos à ANA, e complementados por meio das demais fontes, indicaram que, até o ano de 2018, encontravam-se instaladas no Brasil 2.795 ETEs que atendiam a uma população estimada de 69.832.644 habitantes. Os sistemas de tratamento empregados nas estações existentes são indicados na Figura 2.1.

Verifica-se a maior parte das ETEs em operação no país utilizam sistemas de tratamento constituído por reatores anaeróbios (seguidos ou não de pós tratamento) e lagoas de estabilização. O grande número de estações utilizando tais sistemas está associado à simplicidade operacional e aos baixos requisitos energéticos associados a eles.

De acordo com Campos (2000), em função dos baixos índices de esgotamento sanitário e o elevado custo associado à construção de sistemas de tratamento sofisticados, foram implementados no Brasil sistemas mais apropriados à realidade do país. Com isso buscou-se implementar sistemas compatíveis com a descentralização e que propiciassem a resolução dos problemas oriundos da ausência de saneamento de maneira gradual e efetiva. Segundos os mesmos autores, a opção por sistemas que empregavam processos de tratamento mais simples contribuiu para o desenvolvimento de tecnologias como reatores anaeróbios de escoamento ascendente, tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, entre outros.

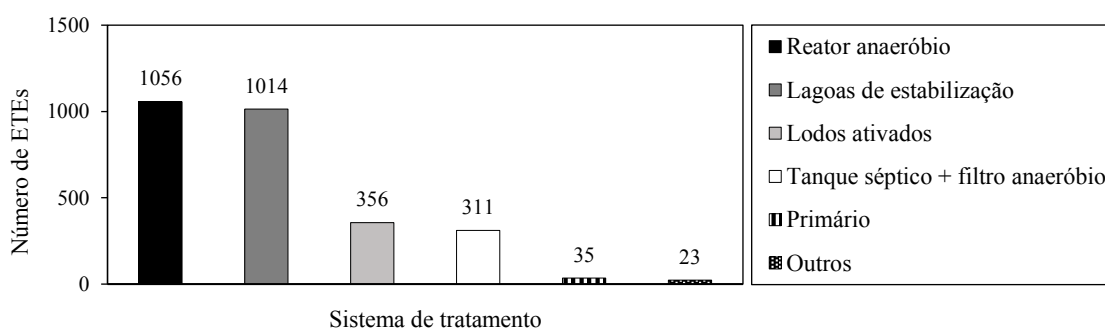


Figura 2.1 - Sistemas de tratamento empregados nas ETEs brasileiras.

Fonte: Da autora (2019).

Conforme indicado na Figura 2.2, ao avaliar as tecnologias de tratamento empregadas nas ETEs em função dos quatro portes, estabelecidos segundo Chernicharo et al. (2018), verifica-se que o número de ETEs é mais expressivo no atendimento a populações de 2.001 a 10.000 habitantes. As ETEs que atendem tal faixa populacional utilizam principalmente sistemas de tratamento constituídos por reatores anaeróbios, lagoas de estabilização e lodos ativados de modo que, somados, esses sistemas contabilizam cerca de 95% das estações avaliadas para esse porte. Em seguida tem-se o grupo constituído por ETEs de pequeno porte, que atendem a populações iguais ou inferiores a 2.000 habitantes. Para essas ETEs, em virtude da realização do tratamento de pequenas vazões de esgoto, verifica-se uma elevada participação de sistemas constituídos por tanques sépticos seguidos por filtro anaeróbios.

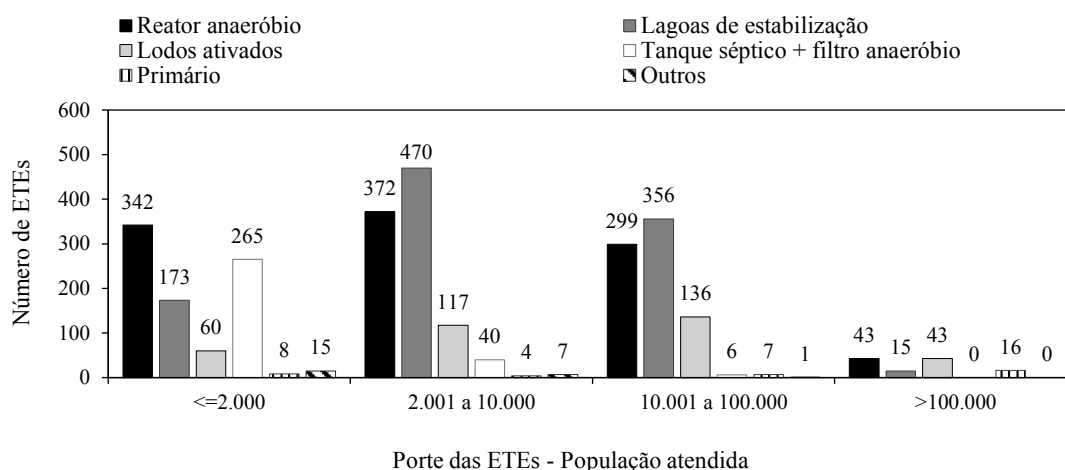


Figura 2.2 - Sistemas de tratamento utilizados no Brasil em função do porte das ETEs.

Fonte: Da autora (2019).

Segundo Noyola et al. (2012), em países da América Latina a utilização de ETEs de pequeno porte é acentuada, sendo verificadas estações que operam com vazões pequenas ($<25 \text{ L s}^{-1}$) ou muito pequenas ($<5 \text{ L s}^{-1}$), sobretudo em países como México e Brasil.

Em relação às ETEs de grande porte, responsáveis pelo atendimento a populações superiores a 100.000 habitantes, verifica-se uma menor participação das lagoas de estabilização, o que pode ser atribuído, dentre outros motivos, à menor disponibilidade de área em municípios mais populosos.

2.3.2 Sistemas de saneamento descentralizados utilizando TS+FAN no Brasil

2.3.2.1 Visão geral

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2005), o modelo de gestão descentralizada de águas residuárias é apropriado para comunidades de baixa densidade populacional, sendo mais econômico que os sistemas centralizados em tais localidades. Para Massoud, Tarhini e Nasr (2009), a maior economicidade de tais sistemas está associada à diminuição dos custos relativos à implantação de extensas redes coletoras de esgotos, que representam a maior parcela do investimento requerido para a construção de sistemas de tratamento.

Os dados publicados pela ANA (2017), relativos às estimativas de investimentos necessários para universalização do saneamento nos municípios brasileiros, confirmaram o exposto por esses autores. Conforme indicado na Figura 2.3, a parcela dos custos referentes à coleta e transporte de esgotos diminui com o aumento da população a ser atendida. Em municípios que possuem população inferior a 2.000 habitantes os investimentos associados à coleta de esgotos representam cerca de 84% do valor total necessário. Comparativamente, em municípios de grande porte, cuja população é superior a 100.000 habitantes, tais investimentos representam 63% do montante demandado.

A avaliação desses dados permite inferir que a utilização de sistemas descentralizados em municípios de pequeno porte pode ser uma alternativa para a diminuição dos elevados custos advindos da implantação de sistemas de tratamento de esgotos nessas localidades.

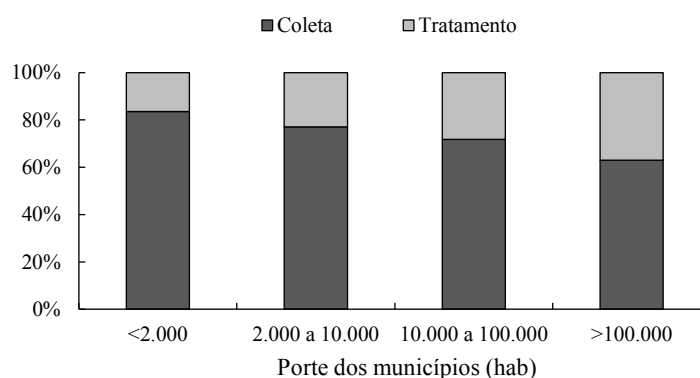


Figura 2.3 - Percentual dos investimentos em coleta e tratamento de esgotos necessários nos municípios brasileiros em função do porte.

Fonte: Da autora (2019).

Segundo Massoud, Tarhini e Nasr (2009) o tanque séptico é um sistema de tratamento comumente adotado em modelos descentralizados. No Brasil, tal sistema é amplamente utilizado, sobretudo operando com filtros anaeróbios como unidades de tratamento complementares.

De acordo com o levantamento realizado nesse estudo, atualmente encontram-se em operação no Brasil 311 ETEs que utilizam tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios. Conforme indicado na Figura 2.4 verifica-se que a maior parte das ETEs que utilizam tal sistema estão localizados nas regiões Sudeste e Sul do país, concentrando cerca 65% das estações existentes.

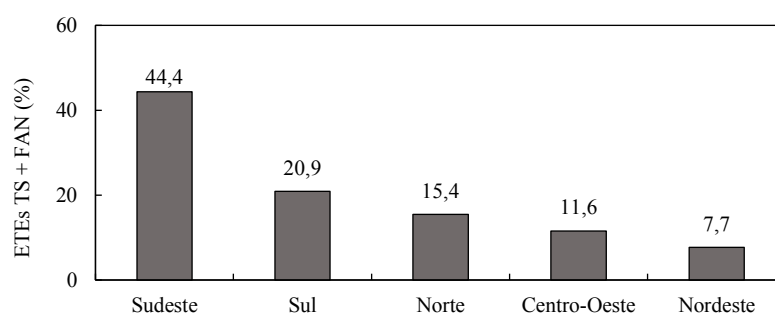


Figura 2.4 - Número de ETEs TS+FAN inventariadas por regiões no Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

Em relação à distribuição por estados da federação, foram verificadas ETEs TS+FAN em operação em 16 dos 26 estados do Brasil (Figura 2.5), destacando-se os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Amazonas por possuírem 27,7%, 19,6% e 15,4% do total de ETEs avaliadas, respectivamente (Figura 2.6).

As ETEs inventariadas realizam o tratamento de esgotos provenientes de populações de 17 a 34.000 habitantes. O maior número de estações foi verificado no tratamento de esgotos de pequenas populações inferiores a 500 habitantes, o que é justificado em função da utilização de sistemas simplificados de tratamento (Figura 2.7).

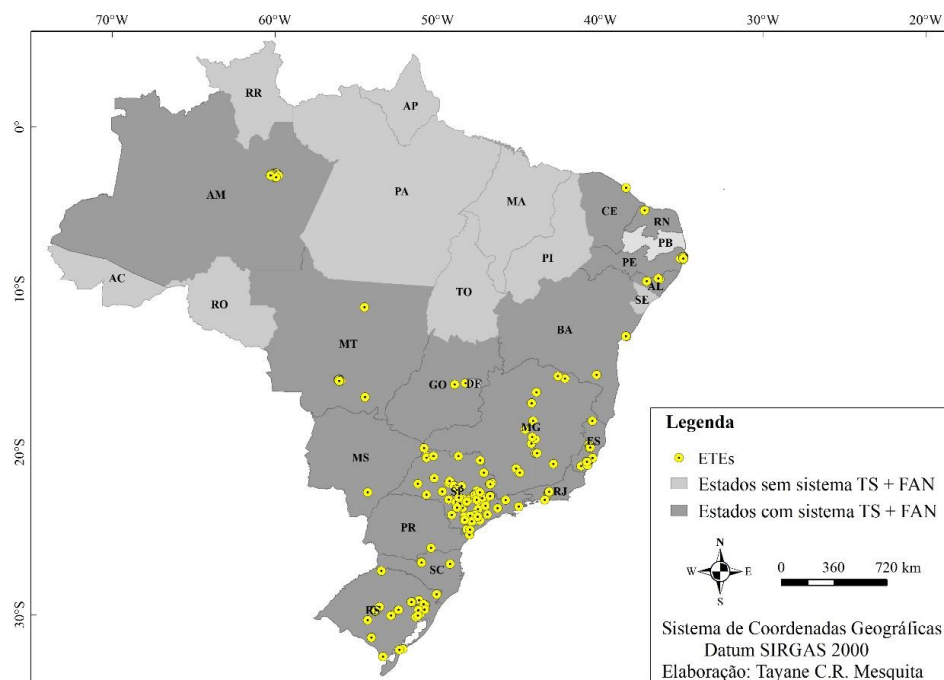


Figura 2.5- Distribuição espacial das ETes com sistema TS+FAN nos estados brasileiros.

Fonte: Da autora (2019).

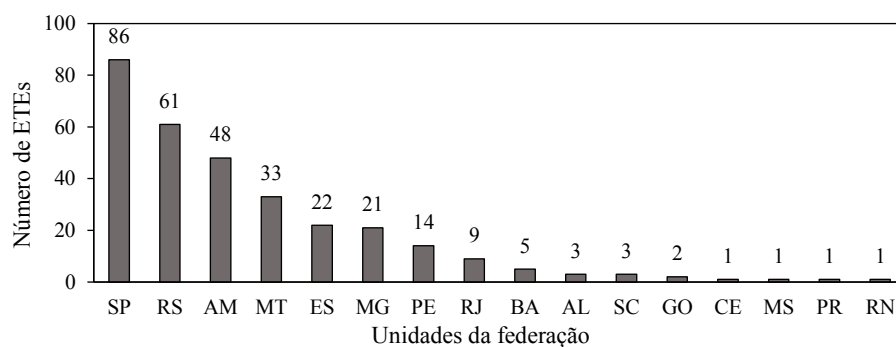


Figura 2.6 - Número de sistemas TS+FAN nos estados brasileiros.

Fonte: Da autora (2019).

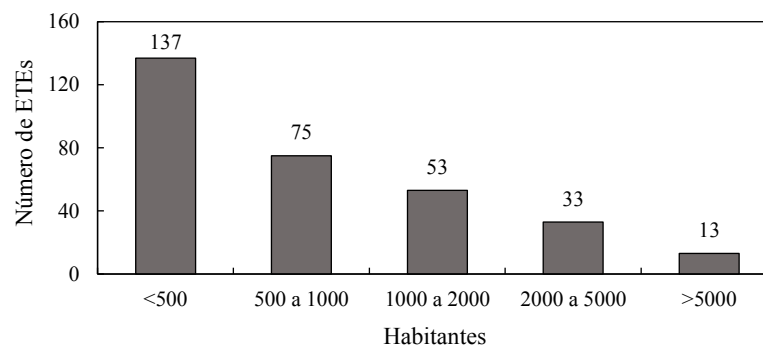


Figura 2.7 - População atendida por ETes TS+FAN em operação no Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

Chernicharo et. al. (2018), em estudo que avaliou o panorama do tratamento de esgoto sanitário em sete estados brasileiros e suas respectivas tecnologias de tratamento empregadas, identificaram que, para o atendimento de populações de até 10.000 habitantes, há uma presença marcante de sistemas compostos por tanque séptico seguido por filtro anaeróbio, representando em torno de 13% dos sistemas utilizados para tal população. Adicionalmente, foi verificado pelos mesmos autores que dentre os sistemas TS+FAN avaliados cerca de 86% são utilizados em ETEs que possuem capacidade de atendimento inferior a 2.000 habitantes. Os dados foram obtidos pelos autores por meio de consulta direta aos prestadores de serviços de saneamento nos estados avaliados

Essas informações corroboram com o observado nesse estudo ao se analisar as ETEs com o mesmo sistema abrangendo todos os estados do país, tendo sido observado que cerca de 85% das ETEs TS+FAN em operação atuam no tratamento de efluentes sanitários de até 2.000 habitantes.

As 311 ETEs TS+FAN avaliadas estão distribuídas em 117 municípios brasileiros. O município de Manaus (AM) destaca-se na utilização desse tipo de sistema, possuindo 48 ETEs em operação. Além de Manaus, os municípios de Cuiabá (MT), Bagé (RS) e Piracicaba (SP) apresentam grande número de ETEs que utilizam esse sistema, sendo catalogadas 31, 20 e 15 estações nos municípios citados, respectivamente.

2.3.2.2 Eficiência de remoção de DBO

As informações relativas às eficiências de remoção de DBO foram obtidas para 254 ETEs, tendo em vista que 57 ETEs não possuíam informações referentes a tal parâmetro. Na Figura 2.8 as eficiências de remoção estão apresentadas na forma de gráficos *boxplot*, onde são indicados os valores mínimos e máximos observados, bem como os percentis 25%, 50% e 75%.

Verifica-se que, em geral, as estações de tratamento de esgotos avaliadas apresentaram elevada variabilidade na eficiência de remoção de DBO. A heterogeneidade dos dados disponibilizados para ETEs localizadas nas mesmas regiões demográficas e em relação às outras regiões foi expressiva, sendo observados percentuais de remoção no intervalo de 26 a 98%. Tal variabilidade também foi descrita por Oliveira e Von Sperling (2011), que verificaram eficiências de remoção de DBO variando de 36 a 82% durante avaliação de 19 ETEs TS+FAN nos estados de São Paulo e Minas Gerais, e por Alvarado

et al. (2017) que obtiveram eficiências de remoção no intervalo 48 a 96% em ETES TS+FAN localizadas em áreas rurais no Equador.

Na região Norte foi verificada a maior homogeneidade dos dados, sendo observadas baixas eficiências de remoção, na ordem de 35%. Esse comportamento pode ser justificado em função de todos os dados de eficiência dessa região terem sido obtidos de uma única fonte, sendo esta a empresa Manaus Ambiental/Saneamento ambiental águas do Brasil S.A.

Assim como a região Norte, as ETES localizadas no Centro-Oeste do país apresentaram majoritariamente eficiências de remoção de até 35%, contudo, para estas foram verificadas quatro ETES operando com eficiência de remoção de DBO entre 68 e 92%, sendo estas indicadas por *outliers* na Figura 2.8.

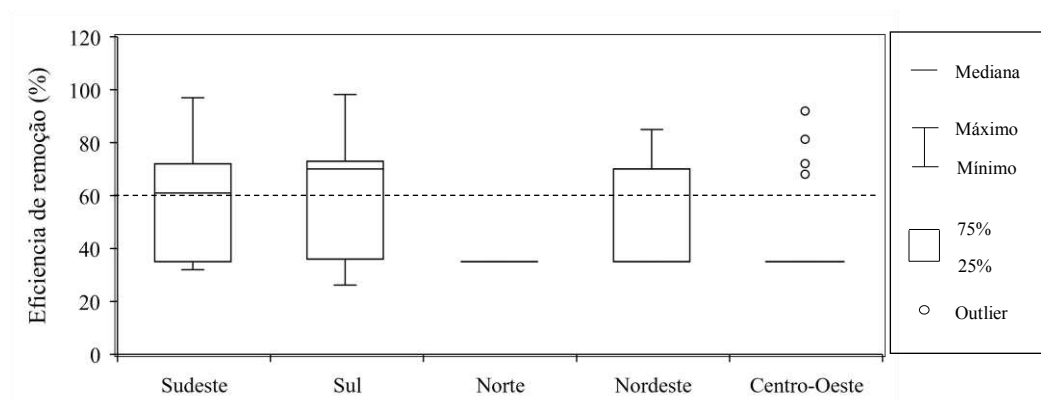


Figura 2.8 - Eficiências de remoção de DBO das 254 ETES em operação inventariadas.

Nota: ¹A linha tracejada indica a eficiência de remoção mínima requerida para o lançamento de efluentes em corpos hídricos segundo a Resolução Conama 430/2011.

²Mediana e valor mínimo da classe “Nordeste” coincidem com o percentil 25%.

Fonte: Da autora (2019).

Uma comparação entre as eficiências de remoção de DBO observadas nas ETES, nas diferentes regiões, e os valores típicos relatados na literatura para os mesmos sistemas (Tabela 2.2) foi realizada e, a partir disso, os percentuais das ETES no país que possuem eficiências superiores ou inferiores às faixas reportadas na literatura foram obtidos (Figura 2.9).

Tabela 2.2 - Eficiências de remoção de DBO reportadas na literatura para sistemas TS+FAN.

Referência	Eficiência de remoção DBO (%)
ABNT (1997)	40 a 75%
Chernicharo (2007)	75 e 85%
Jordão e Pessoa (2017)	70 a 85%
Von Sperling (2014)	70 a 90%

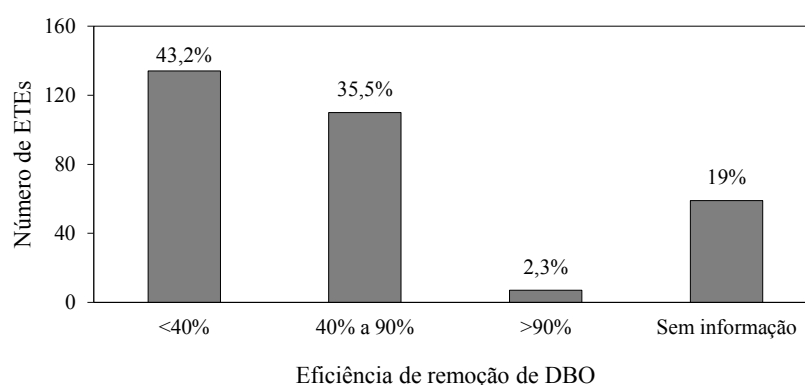


Figura 2.9 - Número de ETES em operação de acordo com a eficiência de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Verificou-se que a maior parte das ETES TS+FAN em operação no país (43,2%) possui eficiência de remoção de DBO inferior a 40%, valor este indicado pela ABNT (1997) como eficiência mínima esperada para essa concepção de tratamento. As ETES que operam abaixo da faixa de eficiência recomendada atendem a uma população superior a 223.000 habitantes e estão situadas, majoritariamente, nas regiões Norte e Centro-Oeste do país.

Salienta-se que a eficiência mínima mencionada na NBR 13.969 (ABNT, 1997) refere-se às temperaturas inferiores a 15 ° C, uma vez que os diversos processos que englobam a degradação da matéria orgânica são influenciados por fatores climáticos. Analisando-se os dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET) a respeito dos padrões climatológicos do Brasil, obtidos por meio de médias de dados climatológicos para um período consecutivo de 30 anos, verifica-se que as faixas de temperatura inferiores a 15 ° C não se aplicam a grande parte dos municípios avaliados, com exceção daqueles localizados na região Sul do país.

Ao avaliar-se a adequação das eficiências de remoção nas ETES em operação às relatadas na literatura considerando-se as condições climáticas, ou seja, eficiência mínima

de 40% somente em locais que possuem temperatura mínima inferior a 15 ° C, percebe-se um aumento no número de ETes que operam com eficiência inferior aos valores relatados na literatura, passando de 43,2% para 53,4% das estações.

Por outro lado, cerca de 28,3% das ETes avaliadas apresentaram eficiências de remoção igual ou superior às faixas indicadas na Tabela 2.2, demonstrando que os sistemas TS+FAN em escala plena, quando projetados e submetidos às rotinas operacionais e de manutenção apropriadas, são capazes de atingir os percentuais sugeridos por meio de pesquisas científicas. De acordo com Massoud, Tarhini e Nasr (2009) o bom desempenho de estações descentralizadas depende da implantação de programas de gestão que garantam que as unidades de tratamento sejam inspecionadas e submetidas a manutenções regularmente.

Na Figura 2.10 é indicada a distribuição espacial das ETes inventariadas e suas respectivas classificações em termos de eficiência de remoção de DBO. Para classificação das ETes localizadas na região Sul foi considerada a eficiência mínima indicada pela ABNT para locais onde se verificam temperaturas inferiores a 15 ° C.

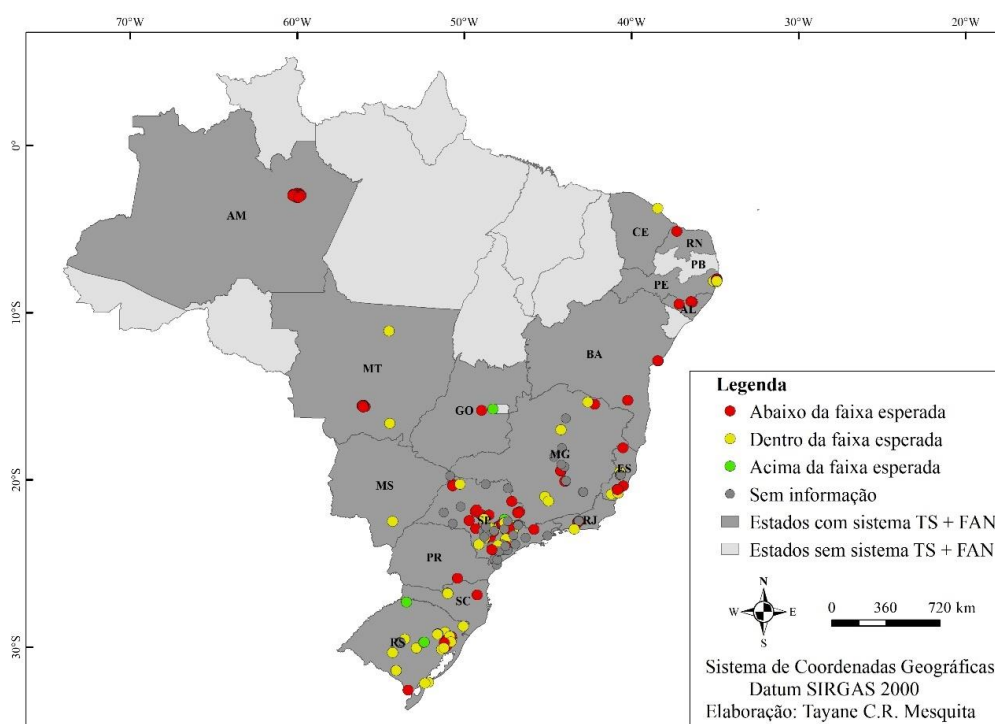


Figura 2.10 - Comparação da eficiência de remoção das ETes TS+FAN em operação e valores reportados na literatura.

Nota: Para a região Sul do país considera-se a faixa esperada de eficiência de 40 a 90%; Para as demais regiões do país considera-se a faixa esperada de eficiência de 70 a 90%.

Fonte: Da autora (2019).

A fim de avaliar a influência do porte das ETEs em seus desempenhos foi realizada uma análise agrupando as ETEs em função da população atendida, partindo do pressuposto de que ETEs maiores poderiam estar sendo melhor monitoradas e operadas.

As ETEs foram divididas em três grandes grupos, sendo estes: (i) ETEs que atendem população inferior a 500 habitantes (ii) ETEs que atendem população de 500 a 2.000 habitantes e (iii) ETEs que atendem população superior a 2.000 habitantes. O resultado de tal análise é indicado na Figura 2.11.

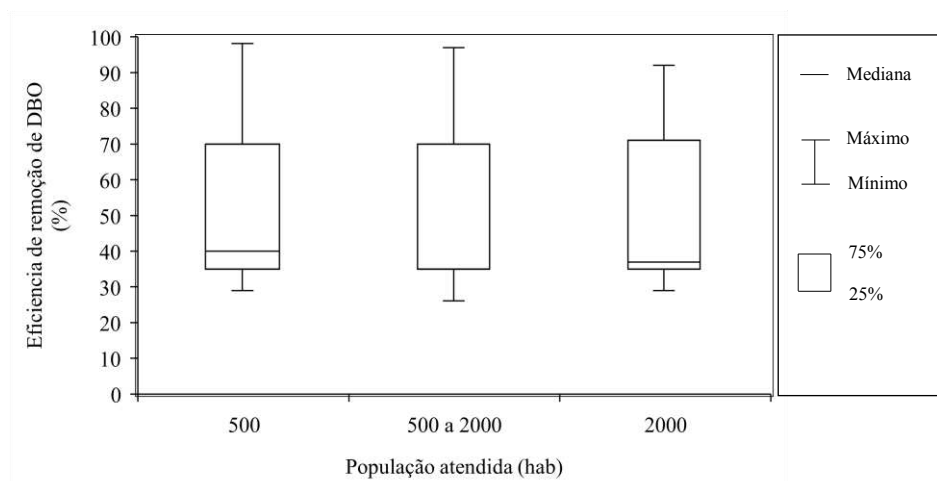


Figura 2.11 - Relação entre a população atendida pelas ETEs TS+FAN e a eficiência de remoção de DBO.

Nota: Mediana da classe “500 a 2000” coincide com o percentil 25%.

Fonte: Da autora (2019).

Embora a aplicação de sistemas simplificados, como os constituídos por tanque séptico e filtro anaeróbio, seja comumente indicada para o tratamento de esgotos de pequenas comunidades, verifica-se que o desempenho das ETEs em termos de remoção de DBO é similar nas três categorias citadas, em que 50% das ETEs em cada categoria possuem eficiência de remoção que varia de 35 a 70%. Apenas uma ligeira tendência de maiores eficiências de remoção de DBO foram observadas para as ETEs de pequeno porte (tipo i).

Ainda que a análise de eficiência não tenha indicado diferenças expressivas nas faixas de população avaliadas, os sistemas TS+FAN usualmente são indicados para populações inferiores a 1.000 habitantes. Tal indicação é baseada em fatores construtivos e econômicos haja vista que, como na maioria dos sistemas é adotada a remoção anual de lodo, para o atendimento de populações superiores à citada são requeridas unidades com grandes volumes (CHERNICHARO et al., 2001).

2.3.2.3 Avaliação do atendimento aos padrões de lançamento de efluentes

O CONAMA, órgão que rege a legislação ambiental brasileira, estabelece por meio da Resolução 430/2011 os padrões de lançamento para efluentes líquidos em corpos hídricos no território nacional. Adicionalmente, a legislação brasileira admite que estados e municípios possam suplementar a legislação. Contudo, deve-se observar o princípio da hierarquia das normas, onde a legislação federal tem primazia sobre a estadual e a municipal. Desse modo, as legislações ambientais estaduais podem estabelecer padrões mais restritivos que aqueles estabelecidos a nível federal, de acordo com as características estaduais e/ou locais.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011 os efluentes sanitários dispostos em corpos hídricos devem possuir concentração máxima de DBO igual a 60 mg L^{-1} , podendo esta ser ultrapassada em situações as quais os sistemas de tratamento de águas residuárias utilizados possibilitem a redução da carga poluidora em, no mínimo, 60% do valor inicial.

No entanto, parte dos estados brasileiros possuem legislação complementar, definindo assim seus próprios padrões de lançamento de efluentes, devendo estes serem mais restritivos que os estabelecidos pela legislação federal.

Na Tabela 2.3 são apresentadas as eficiências mínimas de remoção de DBO a serem alcançadas pelos sistemas de tratamento, em diferentes estados brasileiros, para que os efluentes possam ser dispostos em cursos de água.

Para os estados que não possuem legislação ambiental complementar foi considerado o valor estabelecido a nível federal pela Resolução CONAMA 430/2011. Alguns estados tais como Ceará (Resolução COEMA 2/2017), Mato Grosso (Resolução CONSEMA 55/2012), Rio Grande do Sul (Resolução CONSEMA 128/2006) e Paraná (Resolução SEMA 001/2007) não estabelecem em suas legislações eficiências de remoção mínima para os processos de tratamento, sendo estabelecido apenas a concentração máxima de DBO no efluente a ser lançado. Para esses estados também foram adotadas as condições estabelecidas pela legislação federal.

Nas legislações ambientais vigentes nos estados do Rio de Janeiro (Diretriz FEEMA DZ 215.R3) e Pernambuco (Normas Técnicas CPRH 2002 e CPRH 2007) a eficiência de remoção de DBO requerida é variável de acordo com a carga orgânica diária bruta (C) (kg DBO d^{-1}). Para Pernambuco as eficiências mínimas exigidas são de: 40% ($C \leq 2$); 70% ($2 < C \leq 6$); 80% ($6 < C \leq 50$) e 90% ($C > 50$). No estado do Rio de Janeiro

os valores estabelecidos são: 30% ($C \leq 5$); 60% ($5 < C \leq 25$); 80% ($25 < C \leq 80$) e 85% ($C > 80$). Para determinar as eficiências a serem utilizadas na análise foram calculadas as cargas orgânicas, para cada uma das ETEs localizadas nos estados citados, por meio da população estimada atendida e da carga orgânica per capita de 0,054 kg DBO d⁻¹.

Tabela 2.3 - Eficiências de remoção de DBO (%) exigidas para lançamento de esgoto sanitário doméstico por estado.

Estado	Eficiência de remoção mínima (%)	Referência
AL	60	Resolução CONAMA 430/2011
AM	85	Resolução CONDEMA 034/2012 ¹
BA	60	Resolução CONAMA 430/2011
CE	60	Resolução CONAMA 430/2012
ES	60	Resolução CONAMA 430/2011
GO	80	Decreto nº 1.745/1979
MG	60	DN COPAM/CERH nº 01/ 2008
MS	80	Deliberação CECA/MS nº 36/2012
MT	60	Resolução CONAMA 430/2011
PE	Variável	NT CPRH 2002 e CPRH 2007
PR	60	Resolução CONAMA 430/2011
RJ	Variável	Diretriz FEEMA DZ 215.R3
RN	60	Resolução CONAMA 430/2011
RS	60	Resolução CONAMA 430/2011
SC	80	Lei nº 14.675/2009
SP	80	Decreto nº 8.468/1976 ²

¹Legislação municipal referente a Manaus - AM

²Redação atualizada pelo Decreto 54.487/2009

Fonte: Da autora (2019).

De posse dos valores de eficiência de remoção requeridos no tratamento de esgotos para os diversos estados do país foi realizada uma análise confrontando-se tais valores com os observados nas ETEs que utilizam sistema de tratamento TS+FAN. Conforme indicado na Figura 2.12, observa-se que a maior parte das ETEs em operação no país não atendem às recomendações da legislação ambiental em termos de eficiência de remoção de DBO. Das 254 ETEs que possuem tais informações apenas 75, cerca de 30%, possuem sistemas que operam em conformidade com a legislação federal ou estadual vigente. Os dados mais alarmantes são observados no município de Manaus (AM) que, embora possua número expressivo de ETEs com sistema TS+FAN, todas operam com eficiência inferior ao recomendado pela legislação municipal, mais restritiva, assim como pela legislação federal (Figura 2.13).

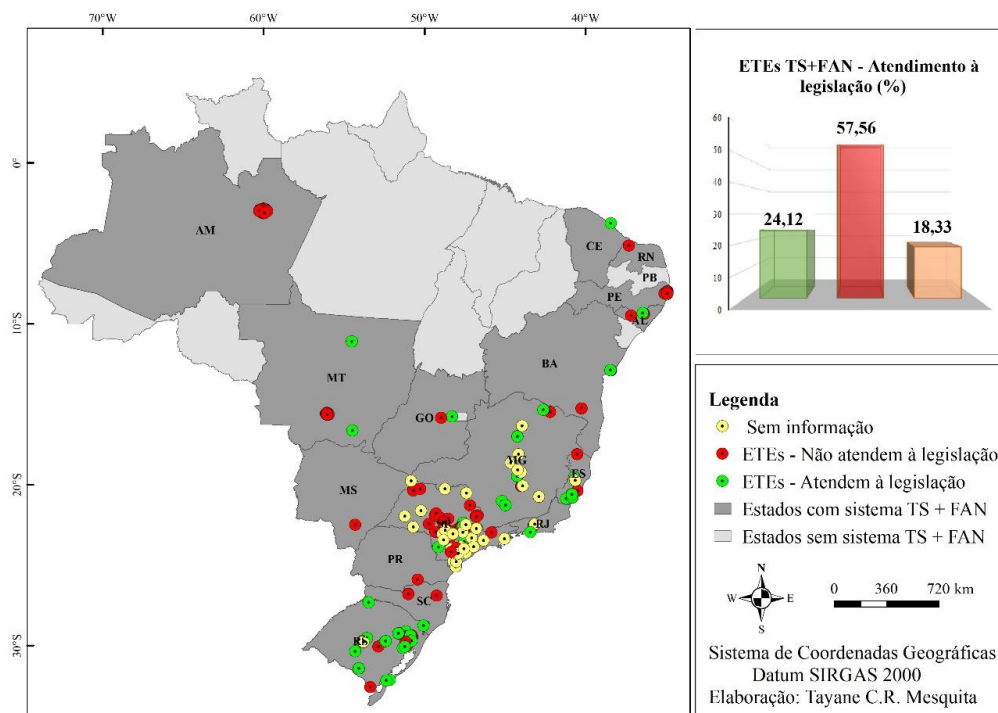


Figura 2.12 - Adequação das ETEs TS+FAN em operação no país à legislação ambiental em termos de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

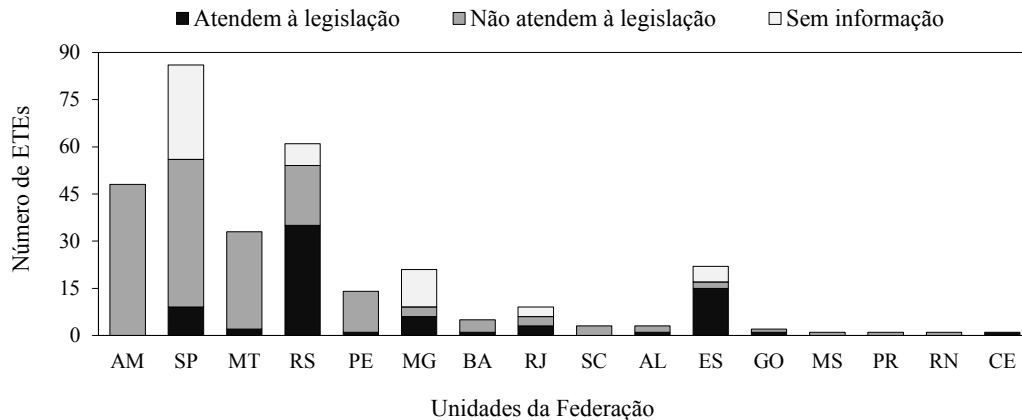


Figura 2.13 - Atendimento à legislação ambiental das ETEs TS+FAN em operação quanto à eficiência de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

A análise realizada indicou que grande parte das ETEs em operação no país fornecem efluentes em desacordo com os padrões de lançamento estabelecidos em legislação. No entanto, tais sistemas não devem ser apontados como uma solução ineficiente para o tratamento de esgotos domésticos, haja vista o desempenho das 75 ETEs operando em conformidade com os padrões estabelecidos e as demais experiências

bem-sucedidas no país, como a relatada por Pedro et al. (2015). Esses autores avaliaram a eficiência operacional de sistemas TS+FAN, com diferentes tipos de meio suporte, utilizados no tratamento de esgotos de populações ribeirinhas da Amazônia que carecem de tecnologias apropriadas de saneamento. Os resultados obtidos para os conjuntos tanques sépticos e filtros anaeróbios preenchidos com brita, principal meio suporte utilizado no Brasil, indicaram eficiências de remoção de DBO médias de 71 e 87% nas unidades avaliadas.

Além disso, experiências internacionais também têm apontado a possibilidade de obtenção de eficiências de remoção de DBO superiores à mínima requerida pela legislação ambiental brasileira. Mena-Ulecia e Hernández (2015), ao avaliar ETES situadas em regiões periurbanas no Chile, obtiveram eficiências de remoção de DBO em sistemas TS+FAN na ordem de 73%.

Muitos municípios que realizam a gestão descentralizada de efluentes optam pela utilização de tanques sépticos e filtros anaeróbios. Isso ocorre em virtude da simplicidade construtiva e operacional desses sistemas e a não exigência de mão de obra especializada para o monitoramento, o que permite o gerenciamento das águas residuárias próximo ao ponto de geração. No entanto, assim como os demais sistemas de tratamento, o desempenho desses sistemas está associado às características de projeto, instalação, manutenção e monitoramento (OLIVEIRA JUNIOR, 2013).

Desse modo, a não adequação de parte das ETES em estudo aos padrões estabelecidos pela legislação reafirmam a necessidade de maior monitoramento e atenção aos aspectos operacionais desses sistemas, tendo em vista que estes são apontados como principais fatores que interferem no êxito do tratamento de efluentes em sistemas simplificados. Ademais, para que o tratamento descentralizado de efluentes seja efetivo, é necessário que, além da verificação da eficiência de tratamento do sistema escolhido, haja a adesão da população ao sistema e a operação apropriada por parte do órgão responsável pela gestão de águas residuárias.

2.3.3 Avaliação de ETES TS+FAN descentralizadas por região

2.3.3.1 Região Norte

Situação do tratamento de esgotos

Na região Norte do país foram obtidos dados a respeito de ETEs TS+FAN em operação apenas no município de Manaus, estado do Amazonas. Nesse município foram catalogadas 48 ETEs que atendem a uma população de 40.117 habitantes e, juntas, tratam uma vazão equivalente a $55,7 \text{ L s}^{-1}$. Tal vazão corresponde a 7,1% da vazão coletada e tratada no município de Manaus e a 7,1 % da vazão coletada e tratada em todo o estado do Amazonas. Considerando-se os sete estados pertencentes à região norte do país, a vazão de esgotos tratada em sistemas TS+FAN equivale a 3% da vazão total coletada e tratada em toda a região, por meio de sistemas coletivos. Na Figura 2.14 são indicadas as tecnologias de tratamento utilizadas nas ETEs localizadas na região Norte.

Verifica-se que a maior parte (41%) das estações localizadas nessa região utilizam sistemas de tratamento constituídos por tanque séptico seguido por filtro anaeróbico, o que ocorre em função do número expressivo de ETEs com tal sistema no município de Manaus e ao pequeno número de estações de tratamento em toda a região Norte, que conta apenas com 118 estações para os 450 municípios.

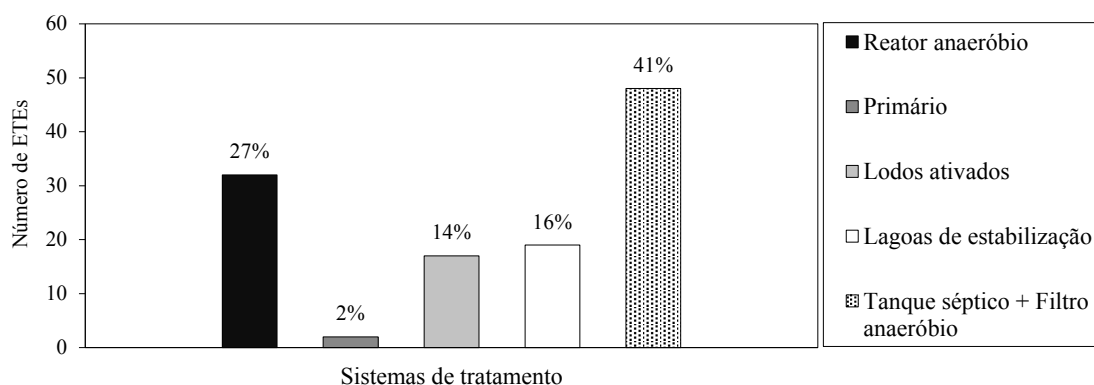


Figura 2.14 - Tecnologias de tratamento de esgotos empregadas nas ETEs localizadas na região Norte do Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

De acordo com a base de dados fornecida pela ANA (2017), o município de Manaus possui 75 estações de tratamento de esgotos em operação.

A empresa de saneamento local relata que tais estações se subdividem em dois sistemas denominados sistemas integrados e isolados. Os primeiros, que abrangem a região central da cidade, recebem em torno de 56% da vazão de esgotos gerada e realizam apenas o pré-tratamento (grades/desarenador) do efluente anterior ao seu lançamento no Rio Negro. Os sistemas isolados, por sua vez, estão dispostos ao longo de toda a cidade atendendo a conjuntos habitacionais e residenciais, cujos serviços são operados pela

concessionária de água e esgoto local. Nesses sistemas são utilizados diversos arranjos para o tratamento de esgotos tais como lagoa anaeróbia, lodos ativados, reator UASB e tanque séptico seguido por filtro anaeróbio, sendo estes utilizados em maior número (MANAUS AMBIENTAL, 2018).

A presença do elevado número de ETEs no município de Manaus pode ser associada à criação da Lei municipal nº 1.192/2007, que apresenta diretrizes a respeito de programas de tratamento e uso racional das águas nas edificações. Tal lei determina que empreendimentos localizados em áreas urbanas e de transição, desprovidas de sistemas públicos de esgotamento sanitário e cuja população seja superior a 40 habitantes, devam realizar a instalação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos, dotados de unidades de pré-tratamento, tratamento primário, secundário e desinfecção (MANAUS, 2007).

Investimentos e infraestrutura instalada

Segundo os dados publicados pela ANA (2017), a região Norte é a mais carente em termos de serviços coletivos de esgotamento sanitário no Brasil. Apenas 6% dos municípios localizados nessa região são atendidos por estações de tratamento de esgotos, o que corresponde a 11% da população total. Tal fato pode estar relacionado aos custos oriundos da coleta e tratamento de esgotos tendo em vista que, na região Norte, esses custos são cerca de 4,1 vezes maiores que nas demais regiões do país.

Adicionalmente, as estimativas do investimento necessário para a universalização do saneamento no norte do Brasil, indicam que os investimentos associados à coleta de esgotos custam 4 vezes mais do que aqueles previstos para o tratamento. De acordo com esses dados, os investimentos necessários para superar os déficits atuais nos 450 municípios foram estimados em cerca de R\$ 19,14 bilhões. Avaliando-se a população urbana residente nos municípios localizados nessa região, verifica-se que cerca de 38% dos municípios possuem população inferior a 5.000 habitantes, o que justifica o elevado montante demandado para a instalação de redes coletoras de esgotos (ANA, 2017).

Desse modo, as limitações econômicas associadas à implantação de serviços de esgotamento sanitário nessa região resultam no lançamento de esgotos nos corpos hídricos sem tratamento prévio e, conseqüentemente, comprometimento da qualidade da água dos corpos receptores.

Nesse cenário, a utilização de sistemas descentralizados para o tratamento de esgotos pode ser apontada como uma alternativa, tendo em vista que tal abordagem possibilita a diminuição dos custos associados à coleta de esgotos e a utilização de tecnologias simplificadas e de pequena escala, que são caracterizadas pela sua simplicidade em termos de manutenção (OPHER; FRIEDLER, 2016).

No entanto, para que tais sistemas possam atuar em conformidade com os atuais padrões de lançamento de efluentes estabelecidos em legislação é necessário que sejam implementados programas de monitoramento e gestão a fim de verificar e corrigir falhas operacionais, bem como realizar rotinas de limpeza das unidades.

No município de Manaus, apesar do número expressivo de ETEs, tais estações operam com eficiência de remoção de DBO inferior a 70%, estando abaixo da eficiência mínima esperada para tais sistemas reportada na literatura (Tabela 2.2) e indicado na Figura 2.15. As eficiências verificadas nas ETEs assumiram valor máximo de 35%. Tal fato aponta possíveis problemas operacionais nos sistemas tendo em vista que, de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997), a eficiência de remoção de poluentes em sistemas TS+FAN é influenciada pelas condições operacionais e grau de manutenção do sistema. Ainda, baixas eficiências de remoção podem estar relacionadas ao subdimensionamento das unidades de tratamento, onde as estações operam com uma capacidade superior à projetada.

No entanto, de acordo com os dados disponibilizados pela empresa de saneamento local, as ETEs TS+FAN do município de Manaus, que foram projetadas para realizar o tratamento de esgotos com vazão de $74,1 \text{ L s}^{-1}$, atualmente realizam o tratamento de $55,7 \text{ L s}^{-1}$ de esgotos, o que reforça a necessidade de aprimoramento nos aspectos operacionais das ETEs.

De acordo com a ANA (2017), o aporte financeiro para a implementação de soluções de esgotamento sanitário não é o único fator necessário para promover a universalização do saneamento. No Brasil existem diversos sistemas de esgotamento sanitário que foram abandonados ou possuem estruturas que nunca entraram em operação em função da ausência de capacidade institucional para a prestação dos serviços nos municípios. No município de Manaus apesar da implementação de sistemas descentralizados para o tratamento de esgotos tais sistemas não operam satisfatoriamente, o que pode estar relacionado à ausência de um gerenciamento efetivo das unidades.

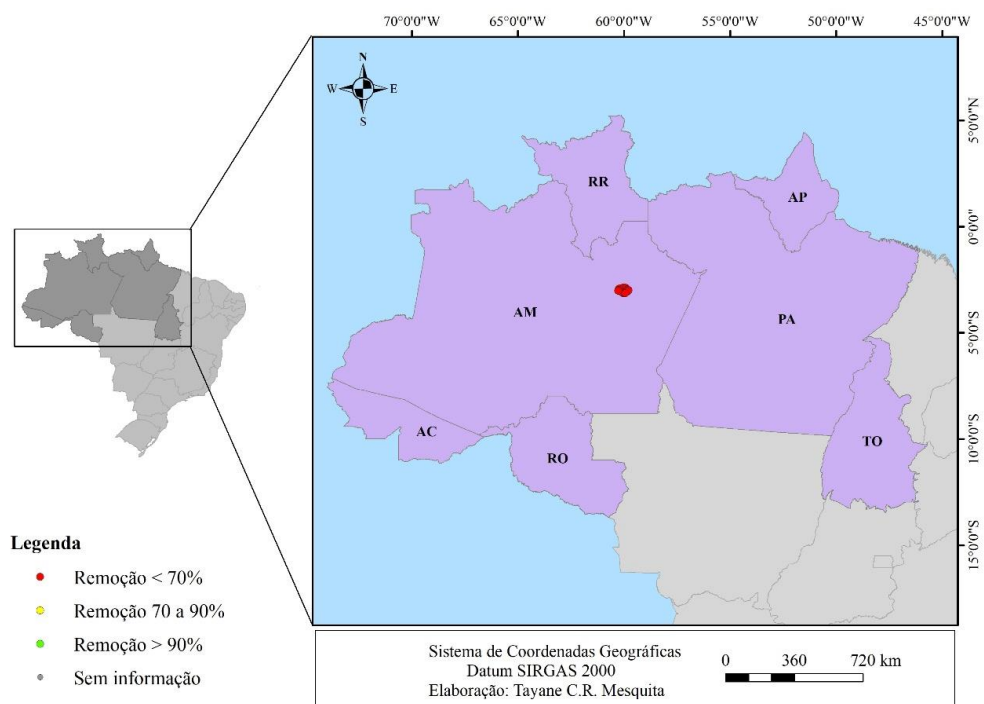


Figura 2.15 – Localização das ETEs TS+FAN em operação na região norte do Brasil e suas respectivas eficiências de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Estudo da carga orgânica nas ETEs operadas por TS+FAN

Avaliando-se as cargas de DBO geradas diariamente no Brasil verifica-se que a região Norte é responsável pela menor parcela gerada, no entanto, também é a região que possui o menor percentual de carga orgânica tratada, de modo que 67% da carga total gerada não é submetida a qualquer tipo de tratamento.

Em função dos baixos índices de esgotamento sanitário, a região Norte, comparando-se com as demais regiões do Brasil, apresenta os valores de carga remanescentes (parcela da carga de esgotos que alcança os corpos hídricos) mais próximos às cargas geradas, cerca de 79%.

Analisando-se os cenários propostos de abatimento de carga orgânica, após a passagem pelos sistemas TS+FAN, verifica-se que, no cenário atual, dos 2.166,32 kg DBO d⁻¹ afluentes às ETEs TS+FAN no município de Manaus apenas 758,21 kg DBO d⁻¹ são removidos após o tratamento (Figura 2.16).

Ao considerar o cenário alternativo, a carga removida nas estações de tratamento é ampliada para 1.624,74 kg DBO d⁻¹. Tais valores demonstram a importância da

readequação operacional das ETEs que já possuem infraestrutura instalada para a universalização do esgotamento sanitário e a mitigação dos impactos causados por essa fonte poluidora nos recursos hídricos. No atual cenário, levando-se em consideração a soma das cargas remanescentes de esgotos após a passagem pelos sistemas de tratamento existentes, estima-se que cerca de 1.408,11 kg DBO d⁻¹ possam alcançar os corpos receptores da região.

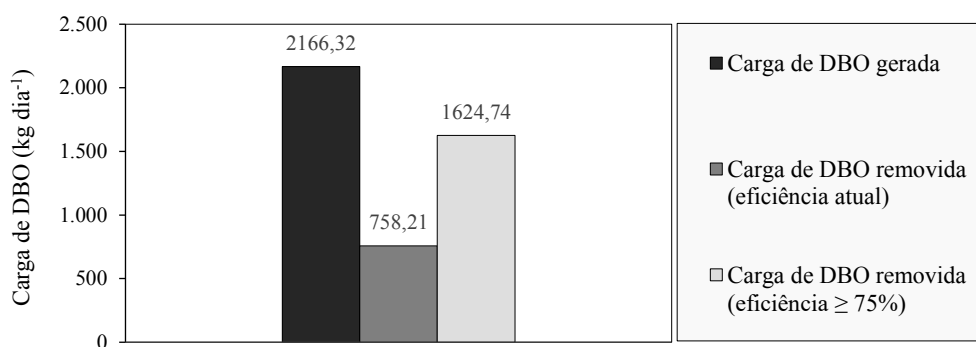


Figura 2.16 - Cargas orgânicas geradas e removidas em ETEs TS+FAN localizadas na região Norte.

Fonte: Da autora (2019).

Capacidade de diluição dos corpos hídricos

No Atlas Esgotos (ANA, 2017) além das informações referentes ao tratamento de esgotos nos municípios brasileiros foram disponibilizados dados referentes à capacidade dos corpos hídricos receptores de assimilar o esgoto produzido. Como resultado, verificou-se que na região norte do país cerca de 18,2% dos municípios dispõem de corpos receptores que não possuem vazão suficiente para a diluição da carga orgânica (capacidade de diluição ruim ou péssima) sem que seja necessário recorrer a processos de tratamento mais sofisticados, como a utilização de tecnologias de tratamento de esgotos avançadas. Em termos de contingente populacional, a população urbana residente nesses municípios é de 3.031.020 habitantes, que corresponde a cerca de 24% da população urbana total residente na região. Nos demais municípios, os corpos receptores foram classificados com capacidade de diluição ótima, boa ou regular, possuindo dessa forma vazão suficiente para diluição dos efluentes sanitários após tratamento em sistemas simplificados.

Tendo em vista a utilização de sistemas simplificados, a adoção da gestão descentralizada de tratamento de esgotos em tais municípios pode ser adotada como alternativa para o abatimento das cargas orgânicas geradas, sobretudo, nas áreas mais dispersas, distantes dos sistemas de coleta, em locais onde a capacidade dos sistemas de tratamento esteja limitada ou que não possam arcar com os custos associados ao tratamento de esgotos em sistemas centralizados.

No município de Manaus está localizada a maior bacia hidrográfica do mundo, cujo suprimento de água representa cerca de 20% de toda a água doce disponível (CASEY; KAHN; RIVAS, 2006). Em função dessa vasta disponibilidade hídrica, a capacidade de diluição dos corpos hídricos receptores nesse município é classificada como ótima/boa/regular, o que permite que os efluentes sanitários sejam tratados por meio de sistemas simplificados. No entanto, o baixo desempenho das ETEs localizadas nesse município, onde cerca de 68% das estações operam com eficiência de remoção de DBO inferior a 60%, bem como o lançamento de esgoto bruto nos córregos da cidade, faz com que a água disponível para consumo tenha sua qualidade comprometida.

Além dos problemas verificados na qualidade da água superficial em Manaus, Costa, Waichman e Santos (2004) verificaram problemas na qualidade da água subterrânea do município, que apresentou expressiva contaminação por coliformes termotolerantes em 60,5% dos poços cadastrados. Segundo os autores tal problema está relacionado à existência de níveis de água rasos bem como aos baixos índices de saneamento na região e grande presença de fossas construídas a distâncias inferiores a 20 metros dos poços de captação de água.

2.3.3.2 Região Sul

Situação do tratamento de esgotos

A região Sul do Brasil apresenta índices de coleta de esgotos inferiores à média nacional, abrangendo 54% da população urbana da região, em detrimento ao índice nacional de 61%. Em relação aos índices de tratamento, verifica-se que cerca de 40% da população tem acesso aos serviços de tratamento de esgotos, estando três pontos percentuais abaixo da média nacional.

De acordo com o banco de dados elaborado, atualmente existem 484 ETEs em operação nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os sistemas de

tratamento empregados em tais ETEs são variados, sendo verificadas ETEs que utilizam lagoas de estabilização, lodos ativados, tratamento primário com físico-químico, reatores anaeróbios e tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios (Figura 17).

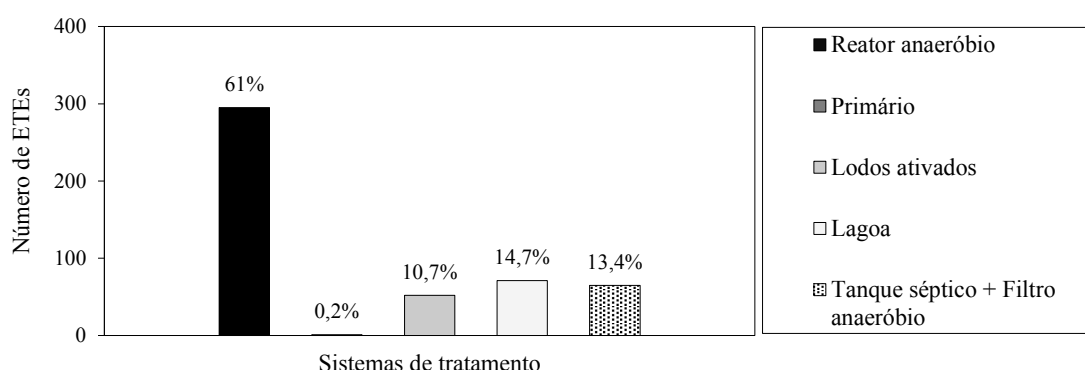


Figura 2.17 - Sistemas de tratamento utilizados nas ETEs localizadas na região Sul do Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

A utilização de tanques sépticos e filtros anaeróbios foi verificada em 65 ETEs, o que corresponde a cerca de 13,4% do número total avaliado. Tais ETEs atendem a populações que variam de 45 a 21.157 habitantes, sendo verificados em sua maioria o atendimento a pequenas populações. Por esse motivo, a vazão de esgotos tratada em ETEs TS+FAN representa apenas 1,5% da vazão coletada e submetida a algum tipo de tratamento em sistemas coletivos na região.

As estações avaliadas estão distribuídas em 25 municípios localizados, em sua maioria, no estado do Rio Grande do Sul, onde estão presentes 92% das ETEs TS+FAN.

O município de Bagé (RS) destaca-se na utilização de ETEs TS+FAN, possuindo 20 estações que utilizam tal sistema. Nesse município são utilizados sistemas independentes de coleta e tratamento de esgotos, compostos por redes separadoras na maior parte dos bairros residenciais (DAEB, 2018). Toda a vazão de esgotos que é submetida a tratamento é encaminhada a sistemas descentralizados que realizam o tratamento por meio de tanques sépticos e filtros anaeróbios, sendo responsáveis pelo atendimento a uma população de 20.852 habitantes.

A utilização de sistemas descentralizados pode ser considerada uma alternativa importante para a ampliação dos serviços coletivos de saneamento no Rio Grande do Sul, tendo em vista que existem no estado 215 municípios de pequeno porte onde mais de 50% da população reside em áreas rurais. Nessas áreas é verificada uma baixa densidade

populacional, o que dificulta a implementação de serviços de coleta e tratamento de esgotos centralizados (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

No estado de Santa Catarina foram catalogadas três ETEs, localizadas nos municípios de Caçador e Indaial, que utilizam sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios. No município de Caçador apenas 4,7% do esgoto total produzido é conduzido para estações coletivas de tratamento, sendo a parcela restante disposta diretamente nos cursos d'água ou encaminhada para soluções individuais, que utilizam tanques sépticos como unidades de tratamento. As ETEs TS+FAN presentes no município realizam o tratamento de cerca de 0,6% do esgoto gerado.

Em relação ao município de Indaial, 20% do esgoto gerado é encaminhado para tratamento em uma ETE TS+FAN. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do município (INDAIAL, 2011) há previsão de instalação de outras ETEs em bairros que não são atendidos pelos serviços de esgotamento sanitário, sendo previstos investimentos caracterizados pela implantação de sistemas de tratamento coletivos ou individuais com a utilização de tanques sépticos e filtros anaeróbios ou sistemas de infiltração no solo.

De acordo com os dados levantados, o estado do Paraná possui apenas uma ETE TS+FAN localizada no município de São Mateus do Sul. Embora usualmente sistemas TS+FAN sejam projetados para o atendimento de pequenas populações, nesse município, a ETE atende, atualmente, 11.280 habitantes e possui capacidade instalada para o atendimento de cerca de 24.000 habitantes. A estação realiza o tratamento de 41,4% do esgoto produzido no município e, segundo as alternativas técnicas avaliadas pela ANA para o ano de 2035, tal parcela poderá ser ampliada para 62,6% desde que sejam adotadas práticas operacionais que possibilitem o aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica para valores condizentes com o preconizado pela legislação.

Investimentos e eficiência da infraestrutura instalada

De acordo com a ANA (2017), na região Sul do Brasil predominam soluções de tratamento de esgotos de menor complexidade, com exceção dos municípios que possuem maior densidade demográfica ou daqueles localizados em regiões de cabeceiras. Ainda, verifica-se que cerca de 69% dos municípios que realizam o tratamento de esgoto na região possuem duas ou mais estações de tratamento em operação, o que sugere a adoção de modelos descentralizados de gestão.

Para a universalização do saneamento nos 1.191 municípios pertencentes à região Sul são estimados, considerando como horizonte de planejamento o ano de 2035, custos na ordem de R\$ 16,6 bilhões, sendo este o terceiro maior montante entre as cinco regiões do Brasil. Desse montante, verifica-se que, de maneira similar ao observado em todo o país, o investimento associado à coleta e transporte de esgotos é superior a aquele relacionado ao tratamento, sendo verificado que cerca de 76,5%, 72,1% e 66,5% do investimento total é correspondente à custos com coleta para os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, respectivamente (ANA, 2017).

Em relação à utilização de sistemas TS+FAN nas estações de tratamento de esgoto, verifica-se que cerca de 21% das ETES brasileiras que utilizam tais sistemas estão localizadas na região sul do país. As eficiências de remoção de DBO as quais essas ETES operam são variadas, sendo observados valores de 26 a 98% (Figura 2.18). Quatro estações de tratamento apresentam eficiências de remoção superiores a 90%, valor correspondente ao limite superior da faixa de eficiências esperadas para sistemas TS+FAN indicada em literatura (Tabela 2.2). A maior parte das ETES avaliadas apresenta eficiência de remoção no intervalo de 40 a 90% e cerca de 28% possuem eficiência de remoção inferior a 40%.

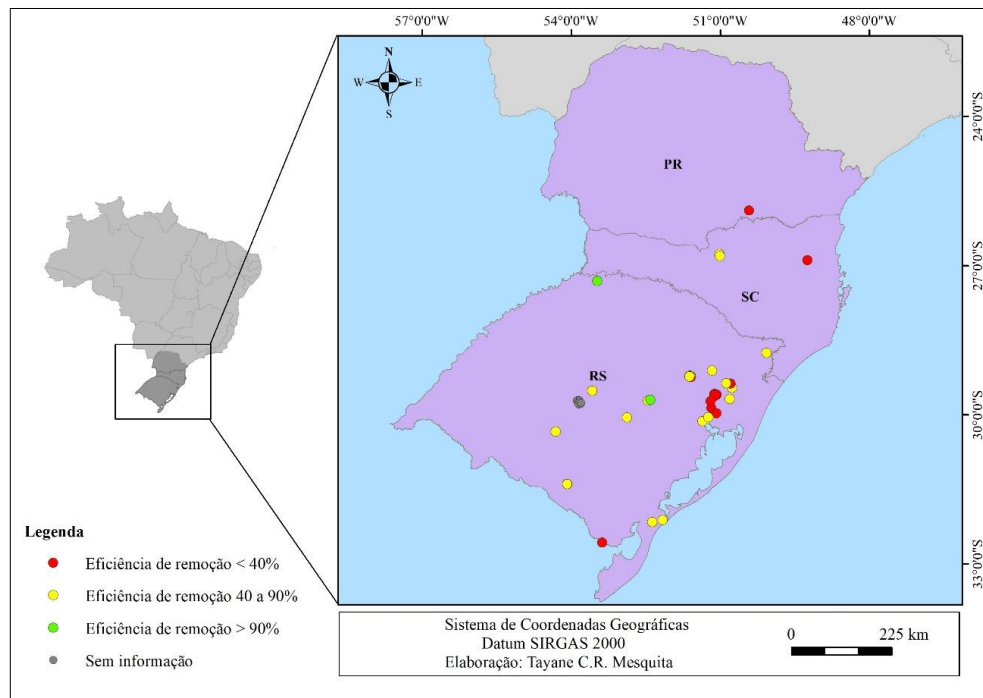


Figura 2.18 - Localização das ETES TS+FAN em operação na região sul do Brasil e suas respectivas eficiências de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Entre as ETEs que possuem eficiência de remoção inferior a 40%, 16 possuem dados a respeito da vazão adotada para o dimensionamento das unidades de tratamento e vazão de operação atual. Por meio da comparação desses dados verifica-se que 6 ETEs, localizadas no município de Dois Irmãos (RS), operam com vazão de esgotos superior à sua capacidade e 4 ETEs recebem esgotos com a vazão máxima suportada.

A utilização de vazões superiores à capacidade instalada em uma ETE acarreta na diminuição da eficiência das unidades de tratamento, tendo em vista a diminuição do tempo de retenção hidráulica (TRH) do efluente. O TRH também pode ser reduzido em função do comprometimento do volume útil dos tanques, ocasionado devido à ausência de rotinas operacionais para a remoção de sólidos. Esses fatores, aliados à ausência de monitoramento das estações, influenciam na qualidade do efluente final e colocam em risco o bom funcionamento de sistemas simplificados. Segundo Teixeira et al. (2018) a utilização de ETEs descentralizadas no atendimento de pequenas comunidades é uma alternativa para a redução da poluição dos corpos hídricos, no entanto, sem o monitoramento apropriado, tais ETEs podem apresentar riscos à qualidade da água.

Estudo da carga orgânica nas ETEs operadas por TS+FAN

A Região Sul apresenta expressivos déficits de atendimento aos serviços de esgotamento sanitário, de modo que 35% do esgoto gerado não recebe qualquer tratamento. Adicionalmente, a carga de esgotos remanescente na região representa cerca de 54% da carga domiciliar urbana gerada, considerando-se o abatimento das cargas em função dos diferentes níveis de eficiência das ETEs. Apesar de expressiva, tal parcela é inferior ao observado em todo o país, em que a carga remanescente representa 61% da carga total gerada. Este déficit nos serviços de esgotamento sanitário nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela expressiva de carga poluidora atingindo os corpos hídricos e, conseqüentemente, causando implicações negativas à qualidade da água.

Avaliando-se o impacto da infraestrutura das ETEs TS+FAN existentes na região Sul, em termos de abatimento da carga de esgotos, verifica-se que há uma remoção de cerca de 51% da carga orgânica após a passagem do efluente nas estações. Tal parcela pode ser ampliada por meio de ações corretivas que visem readequar operacionalmente as ETEs para que elas possam operar de acordo com a eficiência de remoção esperada (75%).

Para o cenário atual verifica-se que 7.925 kg DBO são gerados diariamente pela população atendida pelas ETEs TS+FAN (Figura 2.19). Deste valor, cerca de 4.007 kg DBO são removidos após o tratamento. Ao considerar o cenário alternativo, a carga removida nas estações de tratamento é ampliada para 6.076 kg DBO. No atual cenário, estima-se que 3.918 kg DBO d⁻¹ efluentes das ETEs TS+FAN possam alcançar os corpos hídricos receptores da região. Tal valor poderia ser reduzido para cerca de 1.849 kg DBO d⁻¹ por meio da adoção de medidas corretivas que permitissem o incremento na eficiência de remoção de acordo com o cenário alternativo avaliado.

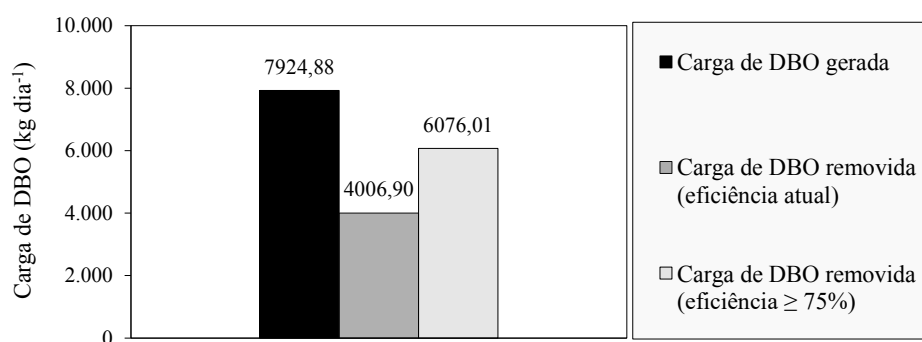


Figura 2.19 - Cargas orgânicas geradas e removidas em ETEs TS+FAN localizadas na região Sul avaliando-se diferentes cenários.

Fonte: Da autora (2019).

Capacidade de diluição dos corpos hídricos

De acordo com avaliação realizada pela ANA (2017), na região Sul, assim como nas regiões Sudeste e Centro-oeste, as cidades com maior contingente populacional estão localizadas em regiões cujos corpos hídricos receptores apresentam capacidade de diluição dos efluentes ruim ou péssima. Por esse motivo, nessas cidades é necessária a adoção de técnicas de tratamento mais sofisticadas, que possibilitem uma maior remoção de poluentes, a fim de não comprometer a qualidade da água para os diversos usos.

Por outro lado, cerca de 73% dos municípios localizados na região Sul dispõem de corpos receptores que possuem vazão suficiente para a diluição da carga orgânica, desde que sejam adotados sistemas de tratamento que operem com eficiência de até 60% (rios com capacidade de diluição boa) ou de 60 a 80% (rios com capacidade de diluição regular). Em termos de contingente populacional, a população urbana residente nesses municípios é de 6.972.808 habitantes, o que corresponde a cerca de 29% da população urbana total residente na região.

Entre os municípios que possuem ETEs TS+FAN na região Sul, 43% possuem corpos hídricos com capacidade de diluição ruim ou péssima onde, para atender as exigências de lançamento para rios classe 2 ou 3, faz-se necessário o atendimento de eficiências de remoção superiores a 90%. Nos demais municípios os corpos hídricos não apresentam grandes problemas relacionados à capacidade de diluição dos efluentes lançados, podendo atender os requisitos necessários para lançamento em rios classe 2 com a utilização de sistemas capazes de remover 60% da carga gerada.

2.3.3.3 Região Sudeste

Situação do tratamento de esgotos

A região Sudeste apresenta os melhores índices de coleta de esgotos do país, abrangendo 83% da população urbana da região, em detrimento ao índice nacional de 61%. O melhor desempenho também é verificado em relação aos índices de tratamento, onde cerca de 54% da população tem acesso aos serviços coletivos de tratamento de esgotos, enquanto a média nacional é de apenas 43%.

Foram catalogadas 1.321 ETEs em operação nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, que utilizam diversos sistemas para o tratamento de esgotos, tais como lagoas de estabilização, lodos ativados, tratamento primário com físico-químico, reatores anaeróbios, tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios, entre outros (Figura 2.20).

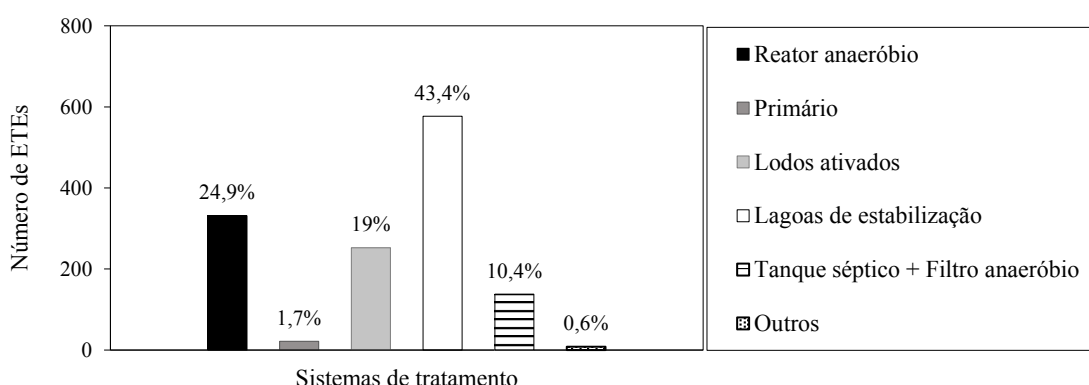


Figura 2.20 - Sistemas de tratamento utilizados nas ETEs localizadas na região Sul do Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

O maior número de ETEs TS+FAN avaliadas no país foi verificado na região Sudeste, que conta com 138 estações, correspondendo a 44,4% do número total avaliado. Apesar do grande número de estações que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios, tais unidades representam apenas 10,4% dos sistemas utilizados em toda a região, onde a utilização de lagoas de estabilização é predominante.

As ETEs TS+FAN inventariadas atendem a populações que variam de 17 a 5.748 habitantes, sendo verificado que cerca de 70% atendem a populações inferiores a 1.000 habitantes. O atendimento a pequenas populações em detrimento aos sistemas de grande porte, que realizam o tratamento de esgotos de um acentuado número de habitantes, faz com que a vazão de esgotos tratada em ETEs TS+FAN seja a menor entre os sistemas listados, representando apenas 0,2% da vazão coletada e submetida a algum tipo de tratamento em sistemas coletivos na região.

As estações avaliadas estão distribuídas em 75 municípios localizados, em sua maioria, no estado de São Paulo, que conta com 80 ETEs TS+FAN. Nesse estado, o município de Piracicaba apresenta o maior número de estações, sendo contabilizadas 15 ETEs TS+FAN que atendem a uma população total de 4.408 habitantes.

Além das ETEs TS+FAN, Piracicaba (SP) conta com outras 13 estações que realizam o tratamento de esgotos em diversos bairros. A gestão descentralizada no tratamento de esgotos mostrou-se eficiente nesse município, tendo em vista que o atual índice de atendimento da população com coleta e tratamento de esgotos é de 100%. Por esse motivo, Piracicaba é um dos municípios que lideram o Ranking Abes da Universalização de Saneamento, apresentando o segundo melhor desempenho entre as cidades brasileiras que possuem população superior a 100 mil habitantes (ABES, 2018).

A utilização de sistemas TS+FAN no tratamento de esgotos em pequenas comunidades no estado de São Paulo não é recente, sendo verificados estudos que avaliaram o desempenho de tais sistemas desde a década de 1980 (VIEIRA; ALEM SOBRINHO, 1983). Kamiyama (1993) realizou um levantamento e avaliação dos sistemas TS+FAN implementados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), tendo em vista a frequente utilização desses sistemas em comunidades de pequeno porte, as quais a empresa não dispunha de funcionários de dedicação exclusiva para a manutenção e operação das unidades de tratamento. Nesse levantamento foi constatado pelo autor que, em função da ausência de inspeção e monitoramento, os sistemas implantados tiveram seu funcionamento interrompido ou operavam em condições precárias após um a três anos de funcionamento. Aliado a isso,

a ausência de dispositivos que facilitassem o acompanhamento do desempenho dos sistemas tais como pontos de coleta de amostras e medidores de vazão, foram citados pelo autor como uma das causas da escassez de dados acerca do comportamento dos sistemas implantados.

O estado do Espírito Santo apresenta o segundo maior número de ETEs TS+FAN da região Sudeste, possuindo 22 estações, seguido pelos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, que possuem 21 e 9 ETEs, respectivamente.

Investimentos e eficiência da infraestrutura instalada

A presença de grandes aglomerados urbanos densamente habitados na região Sudeste resulta na necessidade de se realizar elevado investimento financeiro para universalizar os serviços de esgotamento sanitário, de modo que o investimento estimado para essa região representa cerca de 29% do montante necessário para todo o país (ANA, 2017).

O investimento de R\$ 43,5 bilhões, em sua maioria, é destinado a 612 municípios que, em função da capacidade de diluição dos cursos d'água receptores, precisam realizar o tratamento de esgotos com eficiência de remoção de matéria orgânica superior a 80%. Entre os estados pertencentes à região Sudeste, São Paulo demanda a maior parte dos investimentos, que representam cerca de 45% do valor estimado para toda a região.

Os custos advindos da coleta e tratamento de esgotos apresentam maior similaridade na região Sudeste do que nas demais regiões do país, de modo que 57% estão associados à coleta e 43% ao tratamento. Tal característica pode ser conferida em função da maior densidade populacional e concentração em áreas urbanas nessa região, tendo em vista que o maior número de beneficiários em uma área resulta, como consequência das economias de escala e de densidade, em menores custos com a provisão de serviços (EGGIMANN; TRUFFER; MAURER, 2016; WANG 2014). Por outro lado, em pequenas regiões, onde verifica-se uma menor densidade populacional, a utilização de sistemas centralizados de coleta e tratamento de esgotos é dispendiosa. Tal fato acarreta um elevado número de pessoas sem acesso aos serviços de esgotamento sanitário, tendo em vista que nos países em desenvolvimento a economia é o critério mais importante na tomada de decisões (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

Na região Sudeste do Brasil 45% dos municípios não possuem sistemas coletivos de tratamento de esgotos e, de acordo com dados populacionais do SNIS (2013), em 70% desses municípios a população urbana é inferior a 10.000 habitantes. A implementação

de sistemas centralizados para essas pequenas localidades que, por vezes, apresentam domicílios dispersos resulta em altos custos que podem limitar o acesso da população residente aos serviços de saneamento. Nesse sentido, a utilização de sistemas descentralizados que utilizam sistemas simplificados para o tratamento de esgotos pode ser uma alternativa para o atendimento dessas regiões.

Eggimann, Truffer e Maurer (2016), em estudo que avaliou a utilização de sistemas centralizados e descentralizados para o tratamento de esgotos em uma comunidade de 1.500 habitantes, verificaram que a utilização de sistemas descentralizados foi mais econômica em função da utilização de menor rede coletora, tecnologia simples e custos adicionais limitados. Em termos de eficiência de tratamento, os autores relataram que os sistemas descentralizados avaliados apresentaram potencial para o desenvolvimento urbano sustentável, o que foi obtido em função das boas práticas operacionais adotadas e manutenção frequente dos sistemas.

A ausência de tais práticas em sistemas centralizados ou descentralizados resulta em um baixo desempenho das unidades de tratamento, onde a eficiência de remoção de poluentes pode ser comprometida.

De acordo com os dados divulgados pela ANA (2017), no Brasil, apenas 14% das cidades apresentam índices de remoção de DBO superiores a 60%, estando a maioria dessas cidades concentrada na região Sudeste.

Em relação à eficiência do tratamento em ETEs TS+FAN verifica-se que 26,2% das estações avaliadas possuem eficiência de remoção de DBO no intervalo de 70 a 90%; 37,9% eficiência inferior a 70%; 1,4% eficiência superior a 90% e 34,5% não possuem informações a respeito de tal parâmetro (Figura 2.21). O elevado número de estações que não possuem informações a respeito do desempenho das unidades de tratamento está associado à ausência de programas de monitoramento de efluentes, sobretudo, em regiões rurais ou pequenas comunidades que não dispõe de funcionários responsáveis pela operação dos sistemas.

Considerando-se apenas as ETEs que possuem informações de eficiência, o percentual de ETEs que operam com eficiência dentro da faixa recomendada pela literatura é aumentado para 40%, sendo este o melhor entre as demais regiões do país (com exceção da região Sul, onde a faixa de eficiência apontada na literatura é de 40 a 90%). O maior número de estações que possuem eficiência inferior a 70% está localizado no estado de São Paulo, que possui 21 estações operando com eficiência de 35% e 1 estação com eficiência de 32%.

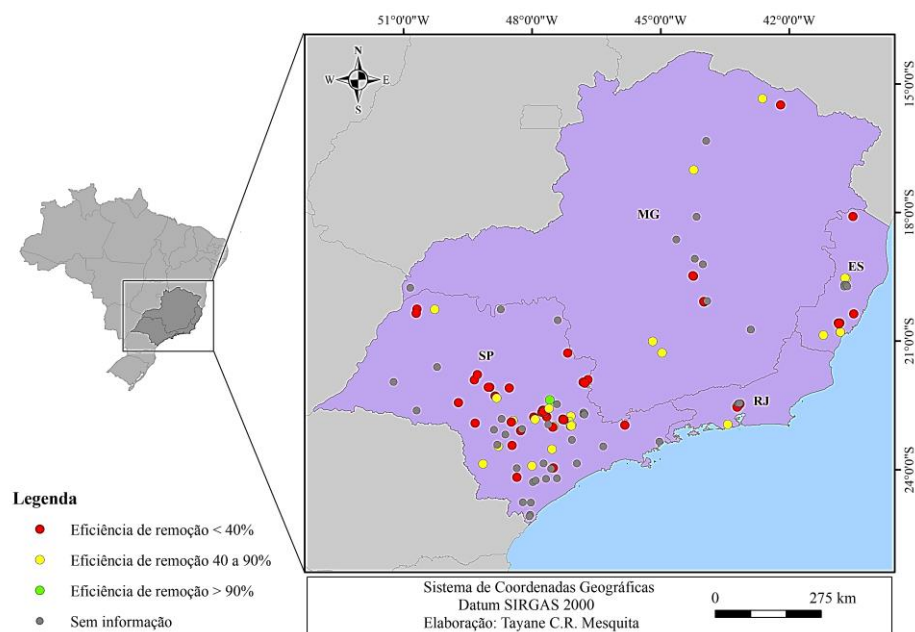


Figura 2.21 - Localização das ETETs TS+FAN em operação na região Sudeste do Brasil e suas respectivas eficiências de remoção de DBO.

Estudo da carga orgânica nas ETETs operadas por TS+FAN

A região Sudeste, apesar de possuir a melhor cobertura em serviços de coleta e tratamento de esgoto, apresenta a maior carga orgânica remanescente do país. A carga estimada de 2,3 mil toneladas de DBO d^{-1} representa 41,5% do valor total do país, o que está diretamente relacionado com a dinâmica populacional da região, que concentra o maior número de habitantes entre as demais regiões brasileiras.

Em relação à população atendida por ETETs TS+FAN, estima-se que cerca de 4.753 kg DBO são gerados diariamente e, em função do abatimento das cargas após passagem pelos sistemas de tratamento, tal valor seja reduzido para 1.977 kg DBO d^{-1} , o que representa uma eficiência de remoção de cerca de 58%. Avaliando-se o cenário alternativo proposto verifica-se que a remoção de carga orgânica após passagem pelas unidades de tratamento seria equivalente a 77% do valor gerado (Figura 2.22). Tal incremento resultaria na redução de 874 kg DBO d^{-1} lançados nos corpos receptores.

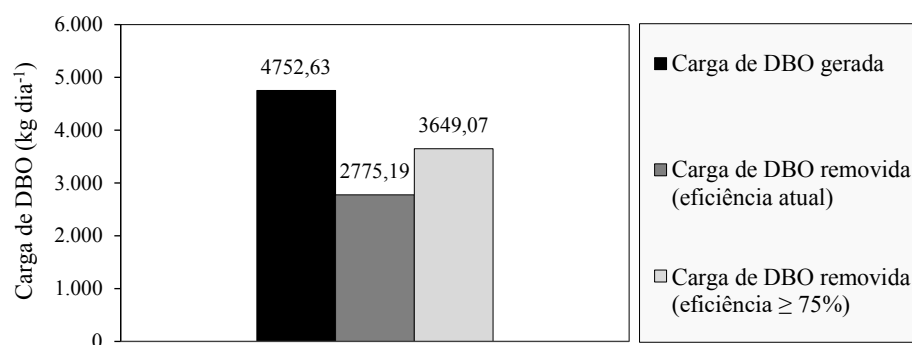


Figura 2.22 - Cargas orgânicas geradas e removidas em ETEs TS+FAN localizadas na região Sudeste avaliando-se diferentes cenários.

Fonte: Da autora (2019).

Capacidade de diluição dos corpos hídricos

O maior contingente populacional da região Sudeste está localizado em cidades que possuem corpos receptores cuja capacidade de diluição é considerada ruim ou péssima. Por esse motivo, essa região contém a segunda maior concentração de municípios que requerem soluções mais complexas para o tratamento de esgotos.

Avaliando-se a capacidade de diluição dos corpos hídricos receptores nos municípios que possuem ETEs TS+FAN verifica-se que cerca de 43% dos municípios possuem corpos hídricos cuja capacidade de diluição é classificada como ruim ou péssima de modo que, para atender as exigências de lançamento para rios classe 2 ou 3, é necessário que sejam atingidas eficiências de remoção de DBO mínimas de 90%. Apenas 1 município possui capacidade de diluição nula, cujo corpo receptor é efêmero ou intermitente. Para os demais municípios, que apresentam capacidade de diluição ótima ou ilimitada, o lançamento de efluentes em rios classe 2 pode ser realizado desde que o sistema de tratamento apresente eficiência mínima de 60%. Ainda, nos casos de regiões litorâneas, é apontada a possibilidade de disposição marítima.

Em relação à qualidade da água nos municípios que possuem ETEs TS+FAN, uma avaliação do Índice de Qualidade de Água (IQA), realizada pela ANA no ano de 2014, abrangeu parte desses municípios e indicou que 22% dos cursos d'água apresentavam qualidade considerada regular, ruim ou péssima e 78% qualidade boa ou ótima.

2.3.3.4 Região Centro-Oeste

Situação do tratamento de esgotos

Na região Centro-Oeste do Brasil quase toda a parcela de esgotos coletada é submetida a algum tipo de tratamento, de modo que apenas 1,7% da vazão coletada na região não é tratada. No entanto, a região também possui déficits expressivos no atendimento, tendo em vista que cerca de 44% do esgoto gerado diariamente não é coletado.

A região conta com 271 ETEs em operação, distribuídas em 140 municípios, que utilizam como principais sistemas de tratamento reatores anaeróbios, tratamento primário e primário seguido de físico-químico, lodos ativados, lagoas de estabilização e tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios, conforme indicado na Figura 2.23.

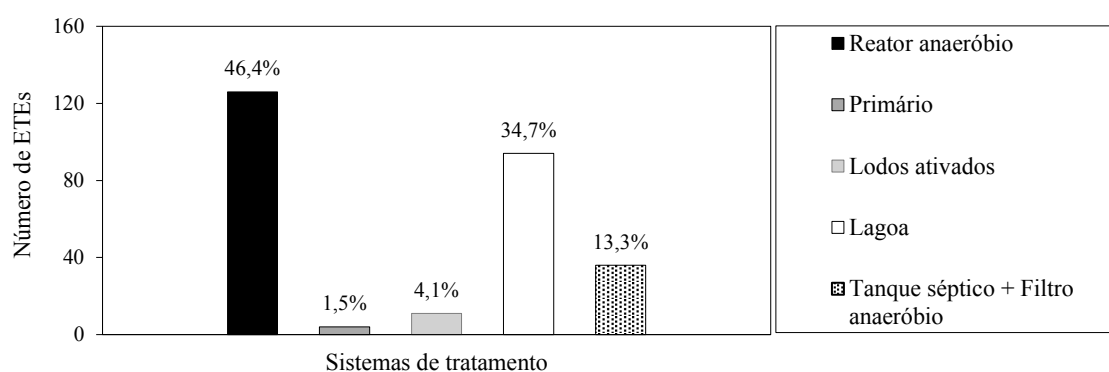


Figura 2.23 - Sistemas de tratamento utilizados nas ETEs localizadas na região Centro-Oeste do Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

As ETEs que possuem sistema constituído por tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios representam 13,3% dos sistemas empregados na região, sendo contabilizadas 36 ETEs TS+FAN que atendem a uma população estimada de 14.090 habitantes e tratam uma vazão equivalente a $53,06 \text{ L s}^{-1}$. Tais ETEs atendem majoritariamente pequenas populações, sendo verificado que cerca de 86% das estações recebem esgotos gerados por população inferior a 500 habitantes. Por esse motivo, a vazão tratada em sistemas TS+FAN representa apenas 0,4% da vazão coletada e tratada nas quatro unidades federativas da região Centro-Oeste.

As ETEs TS+FAN contabilizadas localizam-se nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, sendo este o responsável por 92% das unidades. O município de Cuiabá (MS) é o segundo município do país com o maior número de ETEs TS+FAN, possuindo 31 estações em operação. A vazão tratada nessas estações é equivalente a 3,6% da vazão coletada e tratada no município, sendo responsável pelo atendimento a uma população de 5.904 habitantes. Além das ETEs TS+FAN, Cuiabá conta com outras 21 ETEs que juntas constituem o modelo de tratamento descentralizado do município.

Apesar do elevado número de ETEs TS+FAN, o estado do Mato Grosso apresenta déficits expressivos em relação aos serviços de esgotamento sanitário, de modo que cerca de 64% da vazão de esgotos gerada no estado não é sequer coletada.

As demais ETEs avaliadas encontram-se localizadas nos municípios de Pirenópolis (GO), Águas Lindas de Goiás (GO), Jateí (MS), Marcelândia (MT) e Pedra Preta (MT) de modo que nesses municípios, com exceção de Jateí (MS), as ETEs TS+FAN recebem todo o esgoto coletado que é submetido a tratamento anterior ao seu lançamento nos corpos hídricos.

Investimentos e eficiência da infraestrutura instalada

De acordo com dados da ANA (2017), para que a universalização dos serviços de esgotamento sanitário seja alcançada no ano de 2035 nos 467 municípios pertencentes à região Centro-Oeste, estima-se que sejam necessários investimentos na ordem de R\$ 19,95 bilhões, estando 75,7% desse valor associado à coleta e 24,3% ao tratamento.

O Estado de Goiás requer o maior volume de investimentos previstos para a região, 44,4% do total, seguido pelos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal que demandam 26,3%, 17,1% e 12,2% dos investimentos, respectivamente. Dentre esses, o Mato Grosso é o estado com maior demanda de investimento em transporte de esgoto, de modo que cerca de 80% dos investimentos previstos estão associados aos serviços de coleta.

Verifica-se que na Região Centro-Oeste 68% dos municípios não possuem sistemas coletivos de tratamento de esgoto e, dentre eles, cerca de 62% possuem população inferior a 5.000 habitantes. Nesses municípios, o investimento necessário para promover a universalização dos serviços de esgotamento sanitário é da ordem de R\$ 1,9 bilhão, sendo 84% desse valor relativo aos custos com coleta de esgotos. Esse percentual

encontra-se acima da média nacional, que prevê que 68% do investimento em saneamento seja destinado à coleta e transporte de esgotos.

Tal fato está relacionado à dinâmica populacional observada em municípios de pequeno porte, que tendem a apresentar uma menor densidade populacional em virtude da maior dispersão da população residente. Desse modo, em relação aos aspectos econômicos, os sistemas descentralizados podem ser favorecidos em tais municípios, tendo em vista que as economias de escala associadas a sistemas centralizados são perdidas em municípios de pequeno porte (JUNG; NARAYANAN; CHENG, 2018).

Em relação ao desempenho das ETES TS+FAN já instaladas na região Centro-Oeste, verifica-se que, assim como verificado no município de Manaus (AM), apesar do número expressivo de ETES TS+FAN localizadas no município de Cuiabá (MS), as unidades de tratamento operam com baixa eficiência de remoção de DBO, sendo verificados valores inferiores a 40%, conforme indicado na Figura 2.24. Tais valores estão abaixo da eficiência mínima de tais sistemas reportada na literatura (Tabela 2.2). Em função dessas estações não possuírem informações a respeito dos dados de projeto, as causas da baixa eficiência verificada podem estar relacionadas tanto a problemas operacionais quanto ao subdimensionamento das unidades de tratamento.

Nos demais municípios foram verificadas três ETES que operam com eficiência de remoção de DBO condizente com a faixa indicada na Tabela 2.2, sendo verificados percentuais de 72%, 73% e 81% e um município que apresenta eficiência de 92%, sendo esta superior à faixa relatada. Avaliando-se os dados a respeito da vazão de projeto, disponibilizados pelas concessionárias locais, verifica-se que das ETES anteriormente citadas duas operam com vazão inferior à capacidade instalada, duas com a vazão máxima projetada e uma não possui informações a respeito da vazão adotada em projeto.

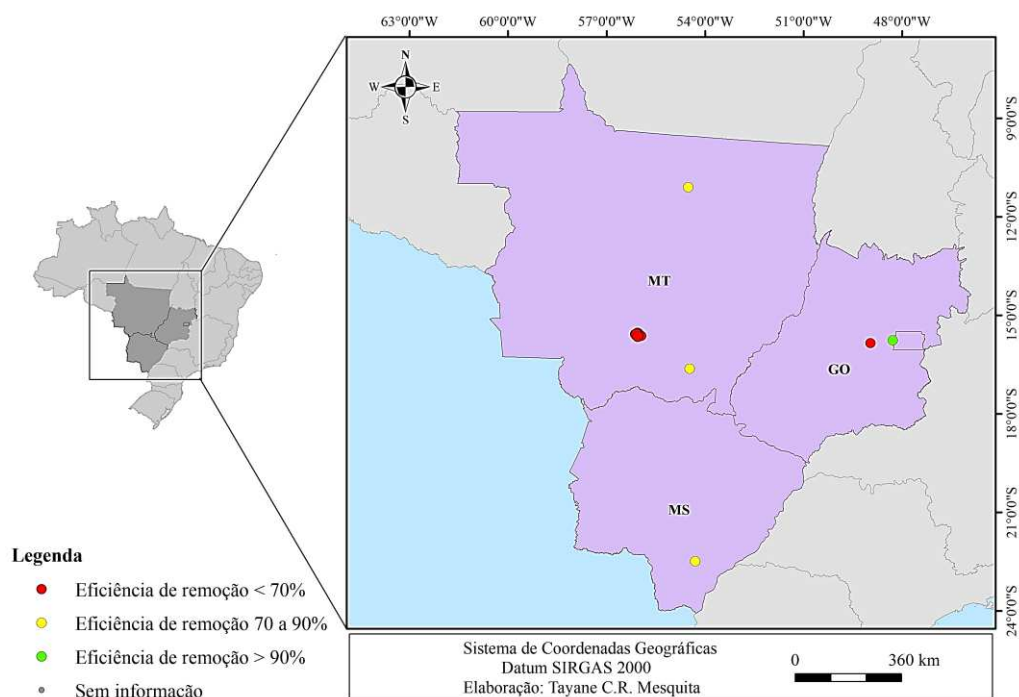


Figura 2.24 - Localização das ETEs TS+FAN em operação na região Centro-Oeste do Brasil e suas respectivas eficiências de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Estudo da carga orgânica nas ETEs operadas por TS+FAN

A região Centro-Oeste apresenta a menor carga orgânica remanescente do Brasil, que corresponde a menos de 7% do valor total estimado para o país. Adicionalmente, a remoção de carga orgânica nessa região é equivalente a 48% da carga gerada enquanto a nível nacional tal remoção é de cerca de 39%.

O melhor desempenho em relação às demais regiões do Brasil se dá em função do maior índice de população com atendimento apropriado verificado nessa região, que se baseia nos conceitos no PLANSAB ao considerar como apropriado o saneamento por meio de soluções individuais ou soluções coletivas de coleta e tratamento dos esgotos.

Avaliando-se a carga orgânica gerada pela população atendida pelas ETEs TS+FAN localizadas na região, verifica-se que cerca de 761 kg DBO são gerados diariamente (Figura 2.25). Considerando-se o abatimento das cargas resultante da passagem do esgoto pelos tanques sépticos e filtros anaeróbios, tal valor é reduzido para 334 kg DBO d⁻¹, o que representa uma remoção de cerca de 56% da carga inicial.

No cenário alternativo proposto, após a passagem do esgoto pelas unidades de tratamento pode haver uma redução de 76% da carga orgânica inicial, desse modo, cerca de 183 kg DBO d⁻¹ podem alcançar os corpos hídricos, em detrimento aos 334 kg DBO d⁻¹ verificados no cenário atual.

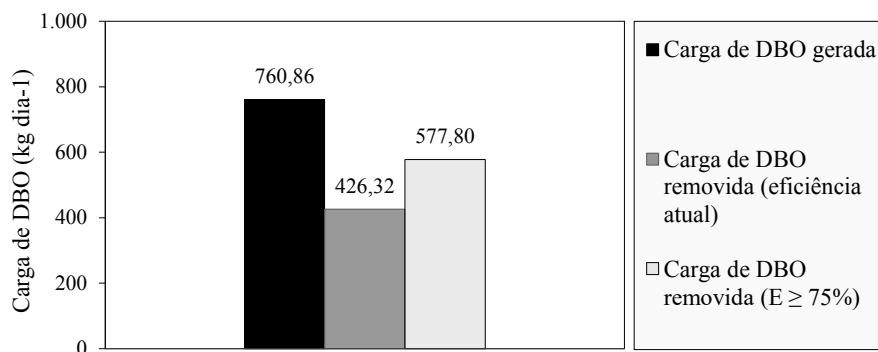


Figura 2.25 - Cargas orgânicas geradas e removidas em ETEs TS+FAN localizadas na região Centro-Oeste avaliando-se diferentes cenários.

Fonte: Da autora (2019).

Capacidade de diluição dos corpos hídricos

Verifica-se que 67% dos municípios que possuem ETEs TS+FAN na região Centro-Oeste dispõe de corpos receptores com capacidade de diluição de esgotos ótima/boa/regular. Nesses municípios são verificados corpos hídricos que, em função de sua disponibilidade hídrica e das cargas orgânicas recebidas, não apresentam problemas para diluição de efluentes (capacidade de diluição ótima) e que, para atender a classe de enquadramento 2 prescrita na Resolução CONAMA n° 357/2005, requerem uma remoção da carga orgânica de até 60% (capacidade de diluição boa) ou de 60 a 80% (capacidade de diluição regular).

As ETEs TS+FAN localizadas nos municípios anteriormente citados operam com eficiência remoção de DBO de 68 a 81%, apresentando, desse modo, eficiência compatível com a requerida pelos corpos hídricos da região.

Por outro lado, 33% dos municípios possuem corpos receptores com capacidade de diluição ruim/péssima, que requerem uma remoção prévia da carga orgânica de 90 a 97% ou de 90% para atender as exigências de qualidade de rios classe 2 e 3, respectivamente. Nesse grupo encontra-se o município de Cuiabá (MT), que apresenta o maior número de ETEs TS+FAN no Centro-Oeste, cujos sistemas operam com eficiência

remoção de DBO máxima de 40%, sendo esta inferior à requerida para manutenção da qualidade da água do corpo receptor.

De acordo com uma avaliação da qualidade da água, realizada pela ANA em 2014, os rios Coxipó e Cuiabá, que recebem parte do efluente gerado no município de Cuiabá (MT), apresentaram em média águas com IQA considerado razoável. Nessa avaliação é possível verificar a deterioração da qualidade da água após o recebimento dos efluentes oriundos das ETEs TS+FAN, onde os valores médios do IQA sofrem uma redução, passando de 70 para 59.

O município de Águas Lindas de Goiás (GO) também possui em suas proximidades corpos hídricos com capacidade de diluição ruim ou péssima, no entanto, a ETE TS+FAN localizada nesse município apresenta eficiência de remoção de 92%, sendo esta compatível com os percentuais exigidos.

2.3.3.5 Região Nordeste

Situação do tratamento de esgotos

Na região Nordeste do Brasil a parcela da população atendida com serviços de coleta de esgoto é de 43% e, desse valor, apenas 32% dispõem de tratamento apropriado do esgoto coletado. Por esse motivo, o Nordeste possui um dos piores índices de esgotamento sanitário do país, sendo este superior apenas ao verificado na região Norte.

De acordo com os dados levantados pela ANA (2017) e complementados nesse estudo, a região conta com 601 ETEs em operação, que utilizam diversos sistemas de tratamento, destacando-se os reatores anaeróbios e lagoas de estabilização que estão presentes em cerca de 45% e 44% das ETEs existentes, respectivamente (Figura 2.26). No entanto, em termos de vazão tratada, os sistemas constituídos por lagoas de estabilização e tratamento primário são predominantes de modo que, juntos, recebem 64,5% da vazão total coletada e submetida a algum tipo de tratamento na região.

Em relação à utilização de tanques sépticos e filtros anaeróbios na região, foram obtidos dados de 24 estações em operação, que representam 4% das ETEs existentes. Tais estações recebem, atualmente, uma vazão de esgotos de 111 L s^{-1} , referente à população atendida de 78.045 habitantes. Em termos de vazão, as ETEs TS+FAN recebem cerca de 0,7% da vazão destinada a tratamento na região. Diferente do observado nas demais regiões brasileiras, no Nordeste as ETEs TS+FAN majoritariamente atendem a

populações superiores a 500 habitantes, sendo verificado que cerca de 88% das estações recebem o esgoto gerado por populações que variam de 500 a 5.000 habitantes e 4% de populações superiores a 5.000 habitantes.

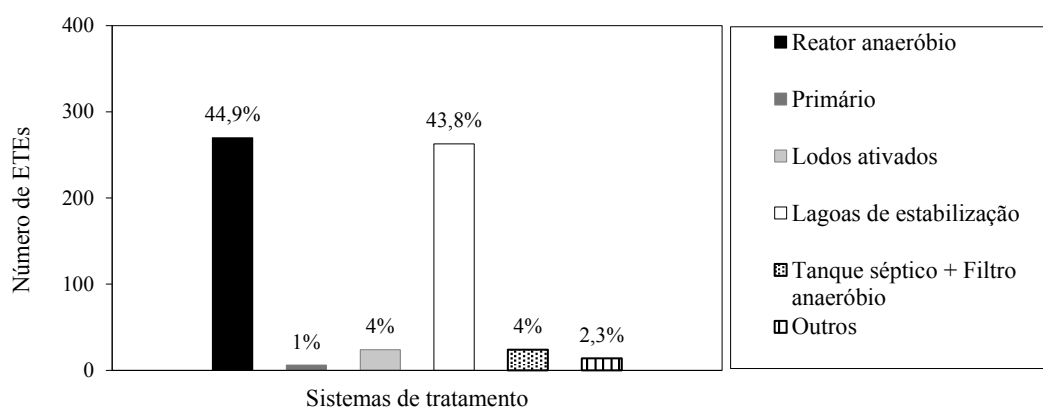


Figura 2.26 - Sistemas de tratamento utilizados nas ETEs localizadas na região Nordeste do Brasil.

Fonte: Da autora (2019).

O estado do Pernambuco dispõe do maior número de ETEs TS+FAN na região, possuindo 58% das estações, que atuam no tratamento de 2,3% da vazão de esgotos tratada do estado. Nesse estado, as ETEs em operação estão localizadas nos municípios de Moreno, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Recife, sendo este destaque na utilização de tanques sépticos e filtros anaeróbios, possuindo nove estações. Além das ETEs TS+FAN, Recife conta com outras 20 estações distribuídas na região metropolitana do município.

As demais estações catalogadas estão localizadas nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, que possuem uma estação cada, e nos estados do Alagoas e Bahia, que possuem três e cinco estações, respectivamente.

Em consulta realizada junto ao Governo do Estado do Ceará foi disponibilizada uma listagem das ETEs em operação no estado que utilizam sistemas TS+FAN como unidades de tratamento. Na referida listagem constam 139 ETEs TS+FAN distribuídas em áreas urbanas e rurais do estado. As ETEs localizam-se majoritariamente no município de Fortaleza, que conta com 100 ETEs em operação.

Apesar do expressivo número de ETEs TS+FAN localizadas nesse estado, não existem informações referentes à população atendida por tais estações, bem como de vazões de projeto e operação. Ainda, nessas estações não é realizado monitoramento referente a eficiência de remoção de DBO. A ausência de informações básicas

impossibilitou a inclusão de tais ETEs nas análises realizadas nesse estudo. Esse fato evidencia que sistemas simplificados, tais como TS+FAN, são por vezes, negligenciados no Brasil, não havendo quaisquer acompanhamentos de seus desempenhos.

Investimentos e eficiência da infraestrutura instalada

O investimento necessário para universalizar os serviços de esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil foi estimado em R\$ 49,7 bilhões, o que corresponde a 33% do valor demandado para todo o país. Desse valor, cerca de 70% é previsto para implantação de rede coletora.

Os estados de Pernambuco, Bahia e Ceará são apontados como os que necessitam de maior investimento, de modo que, juntos, eles representam 56% dos recursos necessários para a região.

De acordo com a ANA (2017) o elevado montante demandado na região Nordeste está associado aos baixos índices de cobertura e à alta ocorrência de rios intermitentes ou efêmeros, característica essa que lhe é conferida em função da sua localização no semiárido brasileiro.

Para os municípios que possuem ETEs TS+FAN o investimento demandado é de cerca de R\$ 7,1 bilhões, sendo 80% desse valor referente aos municípios de Fortaleza, Jaboatão dos Guararapes e Recife. Em relação aos custos associados à coleta de esgotos, nos municípios de Olivença e Mossoró estima-se que mais de 80% do investimento necessário deva possuir tal destinação.

Avaliando-se o desempenho das ETEs TS+FAN localizadas no Nordeste, verifica-se que cerca de 71% das estações operam com eficiência de remoção de DBO inferior a 70%, estando estas majoritariamente situadas no município de Recife (Figura 2.27). Tais ETEs não dispõem de informações relativas aos parâmetros adotados para dimensionamento das unidades de tratamento. As demais estações atuam com eficiência de remoção condizente com os limites esperados para sistemas TS+FAN (Tabela 2.2), sendo verificados percentuais de 70 a 85% de remoção.

Apenas as ETEs localizadas nos municípios de Salvador (BA), Moreno (PE) e Olinda (PE) apresentam dados a respeito da capacidade instalada das unidades, de modo que, nos primeiros municípios, as estações recebem vazões que não excedem o valor projetado e no último, as ETEs operam acima da capacidade instalada. Apesar disso, as estações localizadas em Olinda apresentam bom desempenho em termos de remoção de

DBO (eficiência de 85%), o que pode estar associado às práticas operacionais adotadas, como a limpeza das unidades e remoção do lodo de excesso em um intervalo de tempo menor que o projetado.

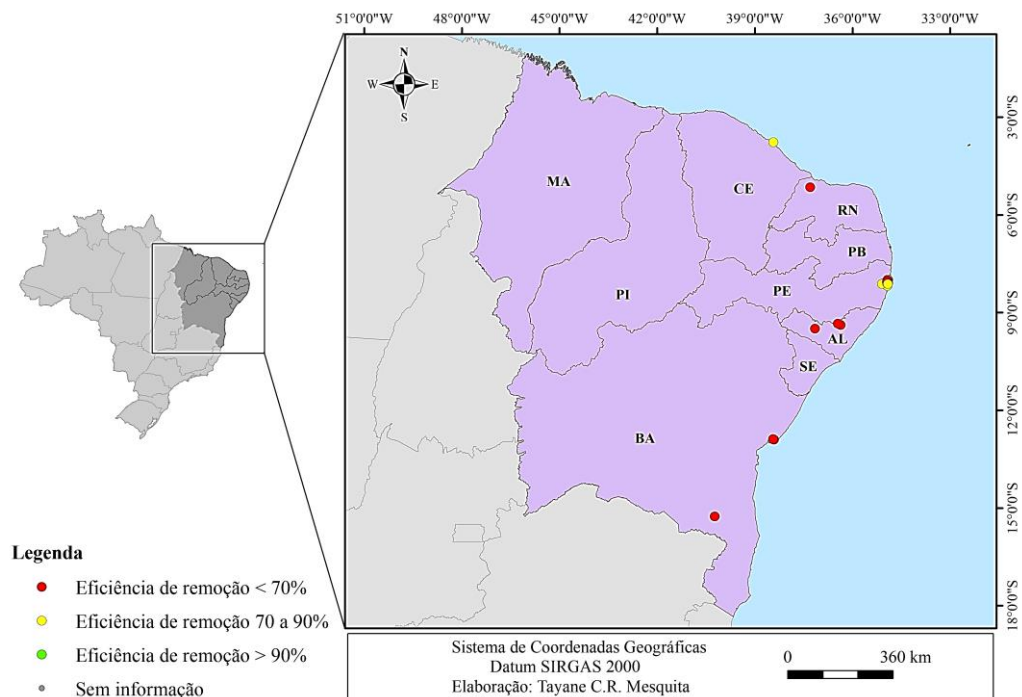


Figura 2.27 - Localização das ETEs TS+FAN em operação na região Nordeste do Brasil e suas respectivas eficiências de remoção de DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Estudo da carga orgânica nas ETEs operadas por TS+FAN

Em função dos baixos índices de atendimento apropriado de esgotamento sanitário para a população, a região Nordeste apresenta a segunda maior carga remanescente do país, que corresponde a cerca de 73% da carga gerada.

Avaliando-se o desempenho das ETEs TS+FAN quanto à diminuição da carga orgânica dos efluentes, verifica-se que, no cenário atual, dos 4.214 kg DBO gerados diariamente pela população atendida, cerca de 1.693 kg DBO são removidos após o tratamento, o que representa uma remoção de apenas 40% da carga orgânica (Figura 2.28). Considerando-se o cenário alternativo, após a passagem do esgoto pelas unidades de tratamento, a carga removida nas estações de tratamento é ampliada para 3.187 kg DBO d⁻¹. Nesse cenário, a carga orgânica a ser lançada nos cursos d'água é de 1.028 kg DBO d⁻¹ sendo esta muito inferior à lançada atualmente, cerca de 2.521 kg DBO d⁻¹.

A redução da carga orgânica lançada nos cursos d'água pertencentes à região Nordeste possui importância expressiva tendo em vista a elevada presença de rios efêmeros e intermitentes, que possuem pequena capacidade de diluição dos efluentes lançados em função da inexistência de vazão nos corpos hídricos durante longos períodos.

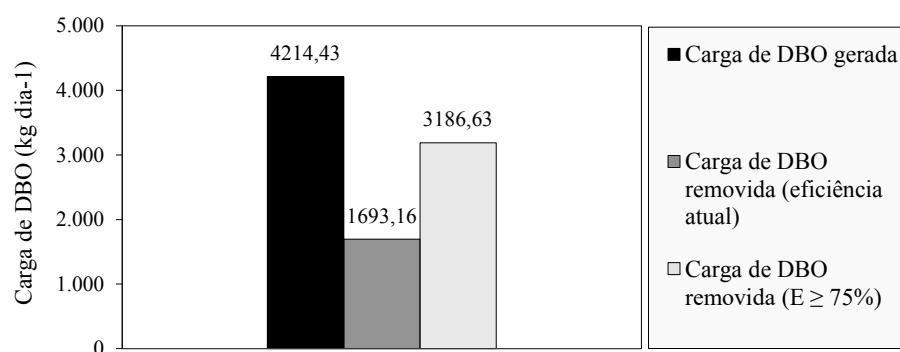


Figura 2.28 - Cargas orgânicas geradas e removidas em ETEs TS+FAN localizadas na região Nordeste avaliando-se diferentes cenários.

Fonte: Da autora (2019).

Capacidade de diluição dos corpos hídricos

Na região Nordeste, em função da escassez de água para diluição dos efluentes, podem ser requeridas soluções de tratamento de esgotos mais complexas, de forma a não comprometer a qualidade da água para usos mais nobres, como o abastecimento humano.

Avaliando-se os municípios que possuem ETEs TS+FAN, verifica-se que cerca de 54% caracterizam-se por possuir nas suas proximidades corpos hídricos com capacidade de diluição ruim, péssima ou nula, o que implica na impossibilidade, em alguns períodos do ano, de diluir os efluentes sanitários sem resultar em qualidade de água compatível apenas com classes de enquadramento menos restritivas, como as classes 3 e 4 (ANA, 2017)

Em rios que possuem capacidade de diluição ruim, para o atendimento às exigências de qualidade de água para classe 2, é necessário que haja uma remoção de 90 a 97% da carga orgânica dos efluentes anterior ao seu lançamento. No entanto, verifica-se que as ETEs TS+FAN localizadas próximas aos rios citados operam com eficiência de remoção de 35 a 70% não apresentando, dessa forma, eficiência compatível com a requerida pelos corpos hídricos da região.

Os demais municípios que possuem ETEs TS+FAN, por estarem localizados em regiões costeiras, apresentam a possibilidade de disposição final dos efluentes sanitários no mar e, por esse motivo, possuem capacidade de diluição classificada como ilimitada.

2.4 CONCLUSÕES

No levantamento realizado foram obtidas informações referentes a 311 ETEs em operação no Brasil que utilizam tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios como unidades de tratamento, sendo esse valor correspondente a cerca de 11% das ETEs existentes no país. A maioria das estações são de pequeno porte, de modo que 68% atendem a populações de até 1.000 habitantes.

As 311 ETEs avaliadas estão distribuídas em 117 municípios brasileiros. Quanto às regiões brasileiras, verificou-se que o maior número de ETEs que utilizam tal sistema está localizado nas regiões Sudeste e Sul do país, concentrando cerca 65% das estações existentes.

Em relação à distribuição por estados da federação, foram verificadas ETEs TS+FAN em operação em 16 dos 26 estados do Brasil, destacando-se os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Amazonas por possuírem 27,7%, 19,6% e 15,4% do total de ETEs avaliadas, respectivamente.

O município de Manaus (AM) destaca-se na utilização desse tipo de sistema, possuindo 48 ETEs em operação. Além de Manaus, os municípios de Cuiabá (MT), Bagé (RS) e Piracicaba (SP) apresentam grande número de ETEs que utilizam sistema TS+FAN, sendo catalogadas 31, 20 e 15 estações nos municípios citados, respectivamente.

As informações relativas às eficiências de remoção de DBO foram obtidas para 254 ETEs, tendo em vista que 57 ETEs não possuíam informações referentes a tal parâmetro. Em geral, as estações de tratamento de esgotos avaliadas apresentaram elevada variabilidade na eficiência de remoção de DBO, sendo observados percentuais de remoção no intervalo de 26 a 98%.

Verificou-se que a maior parte das ETEs TS+FAN em operação no país (53,4%) possuem eficiência de remoção de DBO inferior à mínima relatada na literatura (40% na região Sul e 70% nas demais regiões), sendo estas responsáveis pelo atendimento a uma população superior à 258.000 habitantes, e estão situadas majoritariamente nas regiões Norte e Centro-Oeste do país. Por outro lado, 26% das ETEs avaliadas apresentaram

eficiências de remoção igual às faixas indicadas na literatura (40 a 90% para a região Sul e 70 a 90% para as demais regiões); 2,3% possuem eficiência superior a 90% e 18,3% não possuíam informações a respeito da eficiência as quais operam.

Em relação à avaliação do atendimento aos padrões de lançamento de efluentes, observou-se que a maior parte das ETEs em operação no país não atendem às recomendações da legislação ambiental em termos de eficiência de remoção de DBO. Das 254 ETEs que possuem tais informações apenas 75, cerca de 30%, possuem sistemas que operam em conformidade com a legislação federal ou estadual vigente.

A avaliação do tratamento de esgotos descentralizado utilizando tanques sépticos e filtros anaeróbios realizada nesse estudo apresenta uma contribuição para a verificação do desempenho real de tais sistemas no Brasil e sua atuação efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente. As informações obtidas podem ser utilizadas como subsídio na tomada de decisão em municípios que desejam implementar tais soluções descentralizadas de saneamento.

No entanto, vale ressaltar que os dados obtidos junto às empresas de saneamento, sobretudo em relação às eficiências de remoção de matéria orgânica, por vezes, podem não expressar o desempenho das estações cotidianamente, tendo em vista a ausência de monitoramento periódico das unidades de tratamento. Adicionalmente, o fato de as informações utilizadas terem sido disponibilizadas pelas empresas de saneamento faz com que seja requerida cautela na avaliação dos dados, sobretudo em relação ao número indicado de ETEs operadas por TS+FA nos estados, os quais tendem a estar subestimados em função do reduzido controle operacional e desvalorização destes sistemas, o que pode comprometer a declaração dos sistemas como unidades operantes.

Verifica-se que, na realidade brasileira, por vezes os sistemas descentralizados são considerados soluções temporárias que, eventualmente, serão substituídas por sistemas centralizados. Em função disso, procedimentos operacionais simples, que garantem o bom funcionamento de sistemas simplificados, são negligenciados, resultando assim na ocorrência de sistemas que não operam em consonância com sua potencialidade. Além disso, a desvalorização de sistemas simplificados, tais como os sistemas TS+FAN, acarreta a ausência de informações relativas à sua utilização, sobretudo, em distritos e zonas rurais. Tal fato dificulta uma avaliação global do uso de sistemas TS+FAN, tendo em vista que em tais localidades há uma expressiva utilização dessa concepção de tratamento em função da inviabilidade de implantação de sistemas centralizados.

2.5 REFERÊNCIAS

- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento (2018)**. Disponível em: <http://abes-dn.org.br>. Acesso em: 02 jun. 2018.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229: Projeto, Construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ALÉM SOBRINHO, P. A.; JORDÃO, E. P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: uma análise crítica. In: CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos -2000**. São Carlos: ABES, 2000, p. 1-17.
- ANA, Agência Nacional das Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**. Brasília: ANA, 2017. 92 p.
- CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos - 2000, Projeto PROSAB**. São Carlos: ABES, 2000.
- CASEY, J. F.; JAMES R. K.; ALEXANDRE, R. Willingness to Pay for Improved Water Service in Manaus, Amazonas, Brazil. **Ecological Economics**, v. 58, n. 2, p. 365–72, 2006.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380p.
- CHERNICHARO, C. A. L.; RIBEIRO, T. B.; GARCIA, G. B.; LERMONTOV, A.; PLATZER, C. J.; POSSETTI, G. R. L.; LEITES, M. A. L.; ROSSETO, R. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, v. 66, n. 214, 2018.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - Projeto PROSAB**. Belo Horizonte: ABES, 2001.
- COSTA, A. M. R.; WAICHMAN, A.; SANTOS, E. E. A. Uso e qualidade da água subterrânea na cidade de Manaus. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.
- DAEB. Departamento de água, arroios e esgoto de Bagé. **Atribuições: Esgoto**. Disponível em: <http://www.daeb.com.br/8/Esgoto.html>. Acesso em: 29 jul. 2018.
- EGGIMANN, S.; TRUFFER, B.; MAURER, M. The Cost of Hybrid Waste Water Systems: A Systematic Framework for Specifying Minimum Cost-Connection Rates. **Water Research**, v. 103, p. 472–84, 2016.

EGGIMANN, S.; TRUFFER, B.; MAURER, M. To connect or not to connect? Modelling the optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures. **Water research**, v. 84, p. 218-231, 2015.

GIKAS, P.; TCHOBANOGLIOUS, G. The Role of Satellite and Decentralized Strategies in Water Resources Management. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n.1, p. 144–52, 2009.

INDAIAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Indaial: 2017**. Disponível em: <http://www.indaial.sc.gov.br/saneamento>. Acesso em: 02 jun. 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 909 p.

JUNG, Y. T.; NARAYANAN, N. C.; CHENG, Y. L. Cost Comparison of Centralized and Decentralized Wastewater Management Systems Using Optimization Model. **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 90–97, 2018.

KAMIYAMA, H. Revisão e aperfeiçoamento do sistema tanque séptico-filtro anaeróbio para o tratamento de esgoto sanitário-parte I. **Revista DAE**, v. 53, n. 169, p.1-8, 1993.

LARSEN, T. A.; HOFFMANN, S.; LÜTHI, C.; TRUFFER, B.; MAURER, M. Emerging Solutions to the Water Challenges of an Urbanizing World. **Science**, v. 352, n. 6288, p. 928–933, 2016.

LIBRALATO, G.; VOLPI GHIRARDINI, A.; AVEZZÙ, F. To Centralise or to Decentralise: An Overview of the Most Recent Trends in Wastewater Treatment Management. **Journal of Environmental Management**, v. 94, n. 1, p. 61–68, 2012.

MANAUS AMBIENTAL. **Sistema Integrado e Sistemas Isolados**. Disponível em: <http://www.manausambiental.com.br/sistema-integrado-e-sistemas-isolados>. Acesso em: 04 jun. 2018.

MANAUS. Prefeitura municipal de Manaus. **Lei Municipal nº 1.192, de 31 de dezembro de 2007**. Cria, no município de Manaus, o Programa de Tratamento e Uso Racional das Águas nas edificações – PRO-ÁGUAS. Manaus: Prefeitura municipal de Manaus, 31 dez. 2007. Disponível em: http://semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/lei_pro_aguas.pdf. Acesso em: 04 jun. 2018.

MARZOUK, M.; OTHMAN, A. Modeling the Performance of Sustainable Sanitation Systems Using Building Information Modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1400–1410, 2017.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized Approaches to Wastewater Treatment and Management: Applicability in Developing Countries. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 652–59, 2009.

MENA-ULECIA, K.; HERNÁNDEZ, H. H. Decentralized peri-urban wastewater treatment technologies assessment integrating sustainability indicators. **Water Science and Technology**, v. 72, n. 2, p. 214-222, 2015.

MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a Pilot Scale Up-Flow Septic Tank for on-Site Decentralized Treatment of Residential Wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 88, n.1, p. 47–52, 2010.

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; GÜERECA, L. P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 40, n. 9, p. 926-932, 2012.

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

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 1, n. 1, p. 37-56, 2011.

OPHER, T.; FRIEDLER, E. Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. **Journal of environmental management**, v. 182, p. 464-476, 2016.

PEDRO, B.; PAULO, J.; GOMES, M. C. R. L.; APEL, L. Technical and economic viability of a compact, partially submersed black water treatment system for floating residences. **Water Practice and Technology**, v. 10, n. 1, p. 143-151, 2015.

RIO GRANDE DO SUL. **RS 2030: Agenda de Desenvolvimento Territorial**. Porto Alegre: SEPLAG/RS, 2014. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/publicacoes/rs-2030-agenda-de-desenvolvimento-territorial/>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SHARMA, M. K.; KHURSHEED, A; KAZMI, A. A. Modified Septic Tank-Anaerobic Filter Unit as a Two-Stage Onsite Domestic Wastewater Treatment System. **Environmental Technology**, v. 35, n. 17, p. 2183–93, 2014.

SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIN, N. T. M. Potential of Decentralized Wastewater Management for Urban Development: Case of Bangkok. **Habitat International**, v. 36, n. 1, p. 85–92, 2012.

TEIXEIRA, R. B.; MARQUES, C. A.; CARVALHO, N. R.; GOMES, L. E. T.; SILVA, F. T.; PAIVA, T. C. B. Determinação de hormônios estrogênicos em esgoto bruto e efluente de uma estação descentralizada de tratamento por lodos ativados. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, p. 205-9, 2018.

USEPA. United States environmental protection agency. **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems An Introduction to Management Tools and Information for Implementing EPA's Management Guidelines**. Washington, D.C: EPA, 2005. 64 p.

VIEIRA, S. M. M.; ALEM SOBRINHO, P. Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. **Revista DAE**, v. 43, n. 135, p. 51-7, 1983.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2014. 452 p.

WANG, S. Values of Decentralized Systems That Avoid Investments in Idle Capacity within the Wastewater Sector: A Theoretical Justification. **Journal of Environmental Management**, v. 136, p. 68–75, 2014.

3 SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO REALIZADO EM ETEs NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG

3.1 INTRODUÇÃO

No cenário nacional, os serviços de esgotamento sanitário ainda se apresentam deficitários, com baixos índices de coleta e tratamento de esgotos (CARVALHO; SAMPAIO, 2015).

Segundo dados da ANA (2017), as redes coletoras de esgotos alcançam cerca de 61% da população urbana brasileira, porém nem todo o esgoto coletado é conduzido a estações de tratamento. A parcela atendida com coleta e tratamento dos esgotos representa menos de 43% da população urbana total, desse modo, estima-se que 96,7 milhões de pessoas não dispõem de tratamento coletivo de esgotos no Brasil.

A parcela da população atendida pelos serviços de tratamento de esgotos no Brasil majoritariamente está situada em áreas urbanas, onde são utilizados sistemas centralizados de esgotamento sanitário, em função da elevada concentração demográfica. Desse modo, o fornecimento desses serviços a núcleos habitacionais situados em áreas periurbanas e rurais é dificultado, tendo em vista a necessidade de utilização de extensa rede coletora de esgotos e, conseqüentemente, do elevado custo associado (LIBRALATO; VOLPI GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012). Nessas áreas, comumente ocupadas por populações de baixa renda, verifica-se a precariedade ou a inexistência de serviços de esgotamento sanitário e, conseqüentemente, condições sanitárias e ambientais mínimas.

O déficit no setor de saneamento no Brasil também é observado em municípios de pequeno porte que, em função das baixas economias de escala e de densidade, apresentam uma forte restrição à expansão dos investimentos do setor.

De acordo com dados divulgados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), no Brasil, 67% dos municípios não possuem sistemas de coleta e tratamento de esgotos e, dentre esses municípios, cerca de 99% possuem população urbana inferior a 80.000 habitantes.

Diante dessa realidade, e sob a perspectiva de promover a universalização do saneamento em locais distantes de estações centralizadas e em municípios de pequeno porte, a adoção de sistemas simplificados e descentralizados tem se mostrado relevante

para o tratamento de esgotos sanitários (MOUSSAVI; KAZEMBEIGI; FARZADKIA, 2010). Tais sistemas são compactos e projetados para operar em pequena escala e tem como principal característica a coleta, tratamento e disposição das águas residuárias tratadas próximo ao ponto de geração.

O grande investimento de capital associado à utilização de sistemas centralizados em regiões de baixa densidade demográfica pode ser reduzido com a utilização de sistemas descentralizados, aumentando assim a acessibilidade dos sistemas de gerenciamento de águas residuárias em tais regiões (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; NHAPI, 2004).

No entanto, muitos sistemas descentralizados utilizados por companhias de saneamento não fornecem um nível de tratamento apropriado à proteção da saúde pública e do ambiente. Isso ocorre devido à ausência de programas efetivos de gerenciamento, responsáveis por assegurar a inspeção e monitoramento regulares do sistema (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009).

A configuração de ETE descentralizada comumente utilizada é composta por um tanque séptico seguido por pós tratamento e/ou disposição do efluente final em sumidouros (IRIBARNEGARAY et al., 2018). No Brasil, embora não haja uma política de gestão do saneamento descentralizada, o uso de tanques sépticos é frequente. (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Apesar do uso extensivo dessas unidades de tratamento o conhecimento de seu desempenho é considerado um fator negligenciado pelas instituições e gestores urbanos (IRIBARNEGARAY et al., 2018).

No município de Viçosa, a prestação do serviço de esgotamento sanitário é realizada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Segundo a FEAM (2015), cerca de 86% da população na sede do município é atendida por rede coletora e apenas 2,5% por tratamento de esgotos.

A autarquia possui unidades de tratamento de esgotos simplificadas que atendem a pequenas comunidades. Nessas unidades, a ausência de um acervo de informações, bem como o reduzido monitoramento da qualidade do efluente e ausência de rotinas de descarte nos sistemas apontam para a necessidade de aprimoramento no sistema de gestão.

Diante disso, buscou-se com este estudo fornecer suporte ao SAAE/Viçosa no gerenciamento efetivo de três ETEs por meio da caracterização, monitoramento e apresentação de diretrizes para uma melhor operação dos sistemas, visando à obtenção de

um efluente final compatível com os padrões de lançamento e com reduzido risco potencial para a saúde pública e ambiente receptor.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Viçosa está localizado na Zona da Mata Mineira a uma distância de 225 km da capital Belo Horizonte e abrange uma área de 300,15 km² (VIÇOSA, 2015).

Segundo dados do IBGE (2010), Viçosa possui população total de 72.220 habitantes, sendo 67.305 habitantes correspondentes à população urbana e 4.915 habitantes à população rural. A sede do município possui população urbana de 56.455 habitantes. Além da sede, o município possui três distritos, Cachoeira de Santa Cruz, São José do Triunfo e Silvestre, com população urbana de 988, 2.565 e 7.297 habitantes, respectivamente. A economia do município é alicerçada no setor de serviços, indústria e agricultura.

Em termos de saneamento, a qualidade do serviço de esgotamento sanitário do município de Viçosa é classificada como ruim, tendo em vista os critérios avaliados no Índice de Qualidade dos Serviços de Esgotamento Sanitário (IQUES), estabelecido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). De acordo com a FEAM, o principal fator responsável pela má qualidade do serviço no município é o baixo percentual de tratamento de esgoto (FEAM, 2015).

A prestação do serviço de esgotamento sanitário na sede do município e nos distritos é de responsabilidade do SAAE/VIÇOSA. Segundo a FEAM (2015), na sede, cerca de 86% da população é atendida por rede coletora de esgotos e 2,5% por tratamento. Nos distritos de Cachoeira de Santa Cruz, São José do Triunfo e Silvestre o percentual de tratamento declarado foi nulo. Por outro lado, em termos de coleta, o percentual de atendimento nesses distritos é de cerca de 52, 86 e 81% da população urbana, respectivamente.

O município se enquadra no Grupo 2 da Deliberação Normativa COPAM nº 96/2006, que convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos. Nesse grupo estão incluídos municípios com população entre 30.000 e 150.000 habitantes e que possuem índice de coleta de esgotos superior a 70% da população urbana. Apesar dos prazos da referida Deliberação Normativa terem sido

prorrogados pela Deliberação Normativa COPAM nº 128/2008, o município de Viçosa não atende às exigências estabelecidas, tendo em vista que, até o prazo de agosto de 2010, deveria possuir regularização de um sistema de tratamento de esgotos com eficiência mínima de 60% e capaz de atender, no mínimo, 80% da população urbana.

Viçosa ainda não possui uma unidade de tratamento central do esgoto gerado no município, no entanto, encontra-se em construção uma ETE de grande porte, localizada no bairro Barrinha, que concentrará quase a totalidade da contribuição da área urbana.

Atualmente, existem pequenas estações de tratamento instaladas em comunidades localizadas próximas aos mananciais de abastecimento do município, em condomínios e em conjuntos habitacionais constituídos por beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) do Governo Federal. As estações – Paraíso, Violeira, Nobres, Vale das Acácias, Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II – são operadas pelo SAAE/Viçosa e possuem sistemas de tratamento constituídos por tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios ou reator UASB. Além disso, segundo informações do SAAE/Viçosa, na zona rural do município existem cerca de 800 tanques sépticos instalados em regiões próximas às nascentes do ribeirão São Bartolomeu e do rio Turvo Sujo, sendo estes os mananciais de abastecimento do município.

3.2.2 Estações de tratamento de esgotos avaliadas

As estações de tratamento de esgotos Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis caracterizam-se pelo tratamento simplificado e descentralizado de águas residuárias oriundas de bairros de baixa renda, situados em regiões periurbanas do município de Viçosa (Figura 3.1).

Os sistemas de tratamento empregados nas ETEs citadas são constituídos por tanque sépticos seguidos de filtros anaeróbios, além de possuírem sistema de tratamento preliminar dotado de grades, caixas de areia e, no caso das estações Coelhas I e II, caixa de gordura. Após o tratamento, os efluentes das ETEs Coelhas I e II e Romão dos Reis são dispostos no Córrego da Posse e Ribeirão São Bartolomeu, respectivamente.

Segundo informações do SAAE/Viçosa, a remoção de resíduos das unidades de tratamento preliminar na ETE Romão dos Reis é realizada mensalmente, ou quando verificada a necessidade. Nas ETEs Coelhas I e II, no entanto, a limpeza das unidades de tratamento preliminar ocorre somente quando é realizado o esgotamento dos tanques sépticos e filtros anaeróbios para remoção do lodo de excesso.

Durante o período monitorado foi realizada uma limpeza no mês de novembro de 2017 para remoção do lodo de excesso dos tanques sépticos e filtros anaeróbios pertencentes às ETEs avaliadas. Nas ETEs Coelhas I e II, nesse episódio, também foi realizada a limpeza e esvaziamento das caixas de gradeamento, areia e de gordura.

Na Tabela 3.1 são indicadas informações adicionais a respeito dos bairros e população atendida pelas ETEs avaliadas.

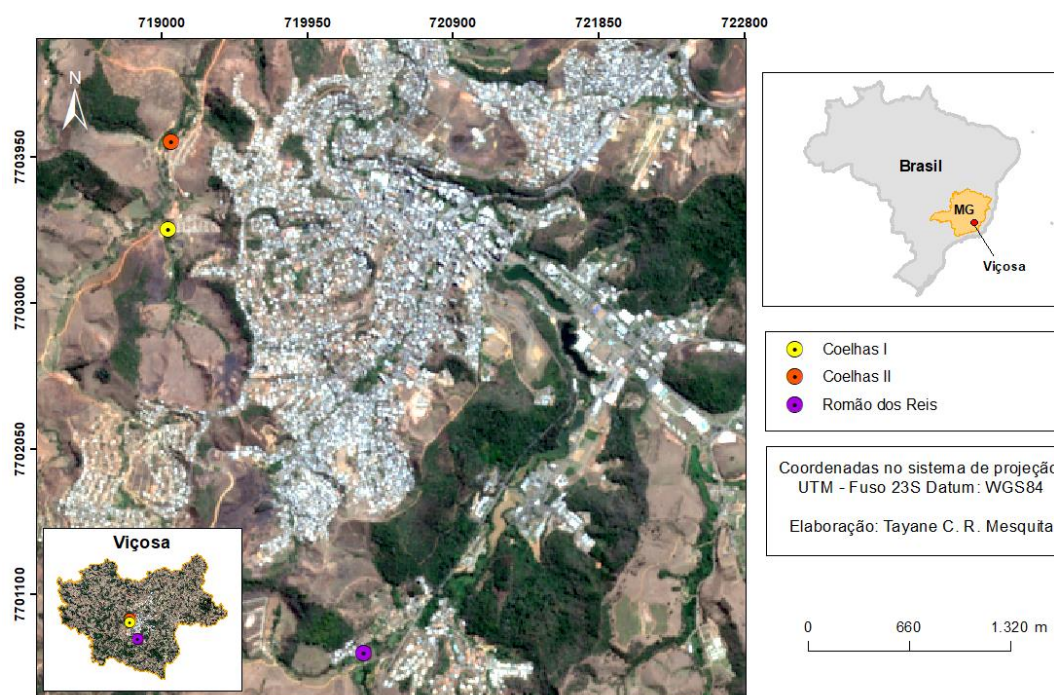


Figura 3.1 - Localização das estações de tratamento de esgoto descentralizadas no município de Viçosa (MG).

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 3.1 - Localização das estações de tratamento descentralizadas e economias atendidas.

Estação	Bairro	Residências¹	População atendida²
Coelhas I	São Francisco de Assis	136	494
Coelhas II	São Francisco de Assis	131	476
Romão dos Reis	Romão dos Reis	77	275

¹Número de residências ligadas ao sistema de coleta e tratamento de esgoto (Fonte: SAAE/Viçosa)

²Valores estabelecidos considerando-se o número de residências e o valor médio de habitantes para os bairros Romão dos Reis e São Francisco de Assis, segundo o Censo Viçosa (CRUZ, 2014)

Fonte: Da autora (2019).

De acordo com o projeto de revisão da Lei nº 1.383/2000, que instituiu o Plano Diretor de Viçosa, os bairros aos quais as ETEs avaliadas pertencem estão localizados na Zona Especial de Interesse Social (ZEIS). Tais zonas são definidas como áreas urbanas

destinadas predominantemente à moradia de população de baixa renda e sujeita a regras específicas de parcelamento, uso e ocupação do solo.

O bairro São Francisco de Assis, localidade anteriormente denominada de “Coelhas” abriga os conjuntos habitacionais Benjamim José Cardoso (BJC) e César Santana Filho (CSF) os quais possuem as estações de tratamento Coelhas I e Coelhas II, respectivamente. Tais conjuntos foram implantados no âmbito do PMCMV, sendo destinados a famílias com rendimento inferior a três salários mínimos. As ETEs localizadas nesse bairro atendem à população residente nos conjuntos habitacionais citados, além de algumas residências localizadas em seu entorno.

3.2.2.1 Conjunto habitacional Benjamim José Cardoso (Coelhas I) e César Santana Filho (Coelhas II)

O conjunto habitacional Benjamim José Cardoso (Figura 3.2) localiza-se no bairro São Francisco de Assis, sendo composto por 136 residências que foram entregues aos beneficiários no ano de 2011.

O conjunto Cesar Santana Filho (Figura 3.3), também denominado de ‘Sol Nascente’, por sua vez, é composto por 131 residências inauguradas no ano de 2012 e mantém proximidade com o conjunto habitacional BJC. Tal proximidade acarreta certa similaridade em relação ao acesso à infraestrutura urbana. O acesso à região é dificultado em função do relevo, que apresenta vias íngremes.

As residências localizadas nos conjuntos habitacionais BJC e CSF são compostas por dois quartos, sala, cozinha, banheiro e área de serviço externa, e possuem em média 37 m².

Embora estejam localizados em uma região de expansão urbana, anterior à construção dos conjuntos habitacionais citados, a área atualmente ocupada não possuía traços de urbanização. Desse modo, não estavam disponíveis infraestruturas de bens, serviços e equipamentos urbanos.



Figura 3.2 – Conjunto habitacional Benjamim José Cardoso. Viçosa (MG).

Fonte: SOUZA (2015)

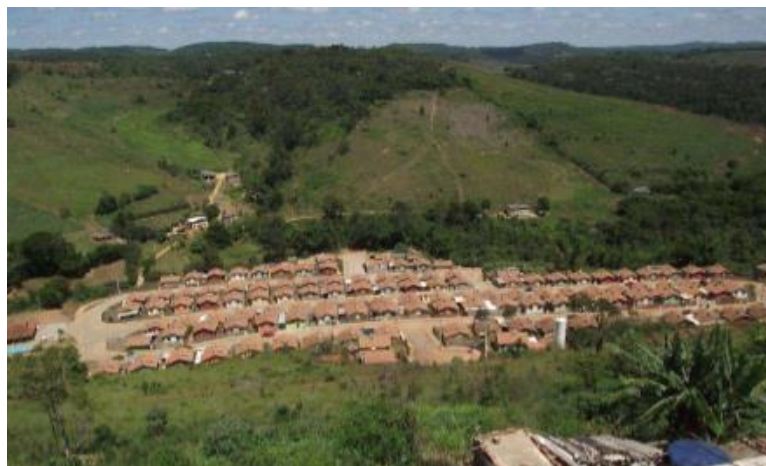


Figura 3.3 - Conjunto habitacional César Santana Filho, Viçosa (MG).

Fonte: SOUZA (2015)

3.2.2.2 Bairro Romão dos Reis

O bairro Romão dos Reis possui 77 residências atendidas com serviços de água e esgoto pelo SAAE/Viçosa e está localizado a cerca de 4 km do centro de Viçosa (MG).

O tratamento de esgotos no bairro iniciou-se após a publicação da Lei municipal nº 722 de 1990, que autorizou o poder executivo municipal a construir um tanque séptico comunitário no bairro. As especificações técnicas bem como a fiscalização da construção foram realizadas em parceria do Poder Executivo com o SAAE/Viçosa. Segundo dados da FEAM (2015a) a ETE entrou em operação em 20/12/1995.

3.2.3 Elaboração de material descritivo das ETEs

Para a caracterização das ETEs avaliadas foi elaborado um material descritivo contendo informações a respeito do processo de tratamento utilizado, onde foram buscados os parâmetros utilizados no projeto, dimensões das unidades de tratamento, fluxograma das ETEs com identificação das unidades e informações sobre seu funcionamento, procedimentos de operação com descrição de cada rotina e sua frequência bem como a população atendida atualmente. Tais informações foram obtidas junto ao SAAE/Viçosa, à empresa fabricante das unidades de tratamento e em consulta a projetos de ETEs elaborados pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA).

Adicionalmente, para o levantamento das dimensões das unidades de tratamento pertencentes às ETEs avaliadas foram realizadas medições em campo.

O levantamento de tais informações é fundamental tendo em vista à sua exigência para o licenciamento ambiental das ETEs junto aos órgãos competentes. Em consulta inicial realizada junto ao SAAE/Viçosa foi verificado que a autarquia não possuía informações a respeito da capacidade instalada das unidades de tratamento, parâmetros utilizados para o seu dimensionamento, eficiência as quais estas operam e atendimento à legislação ambiental vigente, o que dificulta o processo de regularização ambiental das ETEs.

A Resolução CONAMA nº 377/2006 estabelece que sistemas de tratamento de esgotos de pequeno e médio porte estão sujeitos a procedimentos simplificados de licenciamento ambiental, podendo ser expedida uma licença única que autoriza a implantação e operação do empreendimento. Tal Resolução define ETEs de pequeno porte como aquelas que possuem vazão nominal de projeto menor ou igual a 50 L s^{-1} ou capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes. Desse modo, verifica-se que as três ETEs avaliadas estão enquadradas nessa categoria.

De acordo com a Resolução, a realização do requerimento da referida licença se dá mediante a apresentação de cinco documentos, sendo o primeiro referente a informações gerais a respeito do projeto da ETE e demais informações consideradas relevantes pelo órgão ambiental vigente. Assim, a existência de um material contendo informações a respeito das ETEs pode contribuir no processo de licenciamento ambiental.

3.2.4 Avaliação do dimensionamento das unidades de tratamento

A fim de verificar se as ETEs avaliadas possuem capacidade instalada condizente com a população atendida, bem como verificar a possibilidade de expansão do atendimento, foi realizada uma análise do dimensionamento das unidades de tratamento pertencentes às ETEs. Para isso foram utilizados dados referentes às populações atendidas e os padrões estabelecidos pela NBR 7.229 (ABNT, 1993) e a NBR 13.969 (ABNT, 1997).

O número de pessoas atendidas por cada ETE, indicado na Tabela 3.1, foi obtido considerando-se o número de residências ligadas às estações de tratamento, disponibilizado pelo SAAE/Viçosa, e os valores médios de moradores por domicílio para as regiões atendidas pelas ETEs segundo dados contidos no Censo Viçosa - Retrato Social V (CRUZ, 2014).

Para a definição do parâmetro contribuição de despejos (C) foram utilizados os dados de consumo de água, para o ano de 2017, obtidos junto ao SAAE/Viçosa. A partir de tais dados e, considerando-se o coeficiente de retorno de esgotos igual a 80%, foram calculadas as contribuições de esgoto diárias para as três ETEs.

A contribuição de lodo fresco (L_f) foi definida seguindo os critérios definidos na NBR 7.229, que determina que, em residências com ocupantes permanentes, o valor de L_f é igual a $1 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Quanto à taxa de acumulação de lodo digerido (K), a referida norma técnica define que tal valor seja determinado em função do intervalo de limpezas para remoção do lodo de excesso e da faixa de temperatura do local de instalação no mês mais frio. Foi definido como intervalo de limpeza o tempo mínimo (1 ano) e a faixa de temperatura de $10 < t \leq 20$, tendo em vista que, de acordo com dados do INMET, avaliando-se os dados históricos no período de 1961 a 2009, o município de Viçosa (MG) apresenta as menores temperaturas do ar no mês de Julho, sendo o valor médio registrado de 16°C para o período citado.

Para o dimensionamento dos filtros anaeróbios foi utilizada como referência a NBR 13.969 (ABNT, 1997). Os parâmetros N, C e T foram os mesmos utilizados para o dimensionamento dos tanques sépticos citados anteriormente.

Após o dimensionamento das unidades de tratamento, de acordo com as características da população atendida pelas ETEs, foi realizada uma análise comparativa entre os volumes reais das unidades e os volumes obtidos no dimensionamento realizado. Tal análise teve como objetivo avaliar a possibilidade de expansão do atendimento das

ETEs monitoradas bem como avaliar se os sistemas de tratamento operam de acordo com suas capacidades máximas.

Adicionalmente, foram avaliados os parâmetros sugeridos por Chernicharo et al. (2001) para filtros anaeróbios. Os critérios, definidos pelos autores baseando-se nas experiências realizadas no Brasil em escala plena, referem-se a faixas de valores para o tempo de retenção hidráulica, taxa de aplicação superficial, carga orgânica volumétrica e altura do meio suporte. As faixas indicadas pelo autor referem-se aos valores avaliados nas pesquisas as quais os filtros anaeróbios foram capazes de produzir efluentes de boa qualidade.

As Equações 3.3, 3.4 e 3.5 expressam como os valores de tais parâmetros foram obtidos.

$$\theta_h = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação 3.3}$$

Em que,

θ_h : tempo de retenção hidráulica (d)

V: volume útil do filtro anaeróbio (m^3)

Q: vazão média afluyente ao filtro anaeróbio ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)

$$q_s = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação 3.4}$$

Em que,

q_s : taxa de aplicação hidráulica superficial ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Q: vazão média afluyente ao filtro anaeróbio ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)

A: área da superfície livre do meio suporte (m^2)

$$C_v = \frac{Q * S_a}{V} \quad \text{Equação 3.5}$$

Em que,

C_v : carga orgânica volumétrica em termos de DBO ($\text{kg m}^3 \text{d}^{-1}$)

Q: vazão média afluyente ao filtro anaeróbio ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)

S_a : concentração de DBO do esgoto afluyente ao filtro anaeróbio (kg m^{-3})

V: volume total do filtro ou volume ocupado pelo meio suporte (m^3)

3.2.5 Acompanhamento operacional e monitoramento do sistema

Nessa etapa do projeto foi realizado o monitoramento das três ETEs avaliadas. Para isso, foram selecionados quatro pontos localizados em diferentes partes dos sistemas, a fim de se analisar a eficiência de cada unidade integrante do processo de tratamento e do sistema como um todo.

O monitoramento foi iniciado no mês de maio de 2017. No período inicial, as coletas foram realizadas com frequência bimestral e, a partir do mês de outubro de 2017, estas passaram a ser realizadas mensalmente nas três ETEs avaliadas.

Para o presente estudo foram utilizados os dados obtidos no período de maio de 2017 a agosto de 2018, totalizando 14 meses de monitoramento na ETE Romão dos Reis e 13 meses nas ETEs Coelhas I e Coelhas II. Ao longo do período monitorado, ocorreram problemas operacionais que impossibilitaram a coleta dos efluentes em algumas ETEs, tais como entupimentos na rede de coleta e colmatção do leito filtrante do filtro anaeróbio. Desse modo, o número de dados pode ser inferior a 14/13 para alguns parâmetros e pontos de coleta. Adicionalmente, dados discrepantes, com evidências de erros de natureza sistemática ou aleatória, foram eliminados para assegurar maior veracidade na avaliação do comportamento dos sistemas avaliados.

O sistema de tratamento utilizado nas ETEs Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II é composto por tanque séptico seguido por filtro anaeróbio (Figura 3.4).

Na Tabela 3.4 são indicados os parâmetros avaliados durante o monitoramento bem como a descrição dos pontos de coleta selecionados.

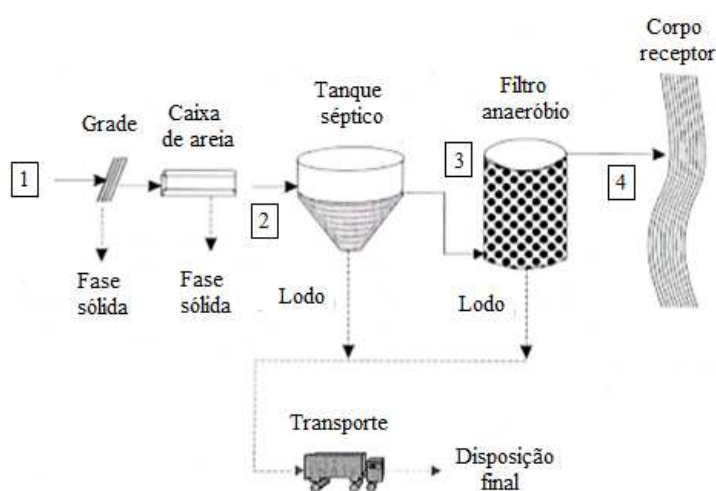


Figura 3.4 - Esquema do sistema de tratamento das ETEs com indicação dos pontos de amostragem.

Fonte: Adaptado de von Sperling (2014).

Tabela 3.2 - Plano de amostragem para as ETEs avaliadas.

Ponto	Descrição	Parâmetros analisados
1	Entrada do esgoto no sistema (anterior ao tratamento preliminar)	pH, DBO, DQO, N-amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
2	Após tratamento preliminar (Entrada no tanque séptico)	pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
3	Saída do tanque séptico (Entrada no filtro anaeróbio)	pH, DBO, DQO, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
4	Saída do filtro anaeróbio (efluente final)	pH, DBO, DQO, N-amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez

Fonte: Da autora (2019).

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para análise ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

O procedimento de coleta e a preservação das amostras bem como os métodos para análise dos parâmetros seguiram o estabelecido pela NBR 9.898 (ABNT,1987) e *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23^a edição (APHA, 2017).

Os dados obtidos foram avaliados por meio de estatística descritiva, sendo calculados os valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão, primeiro quartil, segundo quartil (mediana), terceiro quartil, bem como os valores discrepantes (*outliers*).

Os *outliers* foram indicados em gráficos boxplot. Nesses gráficos, as observações são consideradas *outliers* quando se encontram abaixo ou acima de um limite de detecção pré-estabelecido. Tal limite é definido a partir do cálculo do intervalo interquartil, sendo este equivalente à distância entre o primeiro e o terceiro quartil. Sendo assim, os limites inferiores e superiores de detecção de *outlier* são dados pelas Equações 3.6 e 3.7.

A determinação dos outliers é importante tendo em vista que estes podem influenciar a análise dos dados e conduzir a conclusões equivocadas.

$$\text{Limite Inferior} = Q_1 - 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad \text{Equação 3.6}$$

$$\text{Limite Superior} = Q_3 + 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad \text{Equação 3.7}$$

Em que:

Q₁: Primeiro quartil;

Q₃: Terceiro quartil.

Q₃– Q₁: Intervalo interquartil.

Os resultados das concentrações efluentes, obtidos por meio das análises laboratoriais, e das eficiências de remoção dos constituintes citados foram comparados com os dados de desempenho esperado pela literatura especializada, bem como com os valores indicados na legislação pertinente relacionada aos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos no estado de Minas Gerais (DN COPAM/CERH nº 01/2008).

3.2.6 Caracterização físico-química dos efluentes e das vazões ao longo do dia

A fim de avaliar as variações nas vazões de entrada e na composição dos efluentes ao longo do dia, foi realizada uma campanha de amostragem, nas estações avaliadas, em três horários distintos do dia, sendo estes às 10:00 hs, 13:00 hs e 16:00 hs.

As campanhas foram realizadas em dias típicos (08/05/2018, 17/05/2018 e 05/06/2018 nas estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente) a fim de evitar influências de diferentes padrões de consumo de água em fins de semana, feriados ou períodos de férias escolares.

As coletas foram realizadas no ponto de entrada do efluente nos sistemas (P1). Para cada um dos horários citados foram obtidas informações referentes à vazão de entrada, concentrações de DBO, DQO, ST, SST, SDT, SFT, SVT, Ssed, N-NH₄, temperatura, turbidez e pH.

Devido à ausência de dispositivos para medição de vazão nas estações avaliadas, a vazão de entrada das ETEs foi determinada por meio do método volumétrico direto, sendo realizadas 3 repetições e posterior cálculo dos valores médios.

3.2.7 Avaliação da influência da precipitação pluviométrica

Uma investigação foi efetuada a fim de verificar a existência de diferenças nas concentrações afluentes e efluentes de DBO, DQO, SST e Ssed medidas nas ETEs, bem como no desempenho das unidades de tratamento em relação à remoção desses parâmetros, nos períodos secos e chuvosos. Com essa análise buscou-se verificar se o acúmulo de sólidos observado nos sistemas de tratamento preliminar, sobretudo, nas estações Coelhas I e II e o arraste de material particulado nos efluentes dos reatores possuía relação com os índices pluviométricos registrados no município de Viçosa (MG).

Para avaliar o período chuvoso foram considerados os dados de concentração e eficiência obtidos em dias onde verificou-se a ocorrência de chuvas nas 24 horas anteriores à coleta. Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao INMET, que disponibilizou dados horários referentes aos anos de 2017 e 2018 sendo estes oriundos da Estação Meteorológica Automática de Viçosa (MG).

A verificação da existência de diferenças estatísticas entre os dados avaliados foi realizada por meio da utilização do teste de Mann-Whitney (U) no software estatístico R, sendo adotado o nível de significância de 5% na aplicação do teste.

O teste de Mann-Whitney é utilizado para testar se dois grupos independentes foram ou não extraídos da mesma população. Esse teste é, portanto, uma alternativa não paramétrica para o teste t de Student para amostras independentes, sendo usualmente aplicado quando se dispõe de uma amostra pequena e a variável numérica não apresenta distribuição normal ou tal distribuição não pode ser verificada satisfatoriamente. De maneira distinta ao teste t, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann-Whitney (U) avalia a igualdade das medianas de dois grupos. A única exigência do teste de Mann-Whitney é a de que as observações sejam medidas em escala ordinal ou numérica.

3.2.8 Desempenho das ETEs quanto ao padrão de lançamento de efluentes

Para avaliar o desempenho das ETEs em relação ao atendimento aos padrões de lançamentos de efluentes estabelecidos pela legislação ambiental do estado de Minas Gerais (DN COPAM/CERH nº 01/2008) foram estabelecidas metas de qualidade para o efluente final dos três sistemas avaliados. As metas de qualidade definidas referem-se aos limites máximos estabelecidos pela legislação para lançamento de efluentes sanitários em

corpos hídricos em relação aos parâmetros DBO, DQO, SST, Ssed, Temperatura e pH, conforme indicado na Tabela 3.5.

Tabela 3.3 – Metas de qualidade para lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos.

Parâmetro	Metas	
	Valor limite	Eficiência de remoção (%)
DBO (mg L ⁻¹)	60	> 60
DQO (mg L ⁻¹)	180	> 55
SST (mg L ⁻¹)	100	-
Ssed (mL L ⁻¹)	1	-
pH	6 a 9	-
Temperatura (°C)	<40	-

Fonte: Da autora (2019).

Após o estabelecimento das metas relativas aos valores limites permitidos nos efluentes e das eficiências de remoção de poluentes requeridas, foram calculados os percentuais de atendimento às metas para cada ETE. Para os parâmetros DBO e DQO, o atendimento às metas foi avaliado para cada condição individualmente, ou seja, considerando-se se os efluentes atendiam aos valores limites estabelecidos ou às eficiências de remoção. Uma vez realizada a análise dos dados de cada ETE, o percentual de atendimento a cada condição foi calculado, considerando-se o quociente entre o número de dados que atendiam a condição e o número total de dados válidos.

Para a classificação das ETEs quanto ao atendimento às metas estabelecidas foi adotada uma metodologia similar à de Cordero (2016), que categoriza as estações baseado em três critérios e atribui a estas simbologias distintas a fim de permitir uma rápida avaliação dos resultados obtidos e facilitar os processos de tomada de decisões. Os critérios adotados para classificação são indicados na Tabela 3.6.

O critério “A” sugere que 90% ou mais das amostras cumprem com a meta estabelecida. Por se tratar de um critério mais exigente, nas ETEs que apresentam tal desempenho, o atendimento às metas foi classificado como alto. O critério “B”, por sua vez, estabelece que a ETE possui um atendimento médio quando as amostras têm o percentual de atendimento entre 50% e 90%. Por fim, o critério “C” indica que a ETE avaliada tem um atendimento baixo quando as amostras cumprem com a meta estabelecida em, no máximo, 50% dos dados. Os critérios citados foram utilizados tanto para as metas de valores limites no efluente quanto para as metas de eficiências de

remoção de DBO e DQO. A avaliação foi feita para cada ETE e parâmetro separadamente.

Adicionalmente, foi verificada a adequação das ETEs avaliadas em relação à exigência de remoção média anual de DBO e DQO estabelecida pela DN COPAM/CERH nº 01/2008. De acordo com tal documento, para o lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos, os sistemas de tratamento utilizados devem possuir eficiências médias anuais de remoção de DBO e DQO iguais ou superiores a 70 e 65%, respectivamente.

Para o cálculo da eficiência média anual nas ETEs foram utilizados dados das 12 coletas iniciais do monitoramento, tendo em vista que as estações não possuíam dados para todos os meses do ano em virtude da realização de monitoramento com frequência bimestral nos primeiros meses do estudo.

Tabela 3.4 – Critérios para avaliação ao atendimento às metas de qualidade do efluente estabelecidas.

Critérios	Atendimento (%)	Classificação	Simbologia
A	≥ 90	Alto	
B	50 a 90	Médio	
C	≤ 50	Baixo	

Fonte: Da autora (2019).

3.2.9 Readequação e proposição de medidas corretivas

Tomando como base as informações levantadas na elaboração do material descritivo e os resultados obtidos na fase de monitoramento, foi realizado o estudo de medidas corretivas, passíveis de serem aplicadas nas ETEs, a fim de aumentar a eficiência dos sistemas de tratamento e possibilitar o lançamento de um efluente final de melhor qualidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Caracterização preliminar das estações de tratamento

3.3.1.1 ETEs Coelhas I e Coelhas II

As ETEs avaliadas não possuíam informações preliminares contendo dados de projeto ou material descritivo com informações a respeito das dimensões das unidades de tratamento bem como de seu funcionamento. Desse modo, foram levantadas informações a respeito do padrão de dimensionamento utilizado pela empresa fabricante das unidades, tendo em vista que os projetos originais não foram localizados no Instituto de Planejamento e Meio Ambiente do Município (IPLAM), órgão público responsável pela análise de projetos habitacionais no município de Viçosa (MG).

Para a avaliação do padrão de projeto utilizado pela empresa fabricante foi solicitado junto a esta uma proposta de projeto de ETEs, utilizando as mesmas unidades de tratamento, para o atendimento de populações com o mesmo tamanho e padrão de consumo verificado nas ETEs Coelhas I e II.

Avaliando-se os critérios de dimensionamento do fabricante, estima-se que as ETEs Coelhas I e II foram dimensionadas para o atendimento de 500 pessoas, considerando-se uma contribuição per capita de $120 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e carga orgânica de DBO de $45 \text{ g hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Conforme indicado na Figura 3.5, as ETEs contêm sete equipamentos fabricados em PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro) sendo eles: 1 caixa de gradeamento, 2 caixas de areia, 1 caixa de gordura, 1 tanque séptico, 1 filtro anaeróbio e 2 caixas de inspeção e coleta. O meio suporte dos filtros anaeróbios é constituído por aparas de eletroduto corrugado, denominadas pelo fabricante de *biorings*.

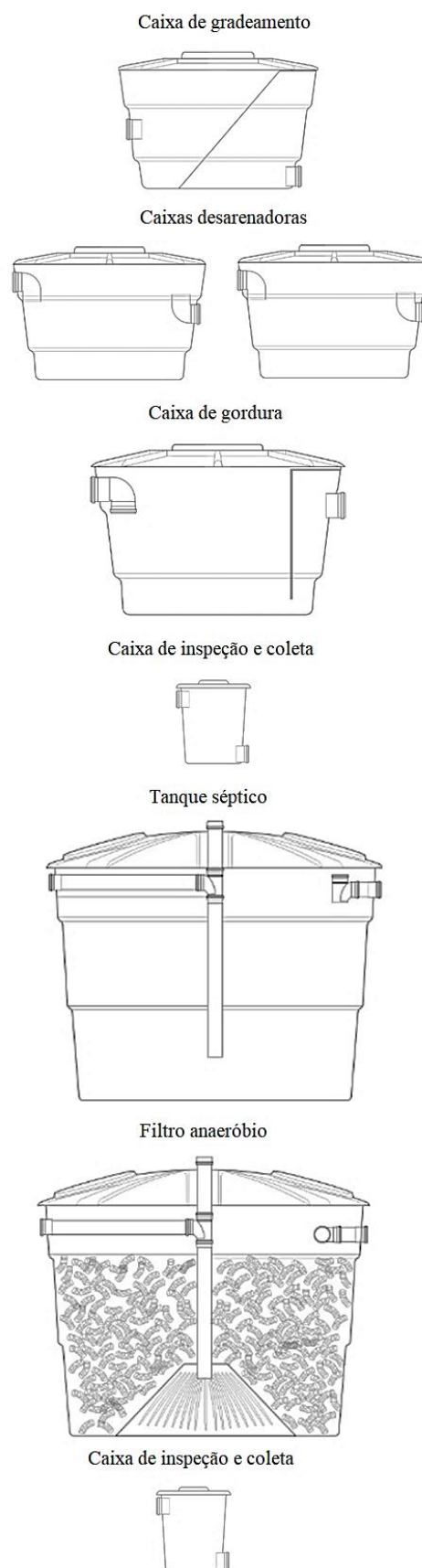


Figura 3.5 – Representação simplificada das unidades de tratamento utilizadas nas ETES Coelhas I e Coelhas II.

Na Tabela 3.7 são indicadas as dimensões das unidades de tratamento pertencentes às ETEs Coelhas I e II, obtidas junto à empresa fabricante. Analisando-se a altura útil dos filtros anaeróbios e dos tanques sépticos, verifica-se que os valores utilizados são superiores aos máximos estabelecidos nas normas técnicas consultadas (NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997), sendo estes de 1,20 m para filtros anaeróbios (com altura do leito filtrante limitada a 0,60 m) e 2,80 m para tanques sépticos. Contudo, segundo Chernicharo et al. (2001), com base na experiência brasileira e nas pesquisas desenvolvidas no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), para a maioria das condições de aplicação de filtros anaeróbios, recomenda-se que a altura do meio suporte fique compreendida entre 0,8 e 3,0 m.

Tabela 3.5 – Dimensões das unidades de tratamento pertencentes às ETEs Coelhas I e II.

Unidade de tratamento	Dimensões (m)				Altura útil (ABNT) ¹	Volume (m ³)	
	Diâmetro (borda)	Diâmetro (fundo)	Altura total	Altura útil		Total	Útil
Caixa de gradeamento	1,70	1,40	1,20	1,10	-	2,3	2,0
Caixa de areia	1,70	1,40	1,20	1,10	-	2,3	2,0
Caixa de gordura	2,22	1,85	1,85	1,50	-	6,0	5,0
Tanque séptico	3,10	2,40	3,70	3,35	2,80	22,1	20,0
Filtro anaeróbio	3,10	2,40	3,70	3,35	1,20	22,1	20,0

Nota: ¹Altura útil máxima citada nas NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997.

A altura útil dos filtros anaeróbios avaliados é de 3,35 m, sendo esta referente à soma das alturas do leito filtrante e do fundo falso. Desse modo, verifica-se que a altura do leito filtrante se encontra próxima ao valor máximo citado por Chernicharo et al. (2001). Os autores ressaltam, no entanto, que quanto maior a altura do leito filtrante, maior a dificuldade de remoção do lodo em excesso quando for realizado o esgotamento do filtro. O limite superior de altura do meio suporte citado pelos referidos autores é mais apropriado para reatores com menor risco de obstrução do leito, desse modo, para filtros anaeróbios com sentido de escoamento ascendente, que apresentam maior risco de entupimento dos interstícios, uma altura usual mais indicada é de 1,50 m (CHERNICHARO, 2007).

Além da profundidade, a ABNT estabelece na NBR 7.229/1993 que tanques sépticos cilíndricos devem possuir diâmetro interno mínimo de 1,10 m. Conforme indicado na Tabela 3.7, verifica-se que tal proposição foi atendida nos tanques sépticos avaliados, uma vez que estes possuem diâmetros no intervalo de 2,40 a 3,10 m.

Para a avaliação do provável tempo de retenção hidráulica estabelecido no projeto das ETEs foram utilizados os critérios de dimensionamento do fabricante citados anteriormente e os volumes úteis das unidades de tratamento indicados na Tabela 3.7. A partir de tais valores, admite-se que o tempo de retenção hidráulica adotado pelo projetista foi de 8 horas para os tanques sépticos e para os filtros anaeróbios. Tal valor é inferior ao mínimo estabelecido na NBR 7.229 (1993) e NBR 13.969 (1997), que sugere a utilização de TRH mínimo de 12 horas para tais unidades de tratamento. Adicionalmente, verifica-se que o modelo de dimensionamento utilizado não incluiu as variáveis contribuição de lodo fresco e taxa de acumulação de lodo digerido e o volume mínimo de 1.000 litros para o tanque séptico segundo indicado nas referidas normas técnicas.

Por meio da avaliação das características dos filtros anaeróbios, verifica-se que o dimensionamento utilizado para tais unidades se deu de maneira semelhante à proposta por Chernicharo et al. (2001) no âmbito do PROSAB. De acordo com o autor, os filtros anaeróbios são capazes de produzir efluentes que atendem aos padrões de lançamento estabelecidos pelos órgãos ambientais, em termos de concentração de DBO, quando os mesmos são operados com TRH na ordem de 4 a 10 h. Ainda, o autor afirma que o acréscimo da taxa de remoção não é diretamente proporcional ao aumento do TRH.

Vale ressaltar que, no ano de 2017, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) realizou a primeira reunião do Grupo de Trabalho para revisão das normas NBR 7.229/93 e NBR 13.969/97, tendo em vista a necessidade de atualização destas, uma vez que, as mesmas não atendem às unidades residenciais com características como pouca área disponível, profundidade inapropriada do lençol freático, condição precária de impermeabilização do solo e topografia acidentada.

Desse modo, a utilização de unidades de tratamento nas ETEs avaliadas com dimensões, por vezes, superiores ou inferiores às recomendadas nas normas consultadas não implica necessariamente no mau funcionamento das unidades. Para atestar se os sistemas são capazes de reduzir a carga orgânica inicial dos efluentes, com percentuais de eficiência condizentes com os esperados para tais concepções de tratamento, o monitoramento regular da qualidade dos efluentes deve ser realizado.

3.3.1.2 ETE Romão dos Reis

Assim como as estações Coelhas I e II, a ETE Romão dos Reis não possuía informações a respeito das dimensões das unidades de tratamento. Contudo, segundo

informações obtidas junto ao SAAE/Viçosa, a construção da ETE baseou-se em um projeto padrão da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) para o atendimento de populações de até 500 habitantes. Tal projeto foi identificado no Manual de Saneamento da FUNASA (BRASIL, 2007).

O sistema citado no Manual de Saneamento é indicado pela FUNASA como uma proposta de implantação de ETEs para pequenas localidades. Não são disponibilizadas informações a respeito dos padrões adotados para o dimensionamento, sendo apenas informado que, frequentemente, devem ser realizadas limpezas nas unidades de tratamento preliminar, com a remoção dos sólidos grosseiros da grade, bem como a retirada da areia depositada. Adicionalmente, é informado que, ao final de cada ano de operação, deverá ser realizado o esgotamento dos tanques sépticos e filtros anaeróbios para a remoção do lodo de excesso. Em relação aos aspectos construtivos, a proposta de projeto determina que as unidades de tratamento devam ser construídas com tijolos maciços e a pintura interna deve ser feita com tinta anticorrosiva na cor preta.

A planta baixa e o perfil da ETE proposta pela FUNASA (BRASIL, 2007), bem como a indicação das dimensões de cada unidade do sistema podem ser verificados nas figuras 3.6 e 3.7 e Tabela 3.8, respectivamente.

Conforme indicado na Tabela 3.8, verifica-se que a altura útil do leito filtrante proposta pela FUNASA para os filtros anaeróbios (0,80 m + 1,57 m) é superior à máxima estabelecida pela ABNT na NBR 13.996/1997. Contudo, no ano de construção da ETE Romão dos Reis, a referida norma técnica ainda não se encontrava em vigência, o que justifica a utilização de dimensões divergentes. Apesar da divergência com as determinações da referida norma técnica, a profundidade indicada no manual de saneamento para filtros anaeróbios encontra-se dentro da faixa recomendada por Chernicharo et al. (2001).

Quanto ao tanque séptico, a profundidade útil de 2,50 m indicada pela FUNASA (BRASIL, 2007) é compatível com a faixa reportada pela ABNT (1997), que sugere valores de profundidade no intervalo de 1,20 a 2,80 m. Adicionalmente, as demais medidas internas do tanque séptico proposto pela FUNASA obedecem aos critérios expostos pela ABNT. Segundo a referida norma os tanques sépticos prismáticos retangulares devem possuir largura interna mínima de 0,80 m e relação comprimento/largura mínima de 2:1 e máxima de 4:1. No modelo de tanque séptico proposto pela FUNASA esses valores foram de 1,80 m e 2,2:1, respectivamente, o que indica a adequação aos limites estabelecidos.

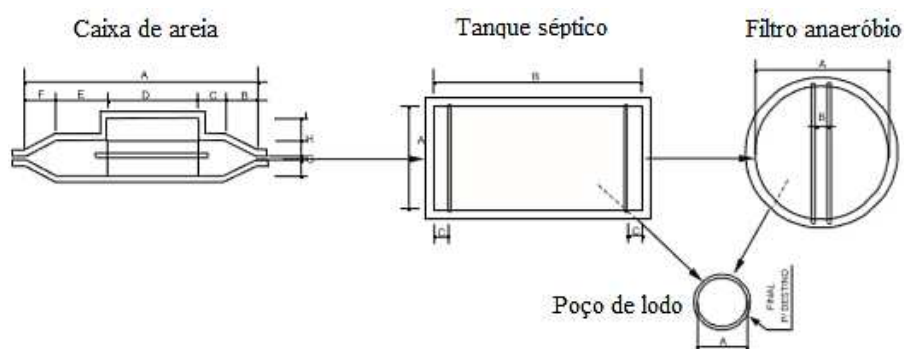


Figura 3.6 – Planta baixa das unidades de tratamento presentes na ETE Romão dos Reis.

Fonte: Adaptada de BRASIL (2007)

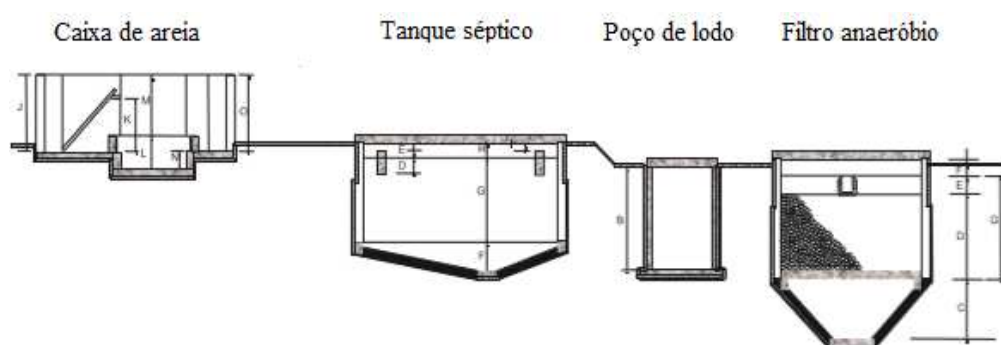


Figura 3.7 – Perfil das unidades de tratamento presentes na ETE Romão dos Reis.

Fonte: Adaptada de BRASIL (2007)

Tabela 3. 6 - Dimensões das unidades de tratamento pertencentes à ETE Romão dos Reis.

Indicação na figura (m)	Unidades de tratamento			
	Caixa de areia	Tanque séptico	Filtro anaeróbio	Poço de lodo
A	6,00	1,80	2,00	1,50
B	0,55	4,00	0,25	1,80
C	0,55	0,30	0,80	-
D	2,50	0,30	1,57	-
E	1,30	0,20	0,35	-
F	0,50	0,50	0,30	-
G	0,45	2,00	1,92	-
H	0,30	0,30	-	-
I	0,60	0,10	-	-
J	1,70	-	-	-
K	1,00	-	-	-
L	0,75	-	-	-
M	1,30	-	-	-
N	0,35	-	-	-
O	1,70	-	-	-

Nota: Medidas internas

Fonte: BRASIL (2007).

3.3.2 Avaliação do dimensionamento das unidades de tratamento

A fim de verificar se as ETEs avaliadas possuem capacidade instalada condizente com a população atendida, bem como verificar a possibilidade de expansão do atendimento, foi realizada uma análise do dimensionamento das unidades de tratamento pertencentes às ETEs.

As unidades de tratamento foram dimensionadas visando o atendimento de 275 habitantes na estação Romão dos Reis e de 494 e 476 para as estações Coelhas I e II, respectivamente. Tais valores foram definidos em função do número de residências ligadas às ETEs e do valor médio de habitantes para os bairros Romão dos Reis e São Francisco de Assis que, segundo o Censo Viçosa (CRUZ, 2014) é de 3,56 e 3,63, respectivamente.

Os demais valores adotados para o cálculo do dimensionamento dos tanques sépticos e filtros anaeróbios, segundo os critérios estabelecidos pela ABNT, são indicados na Tabela 3.9 para as ETEs Romão dos Reis e Tabela 3.10 para as ETEs Coelhas I e II. Nas referidas tabelas também são indicadas as dimensões reais dos tanques sépticos e filtros anaeróbios em operação nas ETEs avaliadas, sendo estas informações utilizadas para a verificação da capacidade instalada das ETEs e posterior comparação com a capacidade exigida, segundo os critérios da ABNT, para a população atendida.

Tabela 3.7 – Resumo dos parâmetros adotados para dimensionamento das unidades de tratamento da ETE Romão dos Reis.

Parâmetros	Unidades	Tanque séptico	Filtro anaeróbio
Dados levantados			
Largura	m	1,80	-
Comprimento	m	4,00	-
Diâmetro	m	-	2,00
Profundidade útil	m	2,50	2,37
Área	m ²	7,20	3,14
Volume útil	m ³	18,00	7,44
População atendida	Hab	275	275
Contribuição de despejos – C	L hab ⁻¹ d ⁻¹	70,00	70,00
Contribuição de despejos (total)	L d ⁻¹	19.250	19.250
Dados tabelados - NBR 7.229 (1993)			
Período de retenção – T	d	0,5	0,5
Taxa de acumulação de lodo digerido – K	d	65	65
Contribuição de lodo fresco – Lf	L hab ⁻¹ d ⁻¹	1	1

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 3.8 – Resumo dos parâmetros adotados para dimensionamento das unidades de tratamento das ETEs Coelhas I e Coelhas II.

Parâmetros	Unidades	Tanque séptico e filtro anaeróbio	
		Coelhas I	Coelhas II
Dados levantados			
Volume útil	m³	20,0	20,0
Diâmetro médio	m	2,75	2,75
Área superficial média	m²	5,94	5,94
População atendida	Hab	494	476
Contribuição de despejos – C	L hab ⁻¹ d ⁻¹	61,0	65,0
Contribuição de despejos (total)	L d ⁻¹	30.134	30.940
Dados tabelados - NBR 7229 (1993)			
Período de retenção – T	d	0,5	0,5
Taxa de acumulação de lodo digerido – K	d	65	65
Contribuição de lodo fresco – Lf	L hab ⁻¹ d ⁻¹	1	1

Fonte: Da autora (2019).

Na Tabela 3.11 é apresentada uma comparação entre os volumes dos tanques sépticos e filtros anaeróbios calculados segundo os critérios da ABNT para a população atendida pelas ETEs e os volumes reais das unidades de tratamento.

Tabela 3.9 – Volumes das unidades de tratamento pertencentes às avaliadas segundo padrões da NBR 7.229 (1993) e NBR 13.969 (1997) e medições em campo.

Volumes - unidades de tratamento	Volumes obtidos (m ³)		
	Romão dos Reis	Coelhas I	Coelhas II
Volume útil (NBR) - Filtro anaeróbio	15,4	24,1	24,8
Volume útil (real) - Filtro anaeróbio	7,4	20,0	20,0
Volume útil (NBR) - Tanque séptico	28,5	48,2	47,4
Volume útil (real) - Tanque séptico	18,0	20,0	20,0

Fonte: Da autora (2019).

Considerando-se a população atendida pelas ETEs e seu respectivo padrão de consumo de água bem como os padrões de dimensionamento definidos pela NBR 7.229 (1993), os tanques sépticos pertencentes às estações Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II possuem capacidade para atender a populações de até 170, 199 e 195 habitantes, respectivamente. Desse modo, nos tanques sépticos avaliados, as recomendações da ABNT foram extrapoladas, de modo que as populações atendidas pelas ETEs estão cerca

de 62% superiores à calculada para a estação Romão dos Reis e de 148% e 144% para as estações Coelhas I e II, respectivamente.

Quanto aos filtros anaeróbios, as ETEs Coelhas I e II possuem filtros com mesmo volume útil que os tanques sépticos. Tendo em vista que a NBR 13.969 (1997) permite que os filtros anaeróbios possuam dimensões inferiores aos tanques sépticos, a diferença entre o volume calculado e o volume real dessas unidades foi inferior àquela verificada para os tanques sépticos. Os filtros anaeróbios nas referidas estações, de acordo com as proposições da ABNT, possuem capacidade para atender a populações de até 410 e 385 habitantes, respectivamente. Comparando-se tais valores aos atualmente verificados nas ETEs Coelhas I e II tem-se um excedente populacional de 84 e 91 habitantes, respectivamente.

De modo análogo, na estação Romão dos Reis, o filtro anaeróbio apresenta volume inferior ao calculado segundo as proposições da ABNT. Segundo o cálculo efetuado, o referido filtro anaeróbio possui capacidade para realizar o tratamento de esgotos de populações de até 133 habitantes. Atualmente, o efluente gerado por cerca de 275 habitantes é encaminhado para tal unidade de tratamento, o que representa uma população cerca de 107% superior à recomendada pela ABNT.

Desse modo, avaliando-se os critérios propostos nas referidas normas técnicas consultadas, a expansão do atendimento das ETEs para regiões vizinhas não é indicada, tendo em vista que os sistemas avaliados, atualmente, operam com vazões superiores à capacidade instalada.

Além dos parâmetros estabelecidos pela ABNT na NBR 13.969/1997, Chernicharo et al. (2001) definiram faixas usuais, as quais os filtros anaeróbios apresentam melhor desempenho, para os parâmetros taxa de aplicação superficial, carga orgânica volumétrica e TRH. Tais faixas foram elaboradas tendo como base o desempenho de filtros anaeróbios operados no Brasil em escala plena no âmbito do projeto PROSAB.

De acordo com os autores citados, avaliando-se as experiências brasileiras realizadas em escala plena, dos parâmetros intervenientes estudados, o TRH demonstrou ser aquele que mais influencia o desempenho de filtros anaeróbios tratando esgotos domésticos, desse modo, os valores de limites inferiores indicados na Tabela 3.13 devem ser evitados.

Para a avaliação dos tempos de retenção hidráulica, as quais as estações avaliadas operam, foram utilizados os volumes dos filtros anaeróbios das ETEs (Tabelas 3.9 e 3.10),

bem como suas respectivas vazões médias afluentes (calculadas tendo como base os dados de consumo de água da população atendida) (Tabela 3.12).

Tabela 3.10 – Dados de entrada utilizados para o cálculo da carga orgânica volumétrica das ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis.

Parâmetro	ETE		
	Coelhas I	Coelhas II	Romão dos Reis
Concentração DBO (kg m^{-3})	0,32	0,29	0,34
Vazão média afluente ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)	23,3	23,3	15,6
Volume do filtro anaeróbio (m^3)	20,0	20,0	7,4

Fonte: Da autora (2019).

Os valores obtidos foram de 20 horas para as ETEs Coelhas I e II e 11 horas para a ETE Romão dos Reis (Tabela 3.13). Tais valores são superiores aos indicados por Chernicharo et al. (2001) e demonstram que, apesar dessas unidades de tratamento apresentarem volumes inferiores aos recomendados pela NBR 13.969 (ABNT, 1997), o TRH mínimo indicado na referida norma (12 horas) é atendido nas ETEs Coelhas I e II e praticamente atendido na ETE Romão dos Reis. Isso ocorre em função da aplicação da equação de dimensionamento de filtros anaeróbios proposta pela ABNT, que recomenda um acréscimo de 60% no volume calculado tendo por base a vazão de esgotos afluente e o volume das unidades.

Tabela 3.11- Parâmetros recomendados para o projeto de filtros anaeróbios aplicados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.

Parâmetros de projeto ¹	Faixa de valores ²	Valores calculados		
		Coelhas I	Coelhas II	Romão dos Reis
TRH (h)	5,0 a 10,0	20	20	11
COV em termos de DBO ($\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	0,15 a 0,50	0,37	0,34	0,72
TAS ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	6,0 a 10,0	3,92	3,92	4,97

Nota. ¹TRH: Tempo de retenção hidráulica; COV: Carga orgânica volumétrica; TAS: Taxa de aplicação superficial. ²Faixa de valores recomendados por Chernicharo et al. (2001) considerando a vazão média afluente

Fonte: Da autora (2019).

O TRH dos tanques sépticos pertencentes às ETEs Romão dos Reis, Coelhas I e II também foi avaliado utilizando-se os dados referentes ao volume útil das unidades (Tabelas 3.9 e 3.10) e às vazões afluentes indicadas na Tabela 3.12. Os valores obtidos

foram de 20,6 horas para as ETEs Coelhas I e II e 27,7 horas para a ETE Romão dos Reis, sendo estes condizentes com os dispostos na NBR 7229 (ABNT, 1993).

Vale ressaltar que os valores de TRH sofrem influência das práticas operacionais adotadas nas ETEs, de modo que, quanto maior o intervalo de limpeza adotado para as unidades de tratamento menor será o TRH real, tendo em vista que o acúmulo do lodo depositado no fundo do tanque acarreta na redução do volume útil dessa unidade. A diminuição do TRH pode ocasionar uma queda na eficiência do tanque séptico ou, ainda, resultar no carreamento de sólidos, fazendo com que o tanque não cumpra a função de tratar o esgoto e funcione unicamente como uma caixa de passagem, não garantindo o tempo de retenção do líquido necessário ao efetivo tratamento (CHERNICHARO, 2007).

Moussavi, Kazembeigi e Farzadkia (2010) avaliaram o tratamento anaeróbio de efluentes domésticos em tanque séptico submetido a três diferentes tempos de retenção hidráulica e verificaram que, com a utilização de um TRH de 24 horas, foram observados os melhores resultados em termos de eficiência de remoção de DBO, DQO e SST, obtendo eficiências de 85%, 77% e 86%, respectivamente. Os autores verificaram que durante a utilização de TRH menores que 12 horas houve uma deterioração da qualidade do efluente, reduzindo expressivamente o desempenho do tanque séptico.

Os demais parâmetros, que possuem faixas usuais definidas por Chernicharo et al. (2001), são a carga orgânica volumétrica e a taxa de aplicação superficial.

A carga orgânica volumétrica refere-se à quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao filtro anaeróbio, por unidade de volume do filtro. Segundo Chernicharo et al. (2001), as pesquisas realizadas no âmbito do PROSAB indicaram que os efluentes de filtros anaeróbios podem atender aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente, em termos de concentração de DBO, quando tais unidades são operadas com cargas orgânicas volumétricas na faixa de 0,15 a 0,50 kg DBO m⁻³ d⁻¹ para o volume total do filtro. Na Tabela 3.12 são indicados os dados utilizados para o cálculo da carga orgânica volumétrica nas ETEs avaliadas. As concentrações de DBO foram obtidas por meio do cálculo da média desse parâmetro no esgoto afluente ao filtro anaeróbio durante o período monitorado.

As cargas orgânicas volumétricas, em termos de DBO, obtidas para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis foram de 0,37, 0,34 e 0,72 kg m⁻³ d⁻¹, respectivamente. Comparando-se tais valores com a faixa reportada na Tabela 3.13, verifica-se que nas ETEs Coelhas I e Coelhas II a aplicação de cargas orgânicas por volume dos filtros anaeróbios é condizente com a faixa ideal citada por Chernicharo et al.

(2001). O resultado da ETE Romão dos Reis, por sua vez, indicou que atualmente o filtro anaeróbio dessa estação é operado com carga orgânica volumétrica superior à faixa ideal referida, o que ocorreu em função do menor volume dessa unidade.

A taxa de aplicação hidráulica superficial refere-se à quantidade de esgotos aplicados diariamente ao filtro anaeróbio, por unidade de área. Assim como mencionado para a carga orgânica volumétrica, Chernicharo et al. (2001) cita que estudos realizados no âmbito do projeto PROSAB estabeleceram a faixa ideal para a taxa de aplicação hidráulica superficial em filtros anaeróbios, sendo esta de 6 a 15 m³ m⁻² d⁻¹.

Utilizando-se as informações referentes à área superficial dos filtros anaeróbios indicadas nas Tabelas 3.9 e 3.10 bem como os dados de vazão presentes na Tabela 3.12 foram calculadas as taxas de aplicação hidráulica superficial para as ETEs avaliadas.

Os valores obtidos foram de 3,92 m³ m⁻² d⁻¹ para as estações Coelhas I e II e 4,97 m³ m⁻² d⁻¹ para a estação Romão dos Reis. Avaliando-se a faixa ideal para tal parâmetro, indicada na Tabela 3.13, verifica-se que os filtros anaeróbios pertencentes às três ETEs avaliadas operam com taxas de aplicação inferiores às recomendadas. Esse fato está associado aos hábitos de consumo de água da população atendida que, conforme será exposto na unidade seguinte, apresenta consumo inferior à média nacional. Tal condição acarreta a diminuição da vazão do esgoto afluente e, conseqüentemente, na diminuição das taxas de aplicação hidráulica superficiais.

Em relação às unidades de tratamento preliminar, na ETE Romão dos Reis, embora conste no projeto avaliado a utilização de grades, atualmente, estas não estão presentes na estação, tendo sido substituídas por uma peneira adaptada no ponto de entrada do efluente.

Avaliando-se as dimensões da caixa de areia, verifica-se que, em função das baixas vazões afluentes, as taxas de escoamento superficial encontram-se muito inferiores à mínima indicada (600 m³ m⁻² d⁻¹) para tal unidade na NBR 12.209 (ABNT, 2011). O valor calculado, em função das dimensões da caixa de areia bem como da vazão máxima aplicada diariamente, é correspondente a cerca de 6% do valor mínimo indicado. Adicionalmente, foram verificadas baixas velocidades de escoamento nessa unidade o que, conforme indicado na Figura 3.8, acarretou o depósito de matéria orgânica na caixa e, como consequência, na incidência de insetos.



Figura 3.8 – Incidência de insetos na caixa de areia pertencente à ETE Romão dos Reis.
Fonte: Da autora (2019).

3.3.3 Caracterização do esgoto bruto

3.3.3.1 Caracterização físico-química do efluente

Conforme descrito na subseção 3.2.2, o esgoto bruto avaliado nesse estudo é proveniente de residências localizadas nos bairros Romão dos Reis e São Francisco de Assis, pertencentes ao município de Viçosa (MG).

Os resultados das concentrações médias obtidas para os principais parâmetros de qualidade físico-químicos do esgoto bruto, que foi coletado na entrada do sistema de tratamento no turno matutino (entre as 8:00 e 10:00 h) ao longo do período monitorado, são apresentados na Tabela 3.14. Além dos valores obtidos durante o período de monitoramento, a Tabela 3.14 indica os valores típicos dos respectivos parâmetros físicos e químicos para esgotos sanitários, de acordo com Metcalf e Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2017).

O esgoto afluente às ETEs avaliadas apresentou concentrações superiores às típicas relatadas na Tabela 3.14 para a maioria dos parâmetros avaliados. Tal fato corrobora com os estudos de Oliveira e Von Sperling (2011) que, ao avaliar diferentes sistemas de tratamento de esgotos nos estados de São Paulo e Minas Gerais, verificaram que, nos sistemas constituídos por tanque séptico seguido por filtro anaeróbio, as

concentrações do esgoto afluyente foram mais elevadas que nas demais modalidades de tratamento avaliadas para os constituintes DBO, DQO e SST. A mesma característica foi observada por Galvão Junior et al. (2001) que, ao avaliar a eficiência operacional dos sistemas de tratamento constituídos por TS+FAN em quatro municípios do estado de São Paulo, verificaram valores médios das concentrações de DBO afluyente bastante elevados, variando de 480 a 990 mg L⁻¹. Tal comportamento pode estar relacionado às características intrínsecas da população atendida por tais sistemas simplificados de tratamento.

Tabela 3.12 - Caracterização qualitativa do esgoto bruto afluyente às ETEs avaliadas.

Parâmetro	ETEs						Esgoto sanitário típico ²		
	n ¹	Romão	n	Coelhas I	n	Coelhas II	Forte	Médio	Fraco
DBO (mg L ⁻¹)	13	588 ± 162	10	589 ± 131	12	577 ± 129	400	220	110
DQO (mg L ⁻¹)	11	943 ± 287	12	1.067 ± 253	13	1.274 ± 351	1.000	500	250
ST (mg L ⁻¹)	14	939 ± 497	13	1.591 ± 602	12	1.224 ± 476	1.200	720	350
SST (mg L ⁻¹)	14	317 ± 130	13	511 ± 166	13	403 ± 137	350	220	100
SDT (mg L ⁻¹)	14	621 ± 493	13	1081 ± 622	12	880 ± 438	850	500	250
Ssed (mg L ⁻¹)	14	5,7 ± 5,4	13	11,7 ± 6,7	13	7,2 ± 2,9	20	10	5
SFT (mg L ⁻¹)	7	560 ± 336	6	430 ± 291	7	476 ± 136	925	555	270
SVT (mg L ⁻¹)	7	611 ± 345	6	710 ± 184	7	840 ± 460	800	465	225
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	13	75 ± 34	8	114 ± 32	11	137 ± 68	50	25	12
pH	14	7,5 ± 0,7	13	7,5 ± 0,7	13	7,4 ± 0,6	7 (entre 6,5 e 7,5)		
Temperatura (°C)	14	23,2 ± 2,0	13	24,4 ± 1,8	13	23,7 ± 1,5	20 a 25		
Turbidez (UNT)	14	238 ± 182	13	432 ± 189	13	394 ± 134	-		

Nota: ¹Número de amostras utilizadas. ²Adaptado de Metcalf e Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2017).

Fonte: Da autora (2019).

Al-Shayah e Mahmoud (2008) avaliando o desempenho de soluções individuais de tratamento de esgoto doméstico na Palestina, verificaram que o esgoto bruto utilizado durante o estudo era caracterizado pela elevada concentração de poluentes. Segundo Mahmoud et al. (2003), tal característica verificada no esgoto bruto nessa região está relacionada ao baixo consumo de água e aos hábitos da população atendida.

De acordo com Von Sperling (2014), em esgotos sanitários, a concentração dos poluentes pode variar em função de diversos fatores, tais como a contribuição per capita do poluente, o consumo per capita de água, a presença de despejos industriais, dentre outros. Em regiões cuja população residente apresenta baixo consumo de água os esgotos gerados apresentam maior concentração, com valores que, por vezes, excedem as faixas típicas relatadas na literatura.

O baixo consumo de água comumente é verificado em regiões que abrigam populações de baixa renda. Hussien, Memon e Savic (2016) em estudo que avaliou o padrão de consumo de água per capita em países em desenvolvimento, concluíram que o consumo de água é menor em residências de baixa renda.

No Brasil, Campos e Von Sperling (1995), ao avaliar esgotos predominantemente domiciliares na região de Belo Horizonte, verificaram a existência de uma relação entre a concentração de DBO no esgoto gerado e o rendimento familiar médio mensal da população atendida, de modo que, o esgoto gerado por famílias com baixa renda mensal apresentou maior concentração de DBO.

De acordo com informações da Caixa Econômica Federal, os conjuntos habitacionais Benjamim José Cardoso e César Santana Filho foram construídos visando atender a população pertencente à faixa 1 de classificação do PMCMV que, durante a fase 2 do programa (2011 a 2014), contemplava famílias que possuíam renda bruta familiar mensal de até R\$ 1.600.

Verificando-se os dados de consumo de água no ano de 2017 nas regiões atendidas pelas ETEs avaliadas (Figura 3.9), obtidos junto ao SAAE/Viçosa, verifica-se que o consumo de água per capita em todas as regiões foi inferior ao valor médio no país que, de acordo com os dados da pesquisa Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA), assume valores em torno de $108,4 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (BRASIL, 2018). Desse modo, o baixo consumo de água, relacionado à baixa renda familiar da população atendida, resultou na geração de esgotos com concentrações superiores aos valores típicos relatados.

A estação Coelhas I apresentou menor consumo médio mensal de água, cerca de 1,8 vezes inferior à média nacional, o que resultou em maiores concentrações de sólidos nos esgotos gerados.

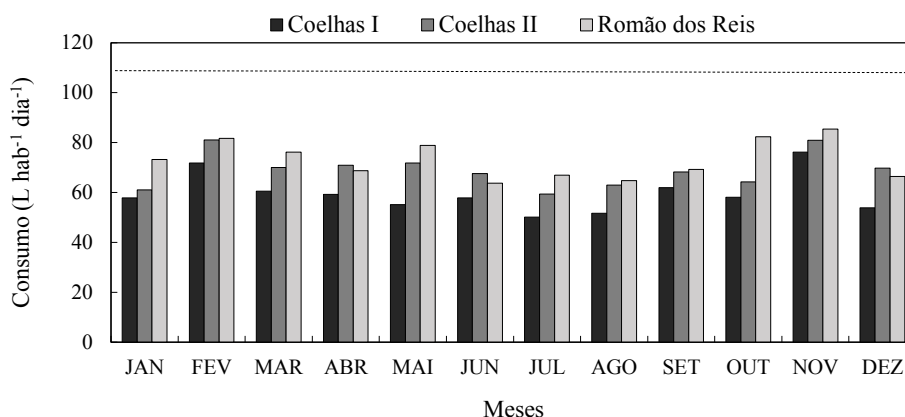


Figura 3.9 – Consumo de água per capita nas regiões atendidas pelas ETEs em estudo.

Nota: Linha tracejada indica o consumo de água médio per capita no Brasil (IBGE, 2018).

Fonte: Da autora (2019).

Em relação à biodegradabilidade do esgoto bruto afluente às três ETEs estudadas foi verificada uma boa condição, sendo esta evidenciada pela baixa relação DQO/DBO, que assumiu valores de 1,7; 2,1 e 2,3 para as estações Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II, respectivamente. Segundo Von Sperling (2014), para esgotos domésticos brutos, a relação DQO/DBO comumente varia em torno de 1,7 a 2,4. Em estudo realizado por esse autor em 163 ETEs em operação foi verificado que 50% dos dados apresentaram relação DQO/DBO no intervalo de 1,9 a 2,3 (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2011).

Além da baixa relação DQO/DBO, a predominância de sólidos voláteis nos efluentes em estudo indicou o favorecimento ao emprego de processos biológicos de tratamento.

Assim, como nos parâmetros indicadores de matéria orgânica e sólidos, as concentrações de nitrogênio amoniacal apresentaram valores superiores aos típicos relatados, sobretudo para a estação Coelhas I. De acordo com Cruz, Tonetti e Gomes (2018), que avaliaram o tratamento descentralizado de esgoto doméstico em áreas rurais, esse comportamento pode estar associado à baixa diluição do esgoto gerado bem como à sua origem. Os autores citam que em pequenas comunidades que não possuem atividades industriais e comerciais, as águas residuárias domésticas geradas são basicamente oriundas de banheiros e cozinhas e, portanto, mais concentradas em termos de nitrogênio amoniacal.

Para sólidos sedimentáveis foram obtidos valores médios de 11,7 mL L⁻¹, 7,2 mL L⁻¹ e 5,7 mL L⁻¹ para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

Tais valores encontram-se próximos aos típicos indicados para esgotos domésticos de média concentração.

Os valores de pH e temperatura estiveram, em média, dentro da faixa (6,5 a 7,5) indicada por Metcalf e Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2017). No entanto, em relação ao pH, cerca de 54%, 61% e 71% dos valores obtidos no efluente bruto das estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente, estiveram acima da faixa indicada.

De modo semelhante, a temperatura do efluente apresentou valores diferentes dos típicos citados em 46% dos dados obtidos na estação Coelhas I, 15% na estação Coelhas II e 29% na estação Romão dos Reis, o que está associado às oscilações na temperatura ambiente devido à transição entre as estações. Contudo, em todas as medições realizadas, os efluentes apresentaram temperaturas superiores a 15 ° C, sendo este o valor mínimo indicado por Chernicharo (2007) ao qual a atividade microbiana em processos anaeróbios não é comprometida. Segundo o mesmo autor, nesses processos, a temperatura ideal do esgoto é de 25 a 35 ° C.

3.3.3.2 Caracterização física e química e da vazão do efluente ao longo do dia

Para a avaliação da variação das características do esgoto afluente aos sistemas avaliados, foi realizado monitoramento em três horários distintos do dia em cada uma das ETEs. Os valores obtidos no monitoramento são indicados na Tabela 3.15.

As vazões do esgoto medidas nas três ETEs em estudo apresentaram valores médios diários de 0,23 L s⁻¹, 0,26 L s⁻¹ e 0,19 L s⁻¹ para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente (Tabela 3.16).

Avaliando-se os dados de consumo efetivo de água referentes às três regiões em estudo (Figura 3.9) e, considerando-se o coeficiente de retorno esgoto/água igual a 0,8, foi verificado que as vazões de esgoto esperadas para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis seriam de 0,27 L s⁻¹, 0,27 L s⁻¹ e 0,18 L s⁻¹, respectivamente. Desse modo, nota-se que os valores medidos em campo apresentaram semelhança com aqueles calculados de maneira indireta, por meio de dados de consumo de água (Tabela 3.16).

Tabela 3.13 - Caracterização do esgoto afluyente às ETEs em horários distintos do dia.

Parâmetro	Coelhas I			Coelhas II			Romão dos Reis		
	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00
Vazão (L s ⁻¹)	0,30	0,20	0,20	0,31	0,21	0,25	0,20	0,20	0,16
DBO (mg L ⁻¹)	502	500	485	798	649	1012	600	392	798
Carga (kg d ⁻¹)	13,0	8,6	8,4	21,4	11,8	21,9	10,4	6,8	11,0
DQO (mg L ⁻¹)	1.179	932	1.054	1.090	1.084	1.172	1.510	1.170	930
ST (mg L ⁻¹)	1.679	1.585	1.510	1.615	972	1.020	1.428	462	678
SST (mg L ⁻¹)	355	365	400	195	315	495	288	213	180
SDT (mg L ⁻¹)	1.324	1.220	1.110	1.420	657	525	1.140	249	498
Ssed (mL L ⁻¹)	23	13	11	3,5	6,1	5,9	16	6	1
SFT (mg L ⁻¹)	1.045	625	720	380	254	366	548	348	232
SVT (mg L ⁻¹)	634	960	790	1.235	718	654	880	114	446
Temp (°C)	25,4	-	-	25,5	25,3	25,2	21,9	22,2	21,9
Turb (UNT)	297	371	332	299	414	460	426	241	266

Fonte: Da autora (2019).

Tabela 3.14 - Comparação entre vazões medidas e calculadas nas ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis.

Parâmetro	ETE		
	Coelhas I	Coelhas II	Romão dos Reis
Vazão média real ¹	0,23	0,26	0,19
Vazão média calculada ²	0,27	0,27	0,18

Nota. ¹Vazão medida em campo utilizando o método volumétrico direto. ²Vazão calculada por meio dos dados de consumo de água referentes à população atendida por cada uma das ETEs.

Fonte: Da autora (2019).

As pequenas variações observadas podem estar relacionadas à existência de coeficientes de retorno diferentes do valor teórico adotado, tendo em vista que, segundo Metcalf e Eddy (2016), tal fator pode variar de 0,5 a 0,9 em função de diferentes condições locais, sendo os menores valores correspondentes a áreas rurais ou áreas residenciais que possuem jardins e os maiores valores às áreas urbanas ou densamente povoadas. Considerando-se tais variações, o coeficiente de retorno na região atendida pelas estações Coelhas I e II é de 0,70 e 0,75, respectivamente, enquanto na estação Romão dos Reis assume o valor de 0,85. Vale ressaltar que as variações observadas podem, ainda, estar relacionadas à menor precisão do método de medição utilizado, tendo em vista que as estações avaliadas não possuem dispositivos de medição de vazão instalados.

De modo geral, o esgoto afluente às ETEs apresentou maiores vazões no período matutino, onde a razão $Q/Q_{\text{média}}$ apresentou valores de 1,3; 1,2 e 1,1 para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente. Nos demais horários avaliados houve uma diminuição das vazões em relação ao primeiro valor medido, de modo que nas estações Coelhas II e Romão dos Reis, os menores valores foram observados no horário das 16:00 h.

As variações nas vazões de esgotos observadas a curto prazo são comuns, tendo em vista que tal parâmetro reflete as alterações que ocorrem nos postos de trabalho e atividades desenvolvidas pela população atendida ao longo do dia.

Para sistemas de tratamento de esgotos descentralizados, destinados a atender comunidades de pequeno porte, tais variações são mais acentuadas. Isso ocorre pois em grandes cidades, ou maiores bacias de contribuição, a variação da vazão é amortecida pelo comportamento dos grandes interceptores utilizados, que atuam como reservatório de amortecimento de cheias. Além disso, a menor variação na vazão está relacionada à diversidade de atividades e costumes da maior população atendida. Em sistemas descentralizados, devido ao atendimento de pequenas comunidades e à proximidade da rede coletora de esgotos com o local de tratamento, tal amortecimento das flutuações diárias de vazão é menos acentuado (JORDÃO e PESSOA, 2017).

Analisando-se as cargas orgânicas afluentes às ETEs, verifica-se que as maiores cargas ocorreram no período matutino nas três estações avaliadas, sendo este o período ao qual as amostras comumente foram coletadas ao longo do monitoramento (Tabela 3.15). No entanto, as cargas verificadas nesse período apresentam valores próximos aos médios diários calculados sendo estes $10,0 \text{ kg d}^{-1}$, $18,3 \text{ kg d}^{-1}$ e $9,4 \text{ kg d}^{-1}$ para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

Em relação à caracterização física e química do esgoto em diferentes horários do dia, foi verificado que os valores médios diários obtidos foram condizentes com as médias e valores de dispersão dos dados avaliados durante todo o período de monitoramento (Tabela 3.14). Contudo, para o parâmetro DBO na estação de tratamento Coelhas II, a concentração média obtida no monitoramento ao longo do dia foi superior às concentrações verificadas durante todo o período monitorado.

3.3.4 Desempenho geral das ETEs e avaliação das eficiências de remoção

3.3.4.1 DBO e DQO

As informações relativas às concentrações afluentes e efluentes de DBO observadas nas três ETEs são apresentadas na forma de gráficos Boxplot, conforme indicado na Figura 3.10. Nesses gráficos são representados os valores mínimos e máximos, os percentis 25 e 75% e a mediana das concentrações de DBO obtidas ao longo do período de monitoramento, bem como os valores discrepantes (*outliers*).

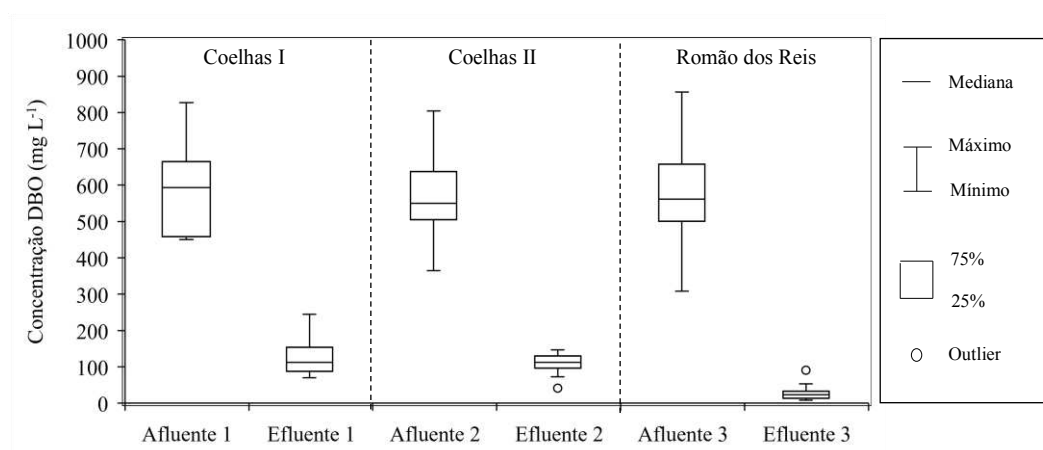


Figura 3.10 – Boxplot das concentrações afluentes e efluentes às ETEs em relação ao parâmetro DBO.

Fonte: Da autora (2019).

Conforme exposto na unidade anterior, o esgoto afluente às três estações de tratamento mostrou-se bem mais concentrado que o usual para esgotos domésticos, considerando-se os constituintes DBO e DQO. Na ETE Coelhas I, em todas as análises realizadas, foram obtidas concentrações de DBO superiores aos valores típicos citados por Metcalf e Eddy (2014). Nas ETEs Coelhas II e Romão dos Reis, por sua vez, as análises que apresentaram concentrações superiores às típicas relatadas representaram cerca de 83% e 91% do total, respectivamente. Nessas estações, as concentrações mínimas verificadas apresentaram valores próximos a 400 mg L^{-1} , sendo este o valor definido como típico para esgotos domésticos muito concentrados.

As médias das concentrações encontradas foram de 589, 577 e 588 mg L^{-1} para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente. Verifica-se que, em geral, as estações de tratamento apresentaram elevada variabilidade nas concentrações

afluentes, sendo observados episódios esparsos de concentrações muito superiores ou inferiores às médias observadas. Tal variação foi mais acentuada na ETE Romão dos Reis, que apresentou concentrações no intervalo de 310 a 856 mg L⁻¹.

Segundo Leitão et al. (2006), águas residuárias domésticas geralmente apresentam elevadas variações de vazão e composição em função do número de habitantes e moradias conectadas ao sistema de esgoto. Dentre as ETEs avaliadas, a Romão dos Reis caracteriza-se por realizar o atendimento à menor população. Em função disso, a rede coletora de esgotos nessa região possui menor extensão (512 metros) que nas regiões atendidas pelas demais estações (1.018 metros na ETE Coelhas I e 1.100 metros na ETE Coelhas II). Acredita-se que tal fato possa ter contribuído para a ocorrência de maior variação nas amostras coletadas, tendo em vista que redes de esgotos de maior extensão podem absorver parte das variações de carga advindas de diferentes moradias.

Em relação às concentrações efluentes de DBO, foi observada uma menor variabilidade dos dados em todas as estações de tratamento, cujos valores médios foram de 127 mg L⁻¹, 108 mg L⁻¹ e 33 mg L⁻¹ para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

A estação Romão dos Reis apresentou a menor variabilidade nos dados, bem como as menores concentrações efluentes de DBO, sendo verificado que em 50% das análises realizadas foram obtidas concentrações no intervalo de 14 a 33 mg L⁻¹. As ETEs Coelhas I e II, por sua vez, apresentaram resultados semelhantes entre si, de modo que 50% dos dados apresentaram concentrações de DBO variando de 88 a 154 mg L⁻¹ para a primeira e de 97 a 130 mg L⁻¹ para a última. Tais valores foram inferiores aos observados por Oliveira e Von Sperling (2011) que, ao avaliar efluentes de filtros anaeróbios precedidos de tanques sépticos em escala plena, obtiveram concentrações no intervalo de 74 a 575 mg L⁻¹, de modo que 50% dos dados corresponderam à faixa de concentração de 110 a 400 mg L⁻¹.

Os mesmos autores relatam as concentrações efluentes de DBO esperadas para essa concepção de tratamento. A Tabela 3.17 apresenta uma comparação entre tais concentrações e as concentrações obtidas no presente estudo. Verifica-se que as concentrações de DBO efluentes foram, em geral, superiores às indicadas por Oliveira e Von Sperling (2011). No entanto, esse comportamento é justificado em virtude da alta concentração afluente verificada durante o ensaio de caracterização do esgoto bruto, bem como do monitoramento realizado durante todo o período de estudo.

Tabela 3.15 – Comparação entre as concentrações efluentes e eficiências de remoção de DBO e DQO segundo a literatura e observação em campo.

ETE	Parâmetro	Eficiência		Concentração (mg L ⁻¹)	
		Literatura ¹	Observada	Literatura ²	Observada
Coelhas I	DBO		63 a 85%		70 a 245
Coelhas II		70 a 90%	65 a 94%	40 a 80	41 a 147
Romão dos Reis			76 a 98%		8 a 91
Coelhas I	DQO		33 a 78%		209 a 789
Coelhas II		70 a 80%	31 a 84%	100 a 200	394 a 656
Romão dos Reis			71 a 97%		23 a 283

(1) Faixa reportada na literatura: ABNT (1997); Chernicharo (2007); Jordão e Pessoa (2017); Von Sperling (2014); (2) Faixa reportada por Oliveira e Von Sperling (2011).

Fonte: Da autora (2019).

A legislação ambiental de Minas Gerais que dispõe sobre o padrão de lançamento de efluentes em cursos d'água (DN COPAM/CERH nº 01/2008) estabelece que os efluentes sanitários devem possuir concentração de DBO máxima de 60 mg L⁻¹. Considerando-se tal condição, verifica-se que apenas a estação Romão dos Reis cumpre tal requisito de qualidade. Contudo, a mesma Deliberação Normativa cita que a concentração limite poderá ser ultrapassada em situações onde o sistema de tratamento de águas residuárias utilizado possibilite a redução da carga poluidora em, no mínimo, 60% do valor inicial e possua eficiência média anual de 70%. Tal condição foi obtida para todas as estações de tratamento avaliadas, conforme indicado na Figura 3.11.

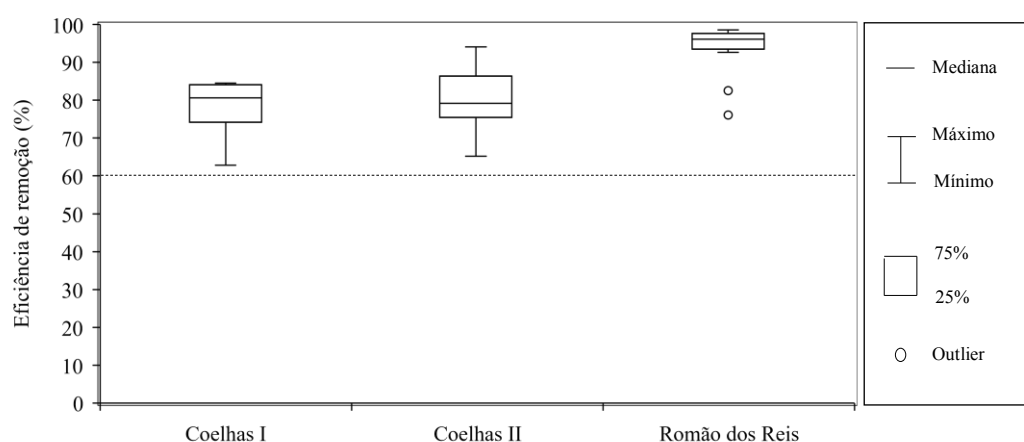


Figura 3.11 – Boxplot das eficiências remoção de DBO nas estações avaliadas.

Nota: Linha tracejada indica a eficiência de remoção mínima necessária para o lançamento de efluentes sanitários em cursos d'água segundo a DN COPAM/CERH nº 01/2008.

Fonte: Da autora (2019).

O melhor desempenho em termos de redução da carga orgânica inicial, foi verificado na estação Romão dos Reis, em que 50% dos dados apresentaram valores no intervalo de 93 a 96%. Assim como verificado em termos de concentrações efluentes, as estações Coelhas I e II apresentaram desempenho similar, onde em 50% das análises realizadas foram obtidos percentuais de remoção na faixa de 74 a 84% e 75 a 86%, respectivamente. A similaridade no desempenho das estações está relacionada à utilização de unidades de tratamento que possuem a mesma constituição em relação ao modelo compacto, número de unidades, meio de suporte utilizado no filtro anaeróbio, bem como às características hidráulicas e composição do esgoto bruto, tendo em vista que ambas realizam o tratamento de esgotos oriundos de populações com tamanho e características semelhantes.

Avaliando-se as eficiências médias de remoção de DBO reportadas na literatura e indicadas na Tabela 3.17, verifica-se que o desempenho da ETE Romão dos Reis foi condizente com o esperado para tanques sépticos e filtros anaeróbios. Durante todo o período de monitoramento tal ETE apresentou valores de eficiência de remoção de DBO dentro ou superior à faixa reportada. Nas ETEs Coelhas I e II, no entanto, parte das análises indicaram percentuais de eficiência inferiores aos esperados para a concepção de tratamento avaliada. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e Von Sperling (2011) que, ao analisar eficiências de remoção de contaminantes em 19 ETEs que utilizam sistema TS+FAN, observaram que as eficiências médias de remoção nos sistemas avaliados apresentaram valores inferiores aos relatados na literatura, indicando o baixo desempenho das unidades na remoção de matéria orgânica.

Uma comparação mais detalhada a respeito das eficiências observadas ao longo do monitoramento e os valores típicos relatados na literatura foi efetuada para verificação do percentual de amostras em cada ETE com resultados inferiores ou superiores às faixas reportadas. Os resultados obtidos são indicados na Figura 3.12.

A faixa de eficiência de remoção de DBO reportada na Tabela 3.17 para sistemas TS+FAN é de 70 a 90%. Na maior parte das amostragens realizadas as eficiências de remoção estiveram dentro ou acima da referida faixa nas três estações avaliadas. No entanto, as ETEs Coelhas I e II demonstraram desempenho inferior ao verificado na ETE Romão dos Reis. Nessas estações foram verificadas eficiências inferiores à faixa reportada em 10 e 16,7% das análises realizadas, respectivamente. As ETEs Coelhas II e Romão dos Reis apresentaram também eficiências de remoção de DBO superiores a 90%,

portanto, melhor desempenho que o esperado. Esse fato foi mais recorrente na estação Romão dos Reis, onde cerca de 85% dos dados apresentaram tal comportamento.

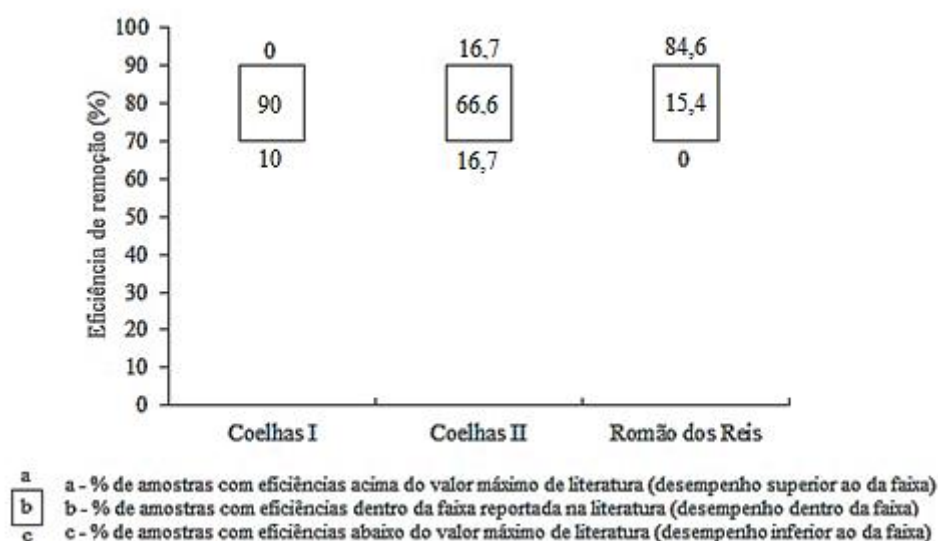


Figura 3.12 – Percentual de amostras com eficiências de remoção de DBO abaixo, dentro ou acima das faixas de referência reportadas na literatura.

Fonte: Da autora (2019).

Chernicharo et al. (2001), baseados na experiência brasileira de utilização de filtros anaeróbios como pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, relatam que o efluente de filtros anaeróbios é, geralmente, muito clarificado e possui relativamente baixa concentração de matéria orgânica, inclusive dissolvida. Apesar disso, a elevada eficiência de remoção de DBO verificada na ETE Romão dos Reis não é considerada usual para sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios.

A realização de práticas operacionais mais frequentes na ETE Romão dos Reis para a limpeza das unidades de tratamento preliminar pode ter contribuído para o melhor desempenho dessa estação em comparação com as ETES Coelhas I e II.

Em relação ao parâmetro DQO, as informações relativas às concentrações afluentes e efluentes observadas nas três ETES, bem como o comportamento dos dados ao longo do monitoramento, são apresentadas na forma de gráfico boxplot, conforme indicado na Figura 3.13

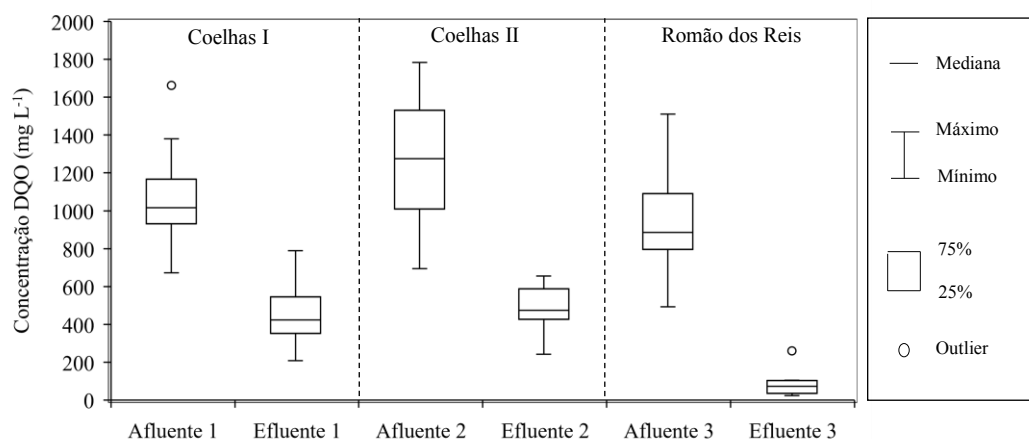


Figura 3.13 – Boxplot das concentrações afluentes e efluentes às ETEs em relação ao parâmetro DQO.

Fonte: Da autora (2019).

As concentrações de DQO afluentes aos sistemas de tratamento, de maneira análoga à DBO, apresentaram valores elevados, sobretudo na estação Coelhas II, onde cerca de 73% das análises indicaram concentrações superiores a 1.000 mg L^{-1} , valor este indicado por Metcalf e Eddy (2016) como típico para esgotos domésticos fortes. Nas estações Coelhas I e Romão de Reis amostras com concentrações superiores ao típico citado representaram cerca de 50 e 33% dos dados totais, respectivamente. Tal comportamento também foi verificado por Oliveira e Von Sperling (2011) que, ao avaliar o desempenho de diferentes tecnologias de tratamento, obtiveram concentração média de DQO de 1.398 mg L^{-1} em estações que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios, sendo este valor o maior entre as tecnologias avaliadas.

A maior variabilidade dos dados foi verificada na estação Coelhas II, cujas concentrações apresentaram valores no intervalo de 695 a 1.784 mg L^{-1} . Nessa estação também foi verificada a maior concentração média de DQO, sendo esta de 1.274 mg L^{-1} , seguida pelas estações Coelhas I e Romão dos Reis que apresentaram concentrações de 1.067 e 943 mg L^{-1} , respectivamente.

Em relação às concentrações efluentes, foram obtidas médias de 466 mg L^{-1} , 493 mg L^{-1} e 96 mg L^{-1} para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente. Conforme indicado na Tabela 3.17, em geral, as concentrações efluentes observadas nas estações Coelhas I e II foram superiores às esperadas para a modalidade de tratamento avaliada, que assume valores no intervalo de 100 a 200 mg L^{-1} . A estação Romão dos Reis, por sua vez, apresentou concentrações de DQO efluentes condizentes com a faixa

reportada na Tabela 3.17, sendo obtidos valores no intervalo de 23 a 105 mg L⁻¹, com a presença de dois pontos dispersos cujas concentrações foram de 283 e 260 mg L⁻¹.

De modo análogo, avaliando-se as eficiências de remoção de DQO nas três ETEs avaliadas, o melhor desempenho foi verificado na estação Romão dos Reis que, durante todo o período de monitoramento, apresentou eficiências iguais ou superiores à faixa indicada na literatura (Figura 3.14). As eficiências variaram de 71 a 97%, com média de 89% e predominância dos dados (91%) acima de 80%. Resultados similares foram obtidos por Alvarado et al. (2017) que, ao avaliar o desempenho de ETEs descentralizadas que utilizam TS+FAN, obtiveram eficiências de remoção de DQO superiores a 90% para quatro das sete ETEs avaliadas.

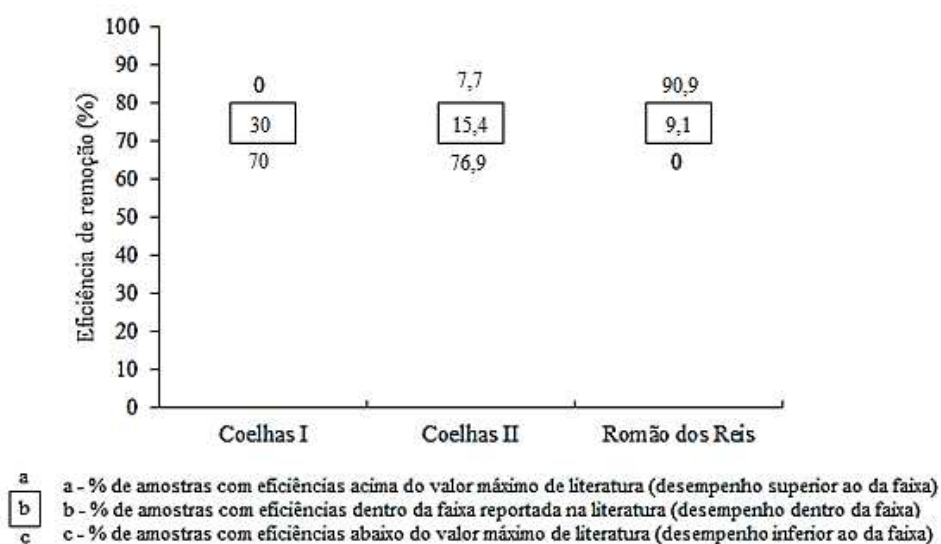


Figura 3.14 – Percentual de amostras com eficiências de remoção de DQO abaixo, dentro ou acima das faixas de referência reportadas na literatura.

Fonte: Da autora (2019).

As ETEs Coelhas I e Coelhas II, por sua vez, apresentaram eficiências de remoção inferiores à faixa reportada na maior parte do período monitorado, conforme evidenciado na Figura 3.14. Com valores extremos semelhantes, tais estações apresentaram eficiências no intervalo de 33 a 78% e 31 a 84%, respectivamente (Figura 3.15). A distribuição dos dados obtidos nas duas estações também apresentou similaridades, com medianas iguais a 60% em ambas estações e 50% dos dados contidos no intervalo de 43 a 71% para a estação Coelhas I e 43 a 65% para a estação Coelhas II.

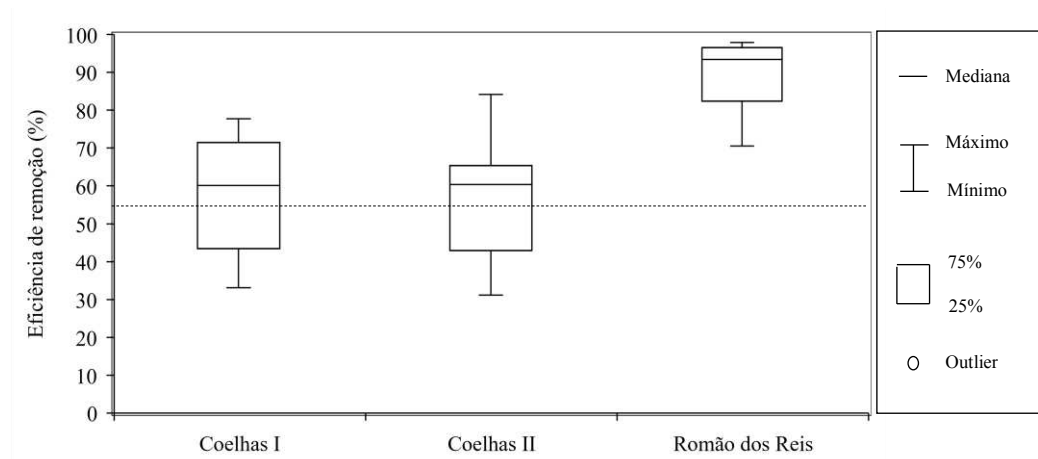


Figura 3.15 – Boxplot das eficiências de remoção de DQO nas estações avaliadas.

Nota: Linha tracejada indica a eficiência de remoção mínima necessária para o lançamento de efluentes sanitários em cursos d'água segundo a DN COPAM/CERH nº 01/2008.

Fonte: Da autora (2019).

O percentual de amostras com eficiências de remoção de DQO abaixo da faixa de referência reportadas na literatura foi de 70% para a estação Coelhas I e 76,9% para a estação Coelhas II.

As eficiências médias calculadas para as estações Coelhas I e II foram de 57 e 58%, respectivamente, sendo estas próximas ao valor obtido por Oliveira e Von Sperling (2011), que classificaram tal desempenho como insatisfatório para a concepção de tratamento avaliada. Silva e Souza (2011) também verificaram valores semelhantes aos encontrados nesse estudo para 16 ETES TS+FAN em escala plena, obtendo eficiência média de 55%.

Avaliando-se a biodegradabilidade do esgoto bruto afluente às estações avaliadas, verifica-se que o esgoto afluente à ETE Romão dos Reis apresentou relação DQO/DBO igual a 1,7 enquanto para as estações Coelhas I e II foram obtidos valores de 2,1 e 2,3, respectivamente. A maior relação DQO/DBO verificada no esgoto afluente às ETES Coelhas I e II indicou que nestes há maior fração de matéria orgânica não biodegradável do que a verificada no esgoto afluente à Romão dos Reis. De acordo com Van Haandel et al. (2015) o material orgânico não biodegradável não é sujeito à ação metabólica dos microrganismos. Desse modo, ao final do tratamento biológico a fração biodegradável da DQO é reduzida ao passo que a fração não biodegradável permanece aproximadamente inalterada (JORDÃO; PESSOA, 2017).

A relação DQO/DBO varia também à medida que o esgoto passa pelas unidades da estação de tratamento, apresentando tendência decrescente em função da redução paulatina da fração biodegradável. De acordo com Jordão e Pessoa (2017) o efluente final do tratamento biológico possui, usualmente, valores de relação DQO/DBO superiores a 2,5, de modo que, quanto maior a eficiência do tratamento em termos de remoção de matéria orgânica, maior será esta relação, que pode chegar a 5,0.

Ao longo do monitoramento os efluentes das três estações apresentaram relações DQO/DBO superiores a 2,5 na maior parte das análises realizadas. Conforme indicado na Figura 3.16, foram verificados valores médios para tal relação próximos a 5, o que apontou reduzida parcela biodegradável nos efluentes finais, sendo este um indicativo do bom desempenho na remoção de matéria orgânica dos sistemas.

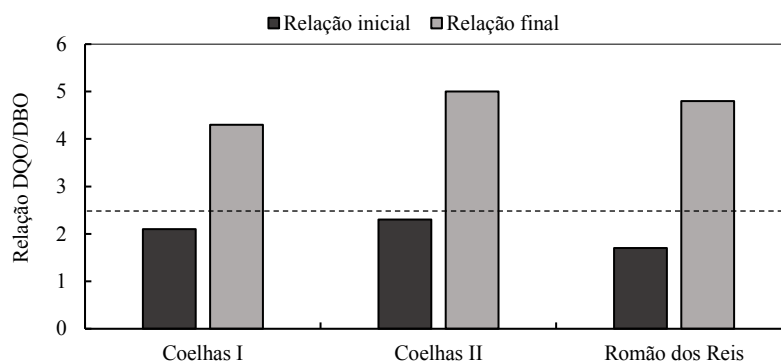


Figura 3.16 – Relação DQO/DBO do esgoto antes e após passagem pelos sistemas de tratamento.

Nota: Linha tracejada indica a relação DQO/DBO mínima usual para efluentes de sistemas de tratamento biológicos segundo Jordão e Pessoa (2017).

Fonte: Da autora (2019).

A baixa eficiência na remoção de DQO identificada em parte das análises realizadas nas estações Coelhas I e II pode estar associada às frequentes perdas de sólidos no efluente dos tanques sépticos que resultaram, por vezes, em concentrações efluentes superiores às afluentes, conforme será detalhado no item 3.4.6.

3.3.4.2 Série de sólidos

A variação das concentrações de sólidos totais obtidas nos pontos de entrada e saída nas três estações de tratamento avaliadas são dispostas na Figura 3.17.

De modo geral, as concentrações afluentes para esse parâmetro apresentaram elevada variabilidade no ponto de entrada em todas as ETEs. Na estação Coelhas I foram verificadas as maiores concentrações de entrada, cujos valores situaram-se no intervalo de 892 a 2.892 mg L⁻¹, apresentando média de 1.591 mg L⁻¹. Em cerca de 70% das análises realizadas nessa estação foram obtidas concentrações superiores a 1.200 mg L⁻¹, valor este indicado por Metcalf e Eddy (2016) como típico para esgotos domésticos de forte concentração. Valores acima do mencionado representaram 54% dos dados na ETE Coelhas II e 21% na ETE Romão dos Reis. Conforme exposto na seção de caracterização do esgoto bruto, o menor consumo médio mensal de água da população atendida pela estação Coelhas I pode ter ocasionado maiores concentrações de sólidos nos esgotos gerados.

A estação Coelhas II apresentou concentrações afluentes de sólidos totais variando de 372 a 1.615 mg L⁻¹ de modo que 50% das análises realizadas indicaram concentrações no intervalo de 986 a 1.483 mg L⁻¹.

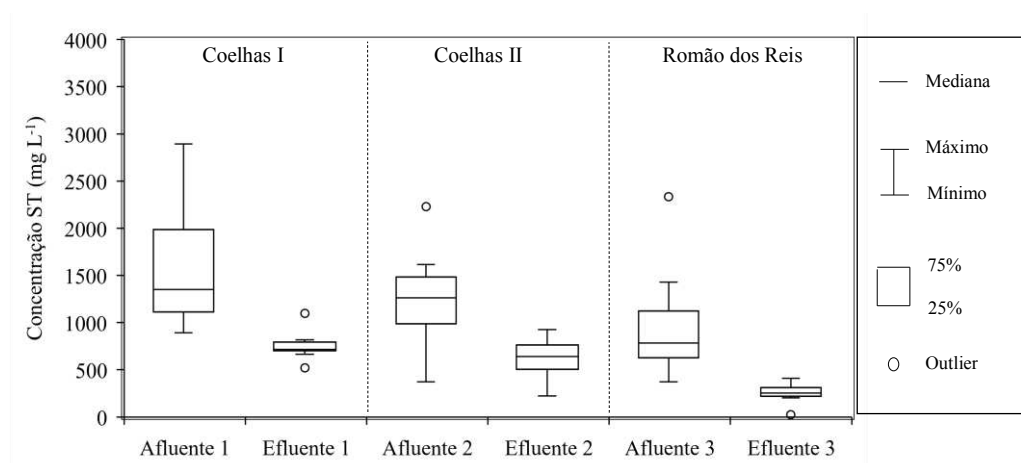


Figura 3.17 – Boxplot das concentrações afluentes e efluentes às ETEs de sólidos totais (ST) no esgoto avaliado.

Fonte: Da autora (2019).

Na ETE Romão dos Reis foram obtidas concentrações afluentes no intervalo de 372 a 1.428 mg L⁻¹, sendo também verificado um valor disperso, cuja concentração foi de 2.333 mg L⁻¹. A ocorrência de tal concentração elevada está relacionada a um episódio de entupimento verificado no sistema de gradeamento no dia de coleta das amostras. Nessa ocasião, a obstrução da grade acarretou um acúmulo de sólidos no ponto de coleta situado na entrada no sistema de tratamento, conforme pode ser visualizado na Figura 3.18.



Figura 3.18 – Obstrução da unidade de gradeamento verificada na estação Romão dos Reis durante coleta realizada no dia 27/02/18.

Fonte: Da autora (2019).

Dentre os sólidos totais no esgoto afluyente aos sistemas verifica-se que, na estação Romão dos Reis, aproximadamente 54% são referentes à fração volátil, que representa uma estimativa da matéria orgânica presente nos sólidos. Para as estações Coelhas I e II tal fração representou 62 e 59% dos sólidos totais, respectivamente.

Os percentuais verificados são condizentes com o indicado por Von Sperling (2014), que sugere que em uma distribuição aproximada dos sólidos no esgoto bruto, os sólidos voláteis totais representam cerca de 55% dos sólidos totais. As concentrações médias afluentes e efluentes de sólidos fixos e voláteis totais, bem como os valores de desvio padrão obtidos são indicados na Tabela 3.18.

Tabela 3.16 – Concentrações médias de sólidos fixos totais e sólidos voláteis totais no esgoto bruto e tratado nas três ETEs avaliadas.

ETE	SFT		SVT	
	Afluyente	Efluyente	Afluyente	Efluyente
Coelhas I	430±291	393±179	710±184	276±125
Coelhas II	476±136	308±159	840±451	310±130
Romão dos Reis	560±336	127±30	611±302	165±78

SFT (sólidos fixos totais); SVT (sólidos voláteis totais)

Fonte: Da autora (2019).

Avaliando-se as concentrações efluentes de sólidos totais indicadas na Figura 3.17 verifica-se que as maiores taxas de remoção desse parâmetro foram obtidas na estação

Romão dos Reis, que apresentou percentuais de eficiência no intervalo de 40 a 97% (Figura 3.19). Os menores percentuais foram observados em episódios de baixa eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais no sistema de tratamento, sendo verificado que em 25% dos dados as eficiências de remoção desse parâmetro foram inferiores a 9% (Figura 3.20).

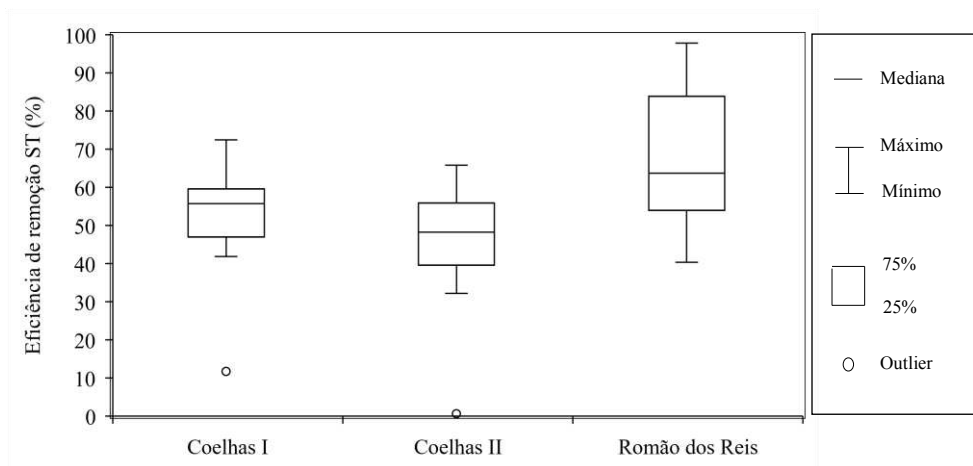


Figura 3.19 – Boxplot das eficiências remoção de sólidos totais nas estações avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

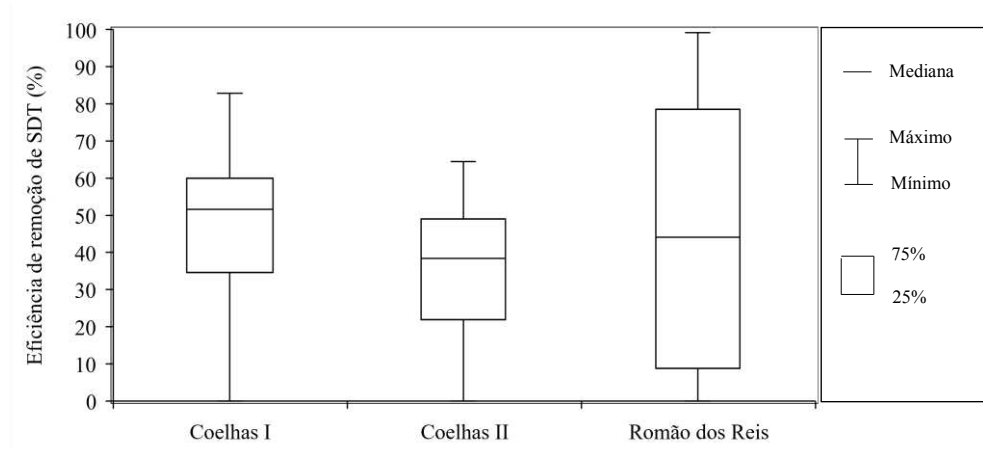


Figura 3.20 – Boxplot das eficiências remoção de sólidos dissolvidos totais nas estações avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

Quanto às estações Coelhas I e Coelhas II foram verificadas eficiências de remoção de sólidos totais no intervalo de 42 a 72% e 32 a 66%, respectivamente. Assim como notado na estação Romão dos Reis, foram observados baixos percentuais de remoção de sólidos dissolvidos totais nesses sistemas. Conforme indicado na Figura 3.20, 50% das análises realizadas na ETE Coelhas I indicaram eficiências de remoção inferiores

a 52%. Na ETE Coelhas II, por sua vez, eficiências abaixo da citada foram obtidas em 83% das análises.

As baixas eficiências de remoção de SDT foram verificadas, predominantemente, nos tanques sépticos, onde também foram observadas situações as quais as concentrações de sólidos efluentes foram superiores às afluentes. De acordo com Jordão e Pessoa (2017), isso ocorre em função dos tanques sépticos não desempenharem o papel de purificação dos esgotos, atuando apenas na redução de sua carga orgânica. Desse modo, sólidos não retidos nessa unidade de tratamento são arrastados com o efluente, juntamente com o produto solúvel da decomposição do lodo. Além disso, de acordo com os autores, a grande quantidade de sólidos, por vezes, observada em efluentes de tanques sépticos é geralmente causada pela intensa atividade de microrganismos no líquido retido, sendo esta responsável pela formação de gases e turbulência.

A remoção da parcela dissolvida dos sólidos presentes nos esgotos é realizada no filtro anaeróbio, sendo ela maior no tratamento de efluentes previamente tratados em unidades que removam o excesso de sólidos em suspensão.

No entanto, ao longo do período de monitoramento foram verificados baixos percentuais de remoção de SDT nos filtros anaeróbios, sobretudo, nas estações Coelhas I e II onde cerca de 90% dos dados indicaram eficiências inferiores a 50% para esse parâmetro. Na ETE Romão dos Reis eficiências inferiores à citada foram verificadas em 34% das análises. Esse resultado parece estar relacionado ao mau desempenho dos tanques sépticos na remoção de SST, tendo em vista que, de acordo com Jordão e Pessoa (2017) a excessiva quantidade destes constituintes no filtro anaeróbio acarreta a colmatação do leito em curto tempo, o que pode ocasionar um mau desempenho e posterior inoperância da unidade. Na Figura 3.21 é indicado o comportamento dos tanques sépticos ao longo do período de monitoramento quanto à remoção de SST.

As eficiências negativas indicadas na Figura 3.21 são relativas aos episódios de aumento da concentração de sólidos no efluente após a passagem pelos tanques sépticos, o que permite inferir que parte do lodo decantado e/ou em processo de digestão estava sendo carreado com o efluente.

Situações como essa ocorrem em função da ausência de limpezas regulares nas unidades de tratamento, sendo estas responsáveis pela remoção do lodo de excesso. O lodo acumulado passa a ocupar grande parte do volume útil das unidades, o que resulta na diminuição do TRH do efluente e, conseqüentemente, menor parcela de sólidos é sedimentada para posterior degradação biológica no fundo dos tanques. Desse modo, o

comprometimento do volume útil dos tanques sépticos resulta em maior arraste de material particulado para as unidades de tratamento subsequentes.

O comportamento descrito também foi citado por Alvarado et al. (2017) que, durante a avaliação de sistemas de tratamento de esgotos em áreas rurais do Equador, verificaram que o tanque séptico usado em uma das regiões avaliadas operava com eficiência de remoção de sólidos em suspensão totais igual a -85%. Os autores atribuíram tal desempenho à ausência de manutenções regulares no sistema, ressaltando que a ausência destas está, por vezes, relacionada à localização remota de alguns sistemas descentralizados. As dificuldades de acesso e/ou ausência de maquinário disponível para realização de limpeza das unidades de tratamento faz com que, habitualmente, sejam realizadas apenas limpezas manuais, sendo estas menos efetivas.

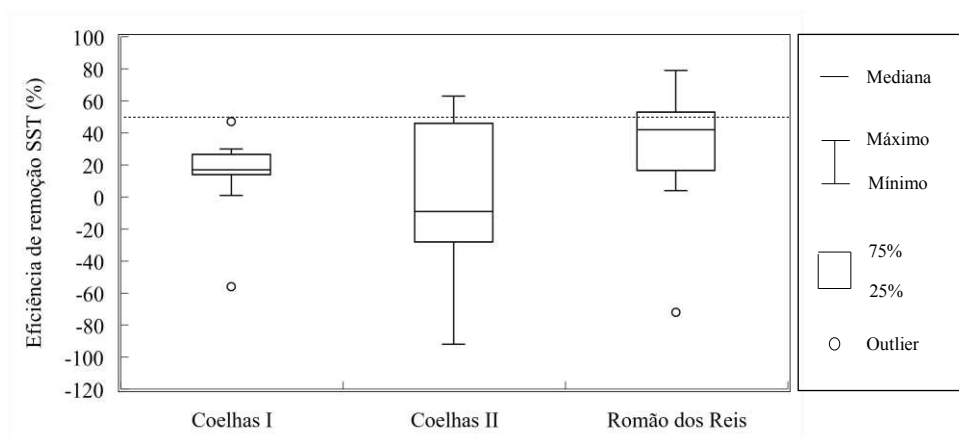


Figura 3.21 – Boxplot das eficiências de remoção de sólidos em suspensão totais nos tanques sépticos.

Nota: Linha tracejada indica a eficiência de remoção de sólidos em suspensão totais esperada para tanques sépticos segundo Jordão e Pessoa (2017).

Fonte: Da autora (2019).

Jordão e Pessoa (2017) relatam que tanques sépticos, projetados e operados racionalmente, promovem a redução da concentração de SST nos efluentes em cerca de 50%. No entanto, no monitoramento realizado, a maior parte dos dados obtidos indicou eficiências inferiores à citada. Os tanques sépticos que apresentaram o pior desempenho na remoção de SST foram aqueles pertencentes às estações Coelhas I e II, onde foram verificadas eficiências de remoção inferiores a 50% em 100 e 91% dos dados, respectivamente. O tanque séptico pertencente à estação Romão dos Reis, cujo filtro anaeróbio apresentou desempenho superior aos das demais estações na remoção de SDT,

apresentou cerca de 25% dos dados de eficiência de remoção de SST acima de 50%, sendo verificadas eficiências de até 79% para esse parâmetro.

O pior desempenho dos tanques sépticos pertencentes às ETEs Coelhas I e II pode estar relacionado à maior diferença entre os volumes reais das unidades e os volumes requeridos para o atendimento da população atualmente servida, segundo critérios da NBR 7.229 (ABNT, 1993).

Adicionalmente, a configuração dos dispositivos de entrada nos tanques sépticos é outro fator capaz de exercer influência em seu desempenho. De acordo com Chernicharo (2007), tais dispositivos possuem fundamental importância para o seu bom funcionamento. Nos tanques sépticos pertencentes às ETEs Coelhas I e II, a configuração dos dispositivos de entrada nos tanques sépticos promove uma movimentação na zona de lodo, uma vez que, os esgotos são direcionados para o fundo do tanque (Figura 3.5, pag. 129), o que pode dificultar o processo de sedimentação dos sólidos.

A configuração proposta pela ABNT (1993) tem como finalidade evitar perturbações hidráulicas no interior do tanque, possibilitando assim uma melhor sedimentação dos sólidos presentes nos efluentes. Ainda, segundo Chernicharo (2007), os dispositivos citados possuem a função de evitar que os novos dejetos afluentes ao tanque séptico se misturem diretamente com o líquido já depurado.

Em relação ao desempenho geral do sistema na remoção de SST, ou seja, considerando-se a remoção realizada nos filtros anaeróbios, foram obtidos percentuais no intervalo de 14 a 76% para a estação Coelhas I, 49 a 89% para a estação Coelhas II e 87 a 98% para a estação Romão dos Reis (Tabela 3.19), com valores médios de 53, 66 e 94%, respectivamente.

Tabela 3.17 - Eficiências de remoção reportadas na literatura e observadas nas ETEs TS+FAN e limites de concentração de sólidos para lançamento em corpos hídricos.

ETE	Parâmetro	Eficiência		Legislação ²
		Literatura ¹	Observada	
Coelhas I	SST	60 a 90%	14 a 76%	< 100,0 mg L ⁻¹
Coelhas II			49 a 89%	
Romão dos Reis			87 a 98%	
Coelhas I	Ssed	>70%	75 a 92%	< 1,0 mL L ⁻¹
Coelhas II			74 a 95%	
Romão dos Reis			95 a 99%	

(1) Faixa reportada na literatura: ABNT (1997); (2) Limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 01/2008.

Fonte: Da autora (2019).

As eficiências médias de SST obtidas para as estações Coelhas I e II encontram-se próximas à relatada por Oliveira e Von Sperling (2011) que, ao avaliarem 19 ETEs em operação no Brasil que utilizam tanques sépticos e filtros anaeróbios, obtiveram um percentual médio de remoção de SST igual a 66%.

Conforme o esperado, nas estações Coelhas I e II, cujos tanques sépticos apresentaram pior desempenho individual, foram obtidas as menores eficiências globais de SST. A estação Coelhas I apresentou os menores percentuais de remoção entre as ETEs avaliadas, de modo que 25% dos dados indicaram eficiências no intervalo de 14 a 41% (Figura 3.22). O menor desempenho dessa estação, comparativamente à estação Coelhas II, pode estar associado às características do esgoto bruto afluente que, conforme citado anteriormente, apresentou maior concentração de sólidos que as demais estações.

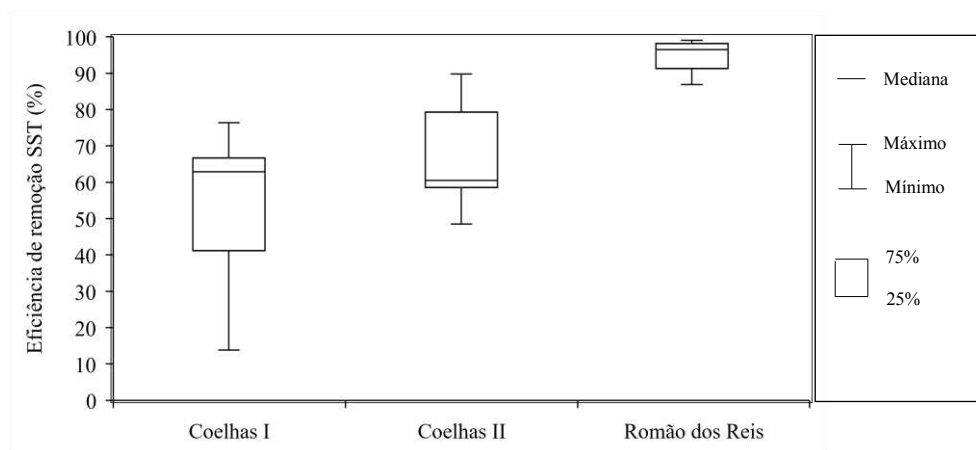


Figura 3.22 – Boxplot das eficiências de remoção de sólidos em suspensão totais nas estações avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

As concentrações de SST médias efluentes obtidas para as três estações foram de 229, 131 e 17 mg L⁻¹ para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente. Os primeiros valores encontram-se acima dos descritos por Oliveira e Von Sperling (2011), que relatam que a concentração média típica de SST em efluentes de tanques sépticos e filtros anaeróbios, em situações ideais, varia de 30 a 60 mg L⁻¹. No entanto, os mesmos autores, ao avaliarem o desempenho de tanques sépticos e filtros anaeróbios em escala plena no Brasil, verificaram que as concentrações efluentes de SST foram superiores às relatadas na literatura, sendo verificadas concentrações no intervalo de 53 a 290 mg L⁻¹, o que indica que a eficiência desses sistemas pode sofrer variações em função das diferentes condições construtivas e operacionais adotadas.

Em relação à estação Romão dos Reis, foram observadas baixas concentrações de SST no efluente (Figura 3.23).. Embora o tanque séptico presente nessa estação tenha apresentado episódios de baixa eficiência de remoção de SST, verificou-se que o bom desempenho do filtro anaeróbio foi capaz de garantir a regularidade dos elevados percentuais de remoção obtidos.

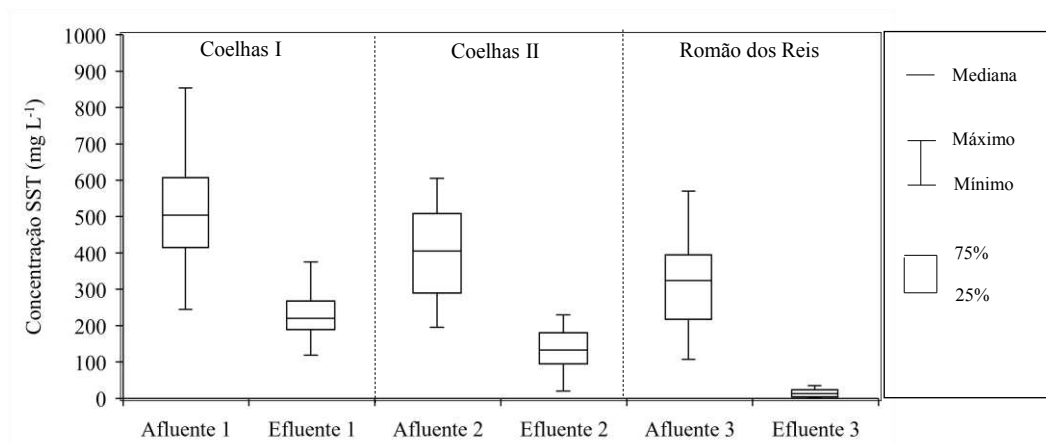


Figura 3.23 – Boxplot das concentrações afluentes e efluentes às ETEs de sólidos em suspensão totais (SST).

Fonte: Da autora (2019).

De acordo com a ABNT (1997), a eficiência de remoção de SST em tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios deve variar de 60 a 90%. Avaliando-se a Figura 3.24, verifica-se que as estações Coelhas I e II apresentaram eficiências de remoção inferiores à faixa reportada em cerca de 27 e 38% dos dados, respectivamente. Nessas estações não foram verificadas eficiências superiores ao limite superior citado pela ABNT (1997), estando os dados, majoritariamente, situados no intervalo sugerido.

A estação Romão dos Reis, por sua vez, apresentou cerca de 79% dos dados de eficiência acima de 90%, indicando o bom desempenho dessa estação na remoção de SST. Adicionalmente, nessa estação, não foram verificadas eficiências de remoção inferiores ao valor mínimo citado (60%).

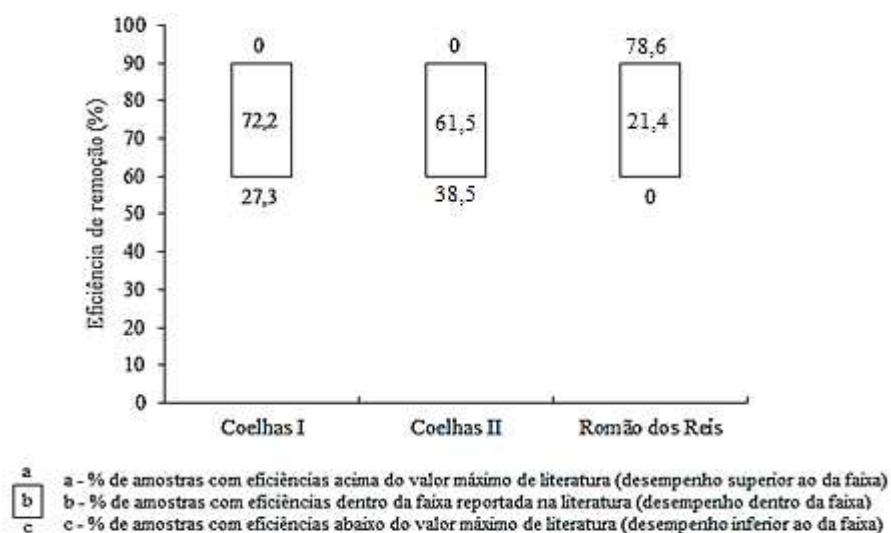


Figura 3.24 - Percentual de amostras com eficiências de remoção de SST abaixo, dentro ou acima das faixas de referência reportadas na literatura.

Fonte: Da autora (2019).

Para sólidos sedimentáveis, assim como observado em relação aos SST, foi verificada grande variabilidade nos dados de entrada, que apresentaram valores no intervalo de 2 a 23 mL L⁻¹; 2,4 a 11 mL L⁻¹ e 0,1 a 18 mL L⁻¹ e médias de 11,7; 7,2 e 5,7 mL L⁻¹ para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente (Figura 3.25).

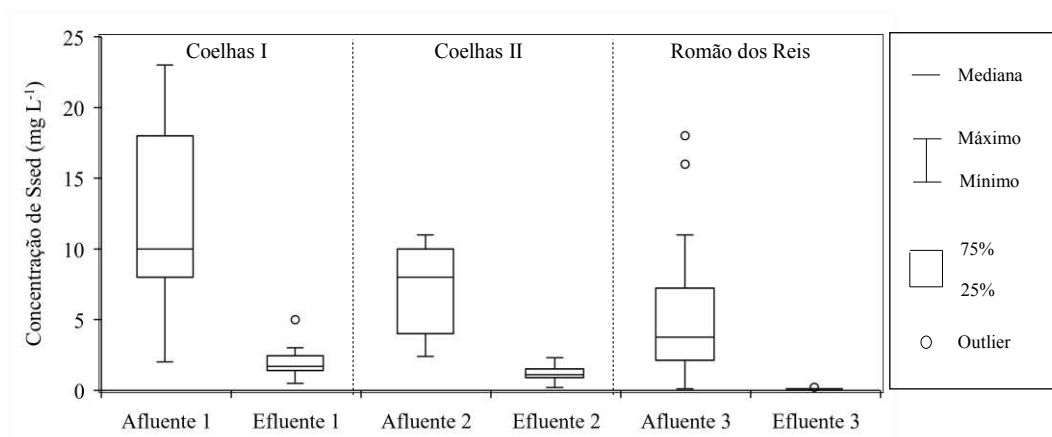


Figura 3.25 – Boxplot das concentrações afluentes e efluentes às ETEs de sólidos sedimentáveis (Ssed).

Fonte: Da autora (2019).

Avaliando-se os valores médios obtidos, verifica-se que a fração sedimentável dos sólidos no esgoto afluente às ETEs Coelhas II e Romão dos Reis apresentou valores

condizentes com a faixa típica encontrada na literatura, que sugere valores entre 5 e 10 mL L⁻¹. Na ETE Coelhas I, assim como verificado nas demais frações de sólidos avaliadas, as concentrações de Ssed no esgoto bruto foram superiores à faixa usual reportada.

As concentrações efluentes de sólidos sedimentáveis nas três estações apresentaram valores mais constantes, sobretudo na estação Romão dos Reis, onde foram verificados valores no intervalo de 0,1 a 0,2 mL L⁻¹ e um ponto disperso no valor de 0,4 mL L⁻¹. Nessa estação, durante todo o período de monitoramento, a concentração do efluente final apresentou valores suficientes para o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos definidos pela legislação ambiental do Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008) (Tabela 3.19).

As estações Coelhas I e II, por sua vez, apresentaram concentrações variando de 0,5 a 3,0 mL L⁻¹ para a primeira, sendo também verificado um ponto disperso cuja concentração foi igual a 5,0 mL L⁻¹ e 0,2 a 2,3 mL L⁻¹ para a última. As concentrações elevadas de Ssed no efluente final dessas estações pode estar relacionado ao aumento da concentração de sólidos sedimentáveis após a passagem pelo tanque séptico, que ocorreu em cerca de 45 e 36% dos dados para as ETEs Coelhas I e II, respectivamente. Embora episódios semelhantes tenham ocorrido na ETE Romão dos Reis, foi verificado que o desempenho do filtro anaeróbio presente nessa estação garantiu a ocorrência das baixas concentrações observadas ao longo do período de monitoramento.

Os tanques sépticos possuem como função elementar a retenção de sólidos sedimentáveis e flutuantes contidos no esgoto bruto. Desse modo, elevadas concentrações de Ssed no efluente de tanques sépticos ocorrem, comumente, em função de problemas operacionais tais como o carregamento do lodo retido nessas unidades e ocorrência de velocidades de escoamento elevadas.

Embora os sistemas de tratamento das ETEs Coelhas I e Coelhas II tenham apresentado altas concentrações de Ssed no efluente final, foi verificado que as eficiências de remoção desse parâmetro foram elevadas, apresentando percentuais de 75 a 92% e 73 a 95%, respectivamente. Para a estação Romão dos Reis, os valores foram ainda superiores, apresentando variação de 90 a 99%.

De acordo com a ABNT (1997), a faixa provável de remoção de Ssed em tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios é de 70 a 100% (Tabela 3.18). Avaliando-se a Figura 3.26, verifica-se que todas as estações avaliadas apresentaram eficiências de

remoção superiores a 70% apresentando, desse modo, desempenho compatível com o citado na literatura.

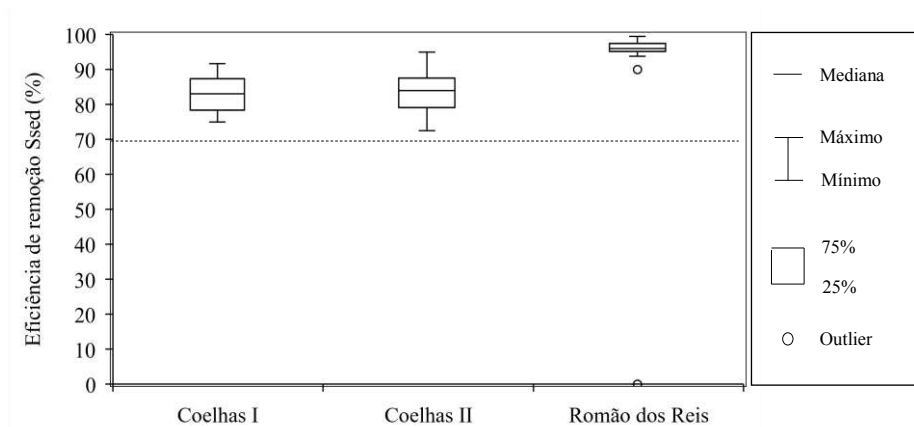


Figura 3.26 – Boxplot das eficiências de remoção de sólidos sedimentáveis nas estações avaliadas.

Nota: Linha tracejada indica a eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis mínima esperada para tanques sépticos e filtros anaeróbios segundo ABNT (1997).

Fonte: Da autora (2019).

3.3.4.3 Turbidez

A turbidez é um parâmetro relacionado à presença de partículas suspensas e coloidais nos efluentes. A avaliação desse parâmetro permite inferir sobre o aspecto estético do efluente, no entanto, isoladamente, não garante a sua qualidade e segurança, tendo em vista que, não há uma relação fundamental entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos totais (METCALF; EDDY, 2016).

Ainda que a turbidez não seja citada entre as condições e padrões de lançamento de efluentes estabelecidos na legislação ambiental do Estado de Minas Gerais, o seu acompanhamento é importante tendo em vista que, em altos valores, além de gerar uma condição esteticamente desagradável aos efluentes a serem lançados, pode representar risco à saúde em função da possibilidade de fornecer abrigo a microrganismos patogênicos nos sólidos suspensos.

Ao longo do monitoramento realizado nesse estudo foram obtidos valores de turbidez no esgoto bruto no intervalo de 196 a 808 UNT para a estação Coelhas I, 132 a 599 UNT para a estação Coelhas II e 93 a 426 UNT para a estação Romão dos Reis, sendo também verificado nessa estação um valor disperso de 775 UNT referente ao episódio de

entupimento do sistema de gradeamento mencionado no tópico anterior. O comportamento e distribuição dos dados obtidos são indicados na Figura 3.27.

Os dados referentes à turbidez nos efluentes dos sistemas apresentaram menor variabilidade do que aqueles verificados no esgoto bruto, sendo obtidos valores no intervalo de 91 a 307 UNT, 110 a 314 UNT e 1 a 12 UNT para as estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

A acentuada variabilidade nos dados de entrada está relacionada às limitações das medidas de turbidez em esgotos brutos, que apresentam elevada quantidade de partículas de grande dimensão. De acordo com Metcalf e Eddy (2016), devido às características de reflexão de luz de partículas grandes, algumas dessas partículas não são detectadas na presença de muitas partículas de menor dimensão, o que faz com que os resultados de medições de turbidez em efluentes concentrados possam apresentar variações.

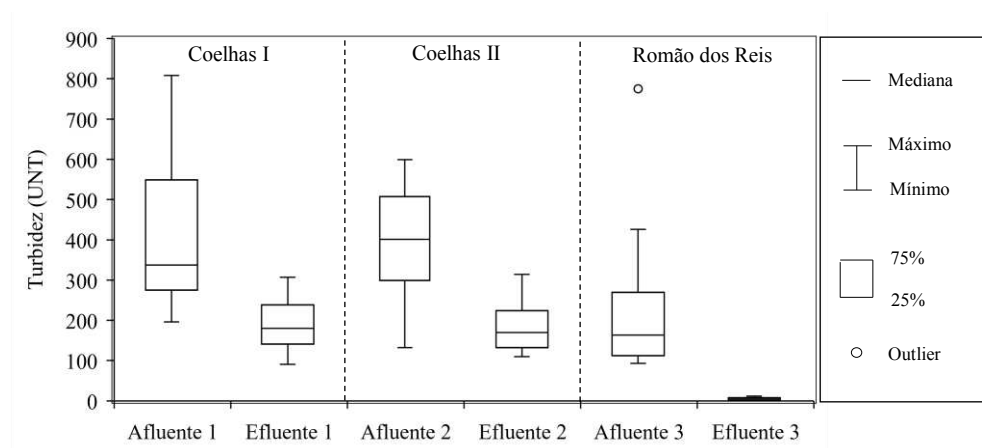


Figura 3.27 – Boxplot dos valores de turbidez nos esgotos afluentes e efluentes às ETES avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

O melhor desempenho na remoção de turbidez dos efluentes foi verificado na estação Romão dos Reis que apresentou eficiências de 91 a 99%. Conforme indicado na Figura 3.28, o tratamento do esgoto realizado nessa estação permitiu a saída de um efluente clarificado. Nas estações Coelhas I e II, por sua vez, além da ocorrência de menores percentuais de remoção, foi verificada uma elevada variabilidade nos dados de eficiência, apresentando valores de 2 a 84% e 17 a 73%, respectivamente.

A maior eficiência de remoção verificada na estação Romão dos Reis está associada ao desempenho do filtro anaeróbio, que apresentou percentuais de remoção no intervalo de 96 a 99%. Nessa estação, parte do meio de suporte do filtro anaeróbio,

composto por britas, foi retirado durante limpezas anteriores da unidade. Apesar disso, não foi verificado decréscimo no desempenho da unidade ao longo do período de monitoramento.

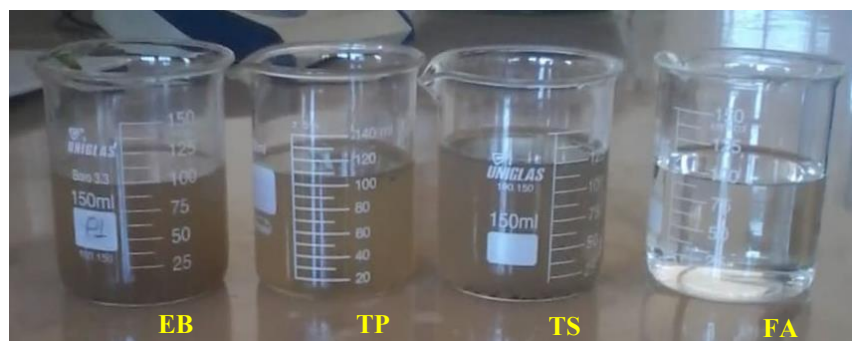


Figura 3.28 – Aspecto visual do Esgoto Bruto (EB) e efluentes do Tratamento Preliminar (TP), Tanque Séptico (TS) e Filtro Anaeróbico (FA) na estação Romão dos Reis.

Fonte: Da autora (2019).

Os filtros anaeróbios pertencentes às estações Coelhas I e II, por sua vez, utilizam meio suporte constituído aparas de eletroduto corrugado (*biorings*). De acordo com Araújo et al. (2016) a maior porosidade desse material contribui para o melhor desempenho das unidades de tratamento, tendo em vista que esta auxilia nos mecanismos de remoção, principalmente na assimilação biológica.

No entanto, os filtros anaeróbios pertencentes às estações citadas apresentaram baixas eficiências de remoção, em relação ao parâmetro turbidez. Na estação Coelhas I, o filtro operou com eficiência no intervalo de 10 a 72%, onde 50% dos dados indicaram eficiências inferiores a 50%. Na estação Coelha II, por sua vez, o desempenho do filtro anaeróbico foi ainda inferior, apresentando percentuais de remoção de 5 a 56%. Os baixos percentuais de remoção nessas estações podem estar relacionados à ocorrência de episódios de desprendimento do meio suporte, que ocasionaram o carreamento dos anéis plásticos juntamente com o efluente até a caixa de inspeção e coleta.

3.3.4.4 Temperatura e pH

A determinação dos valores de pH nos efluentes é importante para o controle dos processos anaeróbios de tratamento de esgoto, tendo em vista que valores afastados da neutralidade podem afetar o crescimento de microrganismos. De acordo com Chernicharo (2007) o crescimento ótimo dos microrganismos envolvidos no processo de digestão

anaeróbia ocorre em meios com pH na faixa de 6,6 a 7,4. Contudo, o autor ressalta que se pode obter estabilidade numa faixa mais ampla de pH, entre 6,0 e 8,0.

Nesse estudo, os valores médios de pH nas três ETEs avaliadas encontraram-se dentro da faixa referida. A média dos valores, no esgoto bruto, para as três estações foi de 7,5. No entanto, avaliando-se a distribuição dos dados ao longo do período de monitoramento (Figura 3.29) verifica-se que, em cerca de 30% dos dados coletados, foram obtidos valores superiores à faixa ótima de crescimento dos microrganismos nas ETEs Coelhas I e II. O esgoto afluente às ETEs apresentou valores de pH na faixa de 6,5 a 8,6 na estação Coelhas I; 6,6 a 8,5 na estação Coelhas II e 6,8 a 8,0 na estação Romão dos Reis. Apesar disso, nas amostragens com valores de pH elevados, não foram verificadas alterações no desempenho das unidades na remoção de matéria orgânica. Os valores de pH no efluente final, por sua vez, apresentaram médias de 6,6; 6,7 e 6,8, para as ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

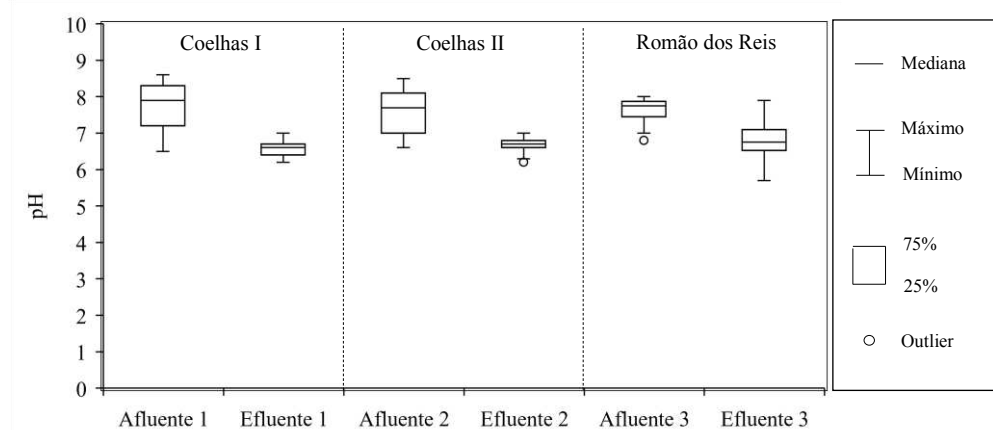


Figura 3.29 – Boxplot dos valores de pH nos esgotos afluentes e efluentes às ETEs avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

Em relação à temperatura dos efluentes, verificou-se que as temperaturas do esgoto bruto e tratado nas três estações avaliadas apresentaram poucas variações ao longo do período monitorado. Os valores obtidos são indicados na Figura 3.30.

O efluente final apresentou temperaturas na faixa de 22,4 a 26,4 °C; 21 a 25,5 °C e 19,5 a 25,2 °C nas estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente. As pequenas variações nas temperaturas identificadas ao longo do período de monitoramento foram compatíveis com a queda da temperatura ambiente ocasionada pela transição da estação outono para inverno. Os menores valores foram identificados nos

meses de junho, julho e agosto sendo estes, de acordo com dados do INMET, os meses mais frios no município de Viçosa (MG).

Em todas as medições realizadas os efluentes apresentaram temperaturas superiores a 15 ° C, sendo este o valor mínimo indicado por Chernicharo (2007) ao qual a atividade microbiana em processos anaeróbios não é comprometida. Segundo o mesmo autor, nesses processos, a temperatura ideal do esgoto é de 25 a 35 ° C.

Embora tenham sido verificadas temperaturas inferiores à faixa ótima citada, acredita-se que a temperatura não tenha sido um fator limitante para a eficiência dos sistemas, tendo em vista que as eficiências de remoção de DQO e DBO não sofreram alterações abruptas em função das variações na temperatura.

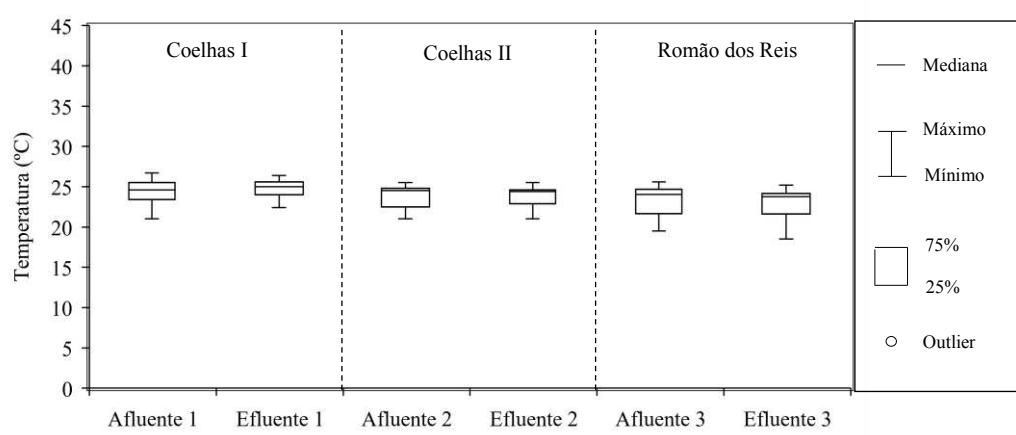


Figura 3.30 – Boxplot dos valores de temperatura nos esgotos afluentes e efluentes às ETES avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

3.3.4.5 Nitrogênio amoniacal

As concentrações de nitrogênio amoniacal nos esgotos brutos e tratados, obtidas ao longo do período monitorado, são indicadas na Figura 3.31.

O esgoto bruto afluente às ETES Coelhas I e II apresentou maiores concentrações médias de nitrogênio amoniacal, sendo estas de 114 e 137 mg L⁻¹, respectivamente. Na ETE Romão dos Reis, por sua vez, a concentração média de nitrogênio amoniacal no esgoto bruto foi de 75 mg L⁻¹. Nessa estação, 75% dos dados avaliados indicaram concentrações afluentes do referido parâmetro inferiores a 82 mg L⁻¹.

Avaliando-se as concentrações efluentes, verifica-se a ocorrência de remoção de cerca de 41 e 45% do nitrogênio amoniacal nas ETES Coelhas I e Coelhas II,

respectivamente. Tais eficiências são superiores às mencionadas por Oliveira e Von Sperling (2011) para tratamento em sistemas TS+FAN. De acordo com os autores, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal média, verificada ao avaliar tais sistemas em operação no Brasil, foi inferior a 25%.

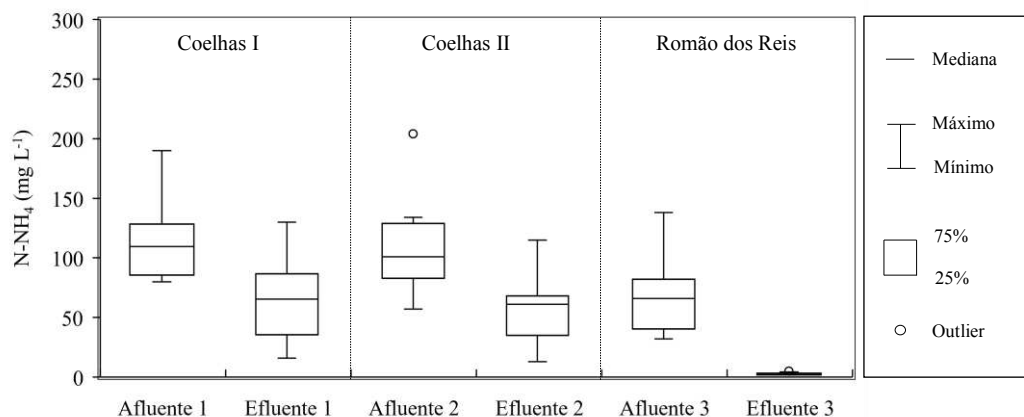


Figura 3.31 – Boxplot das concentrações de nitrogênio amoniacal nos esgotos afluentes e efluentes às ETEs avaliadas.

Fonte: Da autora (2019).

A remoção de nitrogênio em sistemas biológicos anaeróbios pode ser atribuída à assimilação dos compostos amonificados para síntese celular, rotas metabólicas alternativas, armazenamento devido a estresse metabólico e sedimentação no lodo de fundo. Isso ocorre em função do processo de nitrificação requerer grandes quantidades de oxigênio, tendo em vista que este é utilizado concomitantemente pelos organismos heterótrofos, responsáveis pela remoção da matéria carbonácea, e pelos organismos autótrofos nitrificantes. Em ambientes com baixa concentração de oxigênio, as taxas de remoção de nitrogênio amoniacal diminuem (RUIZ et al., 2006) em função da competição dos microrganismos nitrificantes e heterótrofos pelo oxigênio.

Apesar dos índices de remoção de nitrogênio amoniacal serem, comumente, baixos em sistemas anaeróbios de tratamento, na ETE Romão dos Reis, durante todo o período monitorado, os efluentes do filtro anaeróbio apresentaram concentrações inferiores a 5 mg L⁻¹.

Esse comportamento pode estar associado aos mecanismos anteriormente citados e à pequena quantidade de matéria orgânica presente no efluente do filtro anaeróbio, onde em cerca de 77% das amostras foram obtidas concentrações de DBO inferiores a 30 mg L⁻¹. Pequenas quantidades de matéria orgânica em unidades de tratamento favorecem a

nitrificação pois, com isso, o consumo de oxigênio para remoção de matéria orgânica é reduzido, resultando em maior disponibilidade de oxigênio para os microrganismos autótrofos (nitrificantes) (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016). Adicionalmente, o processo de nitrificação é beneficiado em sistemas biológicos de crescimento aderido a material suporte, tendo em vista que os organismos autótrofos possuem crescimento lento quando comparados aos organismos heterótrofos que habitam o mesmo sistema. Por meio da imobilização da biomassa nitrificante no interior do reator promove-se maior contato entre os organismos nitrificantes e o nitrogênio amoniacal, resultando em maiores taxas remoção (BODÍK et al., 2003).

3.3.5 Desempenho das ETEs quanto ao atendimento aos padrões de lançamento de efluentes

As concentrações efluentes e as eficiências de remoção de cada uma das ETEs foram analisadas de acordo com as metas de qualidade do efluente final para os parâmetros DBO, DQO, SST, Ssed, pH e Temperatura estabelecidas na Tabela 3.5 (pag. 126). Os resultados obtidos para cada parâmetro serão detalhados, individualmente, a seguir.

As metas de qualidade em relação ao parâmetro DBO estabelecem que o efluente se adequará às determinações da legislação ambiental do Estado de Minas Gerais quando apresentar concentração inferior a 60 mg L^{-1} ou quando o tratamento realizado na estação de tratamento possibilitar a redução de, no mínimo, 60% da DBO inicial.

O comportamento das concentrações efluentes de DBO bem como das eficiências de remoção calculadas para as três ETEs avaliadas é indicado na Figura 3.32.

Verifica-se que o desempenho das ETEs quanto ao atendimento à meta que considera as concentrações efluentes de DBO foi menor que aquele referente à eficiência de remoção desse parâmetro, o que se justifica em virtude da primeira condição ser mais restritiva que a segunda. Ademais, por se tratar de esgotos cuja concentração afluenta é superior às típicas relatadas na literatura, a obtenção de baixas concentrações de DBO no efluente final utilizando-se sistemas de tratamento simplificados é dificultada.

As estações Coelhas I e Coelhas II apresentaram os piores desempenhos no cumprimento da meta concentração máxima de DBO, de modo que, para a primeira, todas as amostras analisadas apresentaram concentração superior a 60 mg L^{-1} . Na segunda, por sua vez, apenas uma amostra apresentou concentração inferior à anteriormente citada, o

que implica que, avaliando-se apenas o limite de concentração, em cerca de 92% das análises realizadas o efluente dessa estação apresentou características em desacordo com o que preconiza a legislação ambiental.

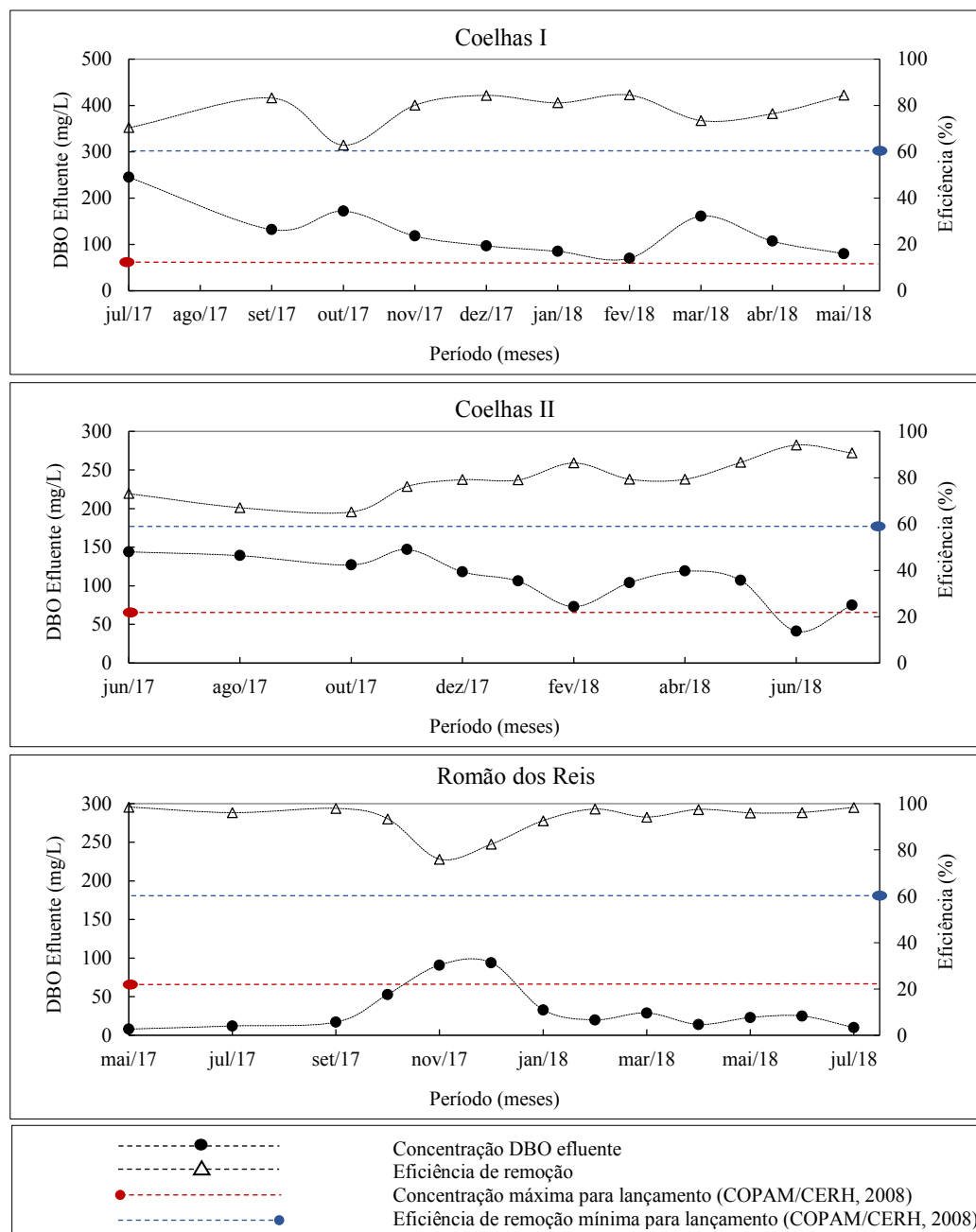


Figura 3.32 – Comportamento da concentração efluente e eficiência de remoção da DBO nas ETEs em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.
Fonte: Da autora (2019).

Quanto ao desempenho da estação Romão dos Reis, verifica-se que, na maior parte do período de monitoramento, os efluentes lançados apresentaram concentrações de

DBO inferiores à concentração máxima estabelecida pela legislação. A ocorrência de valores superiores a tal limite foi verificada em 15% das amostras analisadas no período de novembro a janeiro do ano de 2017. As maiores concentrações nesse período podem ser atribuídas ao período de estabilização do sistema após a realização de limpeza nas unidades de tratamento, no mês de novembro, para remoção do lodo de excesso. Conforme evidenciado na Figura 3.32 as maiores concentrações resultaram de uma diminuição na eficiência de remoção de DBO que, antes e após o período citado, apresentou tendência constante.

Avaliando-se a meta de eficiências de remoção de DBO, verifica-se que todas as estações apresentaram desempenho satisfatório, operando com eficiências superiores à mínima referida em legislação para esse parâmetro.

Em relação ao parâmetro DQO, as metas de atendimento foram definidas baseadas nos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela legislação ambiental do Estado de Minas Gerais. Desse modo, para atender às metas propostas os efluentes a serem lançados devem apresentar concentração inferior a 180 mg L^{-1} ou o tratamento realizado nas ETEs deve garantir uma eficiência de remoção de DQO mínima de 55%.

Assim como verificado em relação ao parâmetro DBO, as ETEs Coelhas I e II apresentaram desempenho insatisfatório quanto ao atendimento da meta relativa à concentração máxima efluente de DQO em todas as análises realizadas (Figura 3.33). A estação Romão dos Reis, por sua vez, possibilitou o atendimento à meta de lançamento em cerca de 83% das análises realizadas, apresentando assim, o melhor desempenho entre as estações avaliadas para esse parâmetro.

O atendimento à segunda condição proposta para o parâmetro DQO foi verificado em parte das análises realizadas nas estações Coelhas I e II. Nessas estações as eficiências de remoção de DQO apresentaram elevada variabilidade, garantindo o atendimento às metas de lançamento de efluentes em cerca de 60 e 69% das amostras analisadas, respectivamente.

A estação Romão dos Reis, durante todo o período de monitoramento, possibilitou uma remoção da concentração de DBO inicial superior a 55%, o que garantiu o atendimento à meta proposta em 100% das análises realizadas.

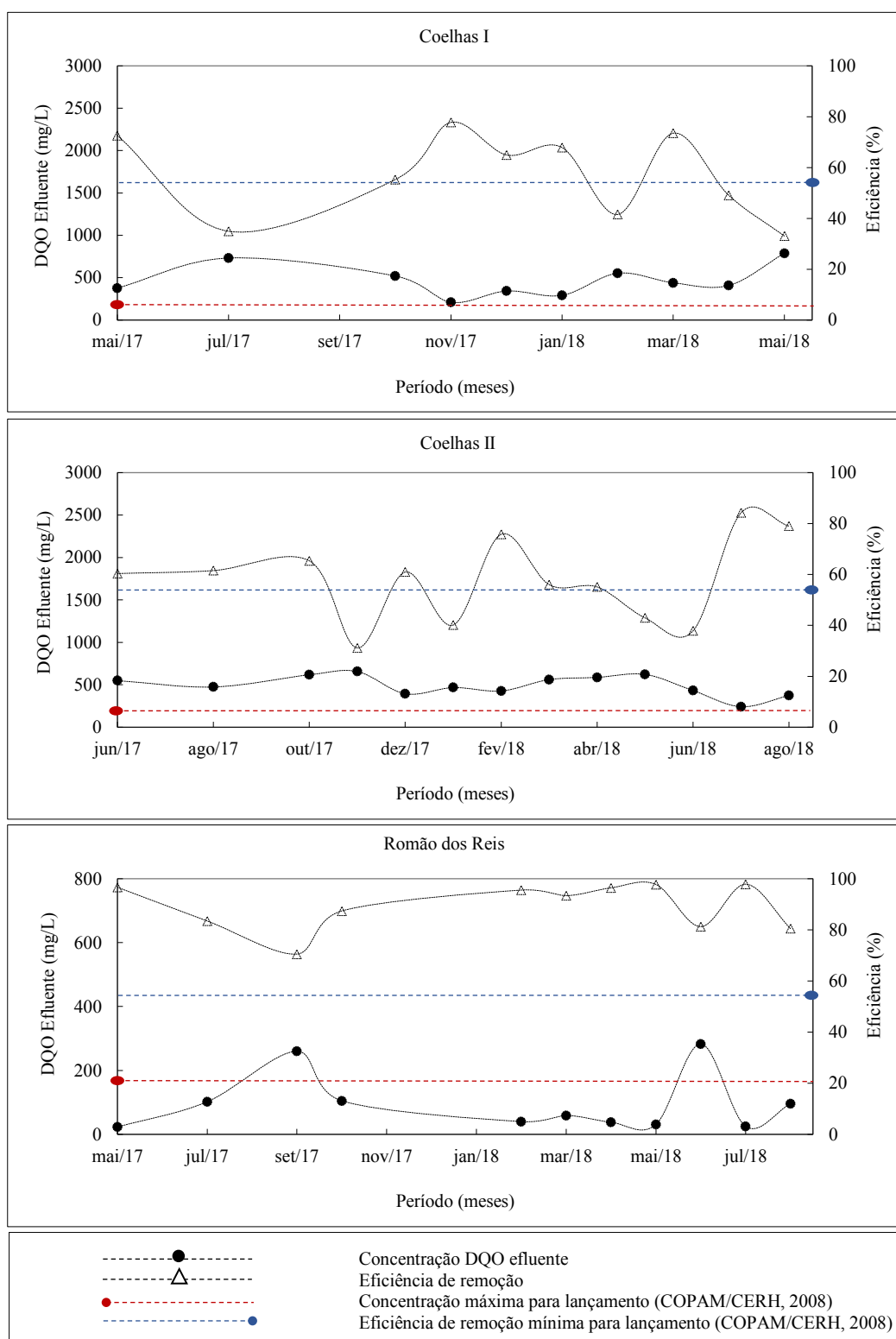


Figura 3.33 – Comportamento da concentração efluente e eficiência de remoção da DQO nas ETes em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.
Fonte: Da autora (2019).

Avaliando-se o comportamento dos sistemas em relação à concentração de SST nos efluentes lançados verifica-se que, entre as estações avaliadas, a ETE Coelhas I mostrou ser a estação com pior desempenho quanto ao cumprimento da meta de lançamento, que estabelece que os efluentes devem possuir concentração de SST máxima de 100 mg L^{-1} . Nessa estação todas as análises apontaram o descumprimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental (Figura 3.34). Em seguida, tem-se a estação Coelhas II, cujo desempenho foi insatisfatório em cerca de 62% das análises realizadas. As concentrações efluentes de SST nas duas estações citadas apresentaram alta variabilidade, com amplitude dos dados de 256 e 210 mg L^{-1} para as estações Coelhas I e II, respectivamente.

Por outro lado, na estação Romão dos Reis foi verificado um desempenho satisfatório durante todo o período de monitoramento, com efluentes apresentando, em média, concentrações 82% inferiores ao limite máximo estabelecido em legislação. Nessa estação também foi observado um bom desempenho quanto ao atendimento à meta relativa à concentração de Ssed nos efluentes. Todas as análises realizadas indicaram efluentes com concentrações inferiores a 1 mL L^{-1} , valor este estabelecido como limite máximo para lançamento em corpos hídricos (MINAS GERAIS, 2008). As estações Coelhas I e II, por sua vez, novamente apresentaram o pior desempenho entre as ETEs avaliadas, sendo verificadas concentrações de Ssed superiores ao limite máximo estabelecido pela legislação em cerca de 82 e 54% das amostras avaliadas, respectivamente.

Em relação aos parâmetros pH e Temperatura, as metas de atendimento definem que os efluentes a serem lançados devem possuir pH no intervalo de 6 a 9 e temperatura inferior a 40°C . Conforme indicado nas Figuras 3.35 e 3.36, de modo geral, durante todo o período de monitoramento, as três estações avaliadas apresentaram comportamento semelhante, realizando o lançamento de efluentes com características condizentes com o preconizado na legislação ambiental. A única exceção foi verificada na estação Romão dos Reis que, em coleta realizada no mês de fevereiro de 2018, apresentou efluente com pH igual a 5,7. Por se tratar de um episódio isolado, cuja influência não foi verificada nas demais análises realizadas, acredita-se que o baixo valor medido esteja relacionado a erros de medição de natureza sistemática ou aleatória.

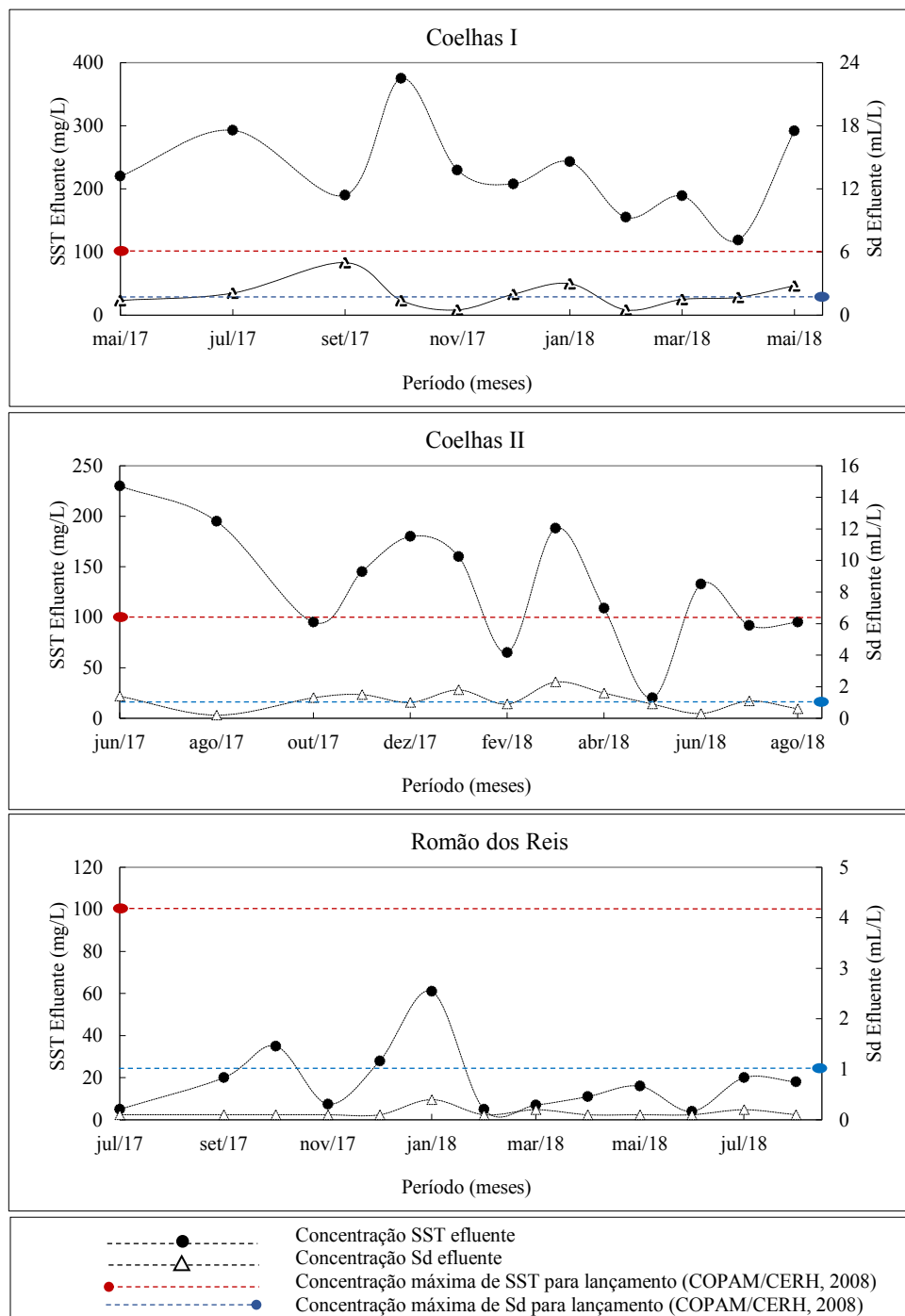


Figura 3.34 – Comportamento dos SST e Ssed nos efluentes das ETes em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Fonte: Da autora (2019).

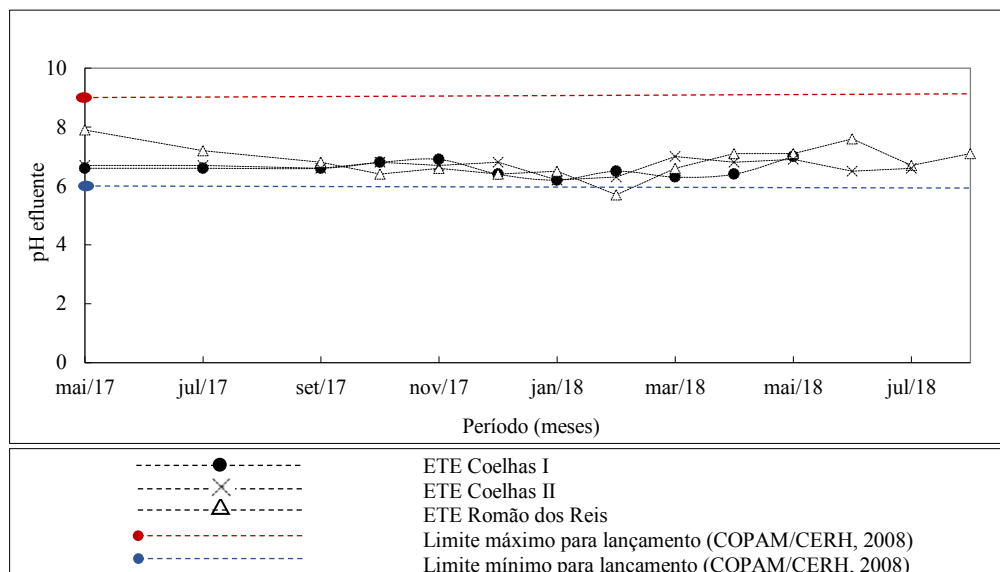


Figura 3.35 – Comportamento do pH efluente das ETEs em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Fonte: Da autora (2019).

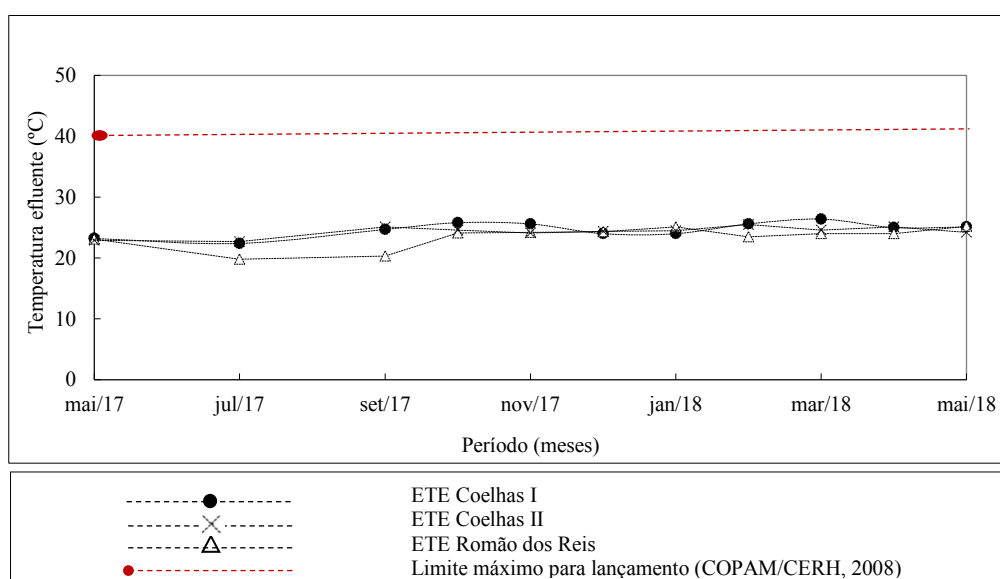


Figura 3.36 – Comportamento da temperatura efluente das ETEs em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Fonte: Da autora (2019).

A fim de facilitar a análise dos dados e permitir a identificação de maneira rápida dos parâmetros e ETEs em desacordo com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente, na Figura 3.37 são indicados os percentuais de atendimento das ETEs, para cada parâmetro avaliado, bem como suas respectivas classificações baseadas nos três

critérios estabelecidos, a saber: “A” alto atendimento, “B” médio atendimento e “C” baixo atendimento (ver item 3.2.8).

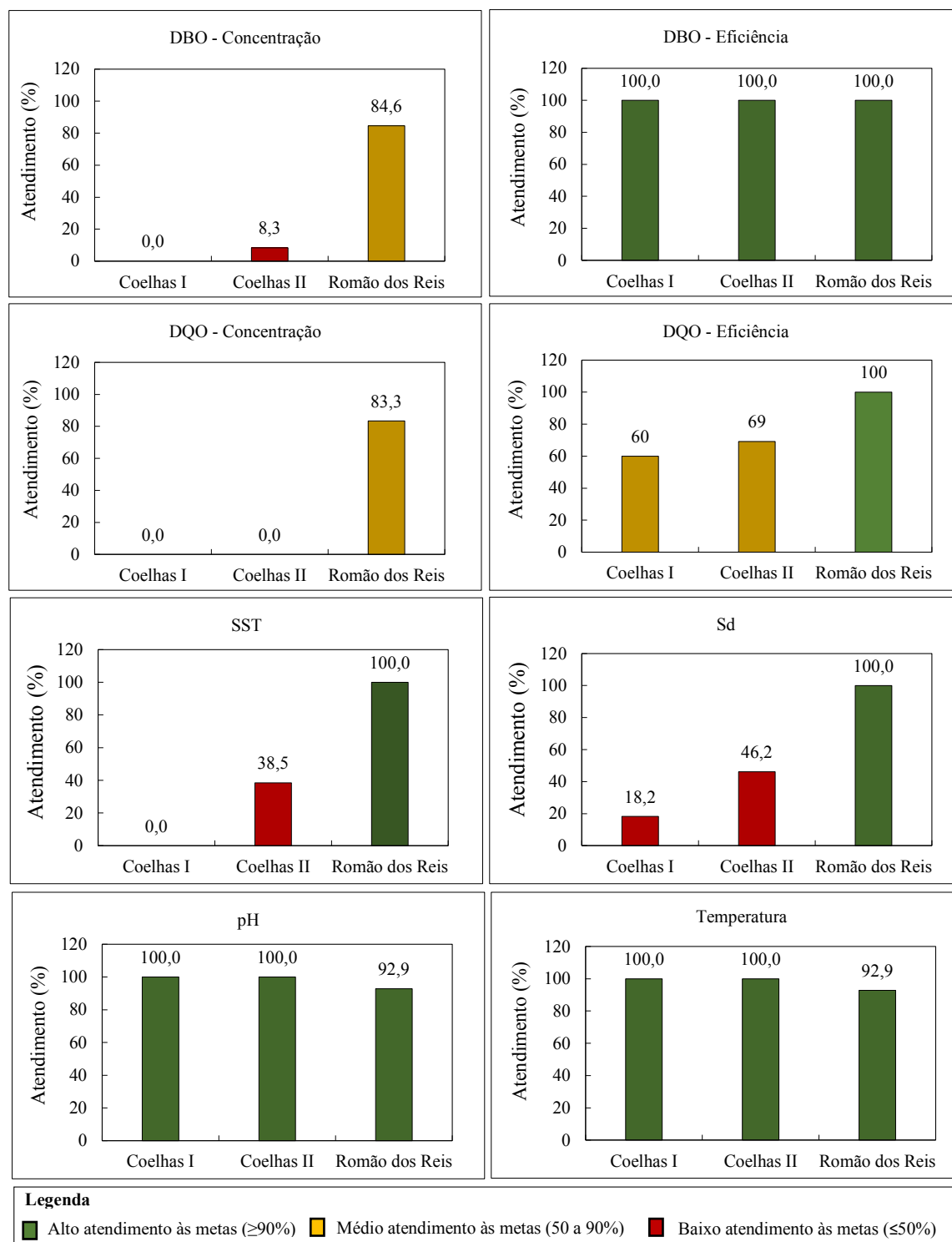


Figura 3.37 - Percentual de atendimento das ETEs às metas de concentração efluente e eficiência mínima segundo os critérios Alto, Médio e Baixo.

Fonte: Da autora (2019).

De modo geral, o pior desempenho foi verificado na estação Coelhas I, cujo atendimento foi classificado como baixo em quatro das oito metas estabelecidas, (concentração de DBO e DQO, SST e Ssed). As metas relacionadas à eficiência de remoção de DBO, Temperatura e pH, por sua vez, tiveram alto atendimento nessa estação de tratamento.

Na estação Coelhas II o pior desempenho foi verificado em relação às metas de concentração de DBO e DQO, SST e Ssed, que apresentaram baixo atendimento. As metas relativas à eficiência de remoção de DBO e limites de lançamento de pH e temperatura foram atendidas durante todo o período de monitoramento sendo classificadas, dessa forma, como alto atendimento.

Por fim, na estação Romão dos Reis foi verificado o melhor desempenho quanto ao atendimento às metas propostas. O atendimento foi classificado como alto em seis das oito condições avaliadas, sendo estas eficiências de remoção de DBO e DQO e valores limites de SST, Ssed, pH e temperatura. Adicionalmente, as metas relativas às concentrações máximas de DBO e DQO efluente só foram parcialmente atendidas nessa estação, que apresentou percentuais de atendimento para essas metas de 84,6 e 83,3%, respectivamente, sendo então classificadas como médio atendimento.

Além das exigências relativas às concentrações máximas e eficiências mínimas de remoção de DBO e DQO para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, a DN COPAM/CERH nº 01/2008 estabelece que sistemas de esgotos sanitários e percolados de aterros sanitários municipais devem proporcionar eficiências de redução de DBO e DQO médias anuais iguais ou superiores a 70 e 65%, respectivamente.

Avaliando os percentuais de remoção obtidos ao longo de 12 meses, nas três ETES avaliadas, bem como os valores médios calculados para o mesmo período, verifica-se que, em relação ao parâmetro DBO, todas as estações apresentaram eficiências médias anuais superiores ao valor estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 01/2008 (Figura 3.38). As eficiências médias anuais de remoção de DBO assumiram valores de 78, 80 e 93% nas estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente.

No entanto, avaliando-se as eficiências médias anuais obtidas em relação ao parâmetro DQO, verifica-se que as ETES Coelhas I e Coelhas II não atingiram a eficiência anual mínima estabelecida em legislação. Nessas estações, as médias dos percentuais de remoção dos 12 meses avaliados foram iguais a 55 e 56%, respectivamente.

Na ETE Coelhas I a menor eficiência de remoção de DQO verificada (29%) refere-se à eficiência obtida no tratamento realizado apenas pelo tanque séptico, tendo em

vista que um entupimento verificado no filtro anaeróbio impossibilitou a coleta do efluente final para análise.

A estação Romão dos Reis, por sua vez, apresentou eficiência de remoção de DQO média igual a 89%, sendo esta superior à exigida para o lançamento de efluentes sanitários, o que demonstrou o melhor desempenho e adequação à legislação vigente dessa estação em relação às demais avaliadas.

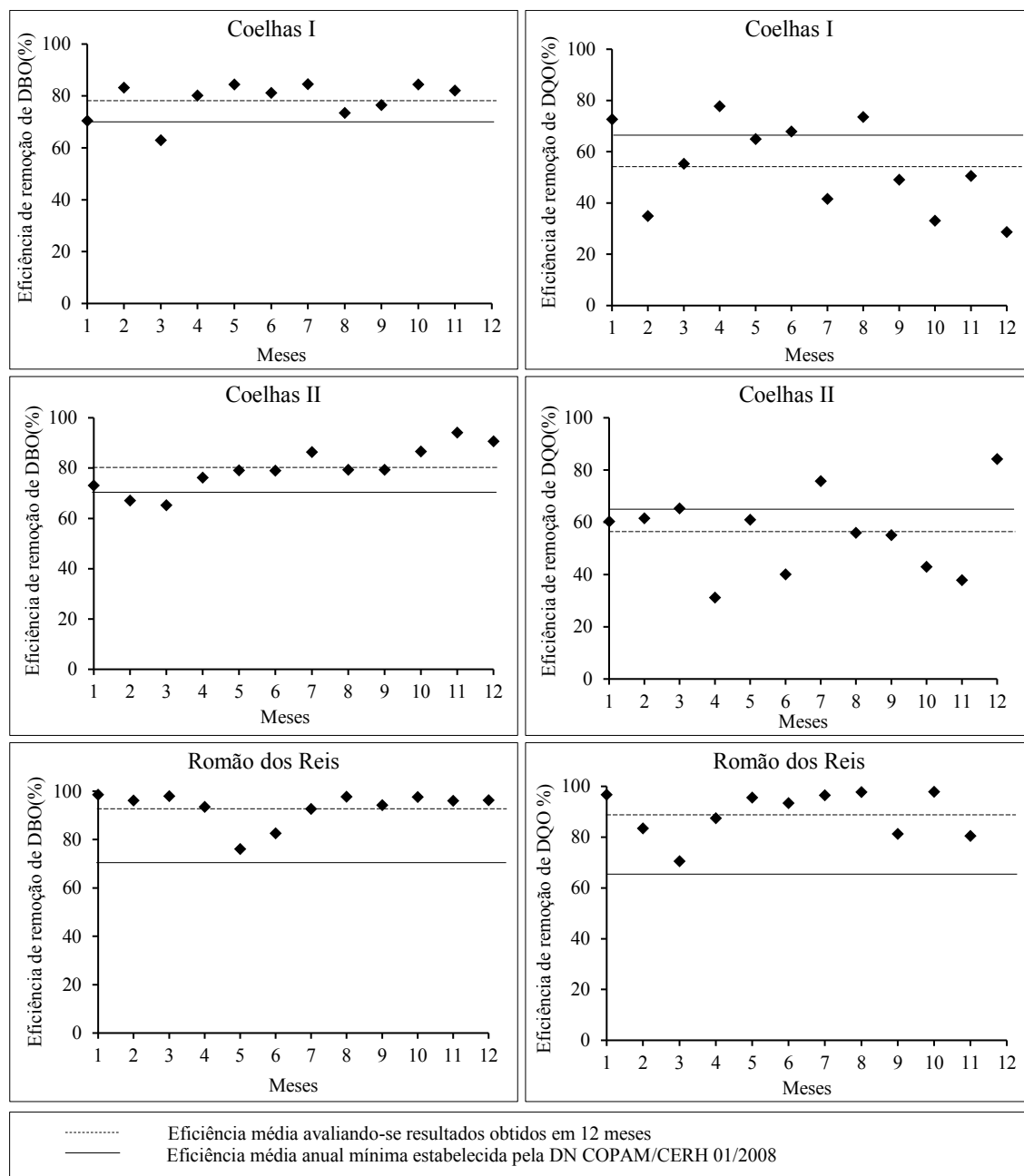


Figura 3.38 - Comparação entre as eficiências de remoção de DBO e DQO médias anuais nas ETes avaliadas e as médias mínimas anuais para lançamento estabelecidas pela legislação vigente.

Fonte: Da autora (2019).

3.3.6 Desempenho individual das unidades constituintes do processo de tratamento

De acordo com Jordão e Pessoa (2017) o bom desempenho de tanques sépticos está relacionado aos recursos humanos e materiais dos seus usuários. Segundo os autores, a ausência de análises físicas e químicas do efluente, de acompanhamento operacional das unidades e de falhas em seu dimensionamento podem acarretar problemas em suas unidades e em unidades de tratamento subsequentes, tais como os filtros anaeróbios.

Para que as eficiências desejáveis de remoção de poluentes em tanques sépticos e filtros anaeróbios sejam alcançadas é necessário que sejam realizadas operações de manutenção e limpeza regulares em suas estruturas físicas.

Ao longo do período de monitoramento das ETEs realizado nesse estudo foi efetuada uma limpeza, em cada uma das estações, que ocorreu no mês de novembro (2017) para retirada do lodo de excesso nos tanques sépticos e filtros anaeróbios. Adicionalmente, nas unidades gradeamento, as limpezas eram realizadas sempre que verificado acúmulo de materiais na ETE Romão dos Reis. Nas ETEs Coelhas I e II, por sua vez, a limpeza nas unidades de tratamento preliminar só foi realizada na data de limpeza dos tanques sépticos e filtros anaeróbios.

O desempenho individual das unidades de tratamento foi avaliado nas três ETEs em estudo durante todo o período de monitoramento. As coletas realizadas nos dias 08/05/2018 (coleta 11), 17/05/2018 (coleta 10) e 05/06/2018 (coleta 12) nas estações Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis, respectivamente, apresentam apenas dados de entrada e saída (ponto 1 e ponto 4), uma vez que nas datas referidas foi realizado o monitoramento do efluente em diferentes horários do dia.

Na estação Coelhas I, em função da ocorrência de um entupimento no filtro anaeróbio que impossibilitou a coleta no ponto 4, serão apresentados dados relativos ao efluente final da ETE apenas até o mês de maio/2018.

Tendo em vista que as unidades de tratamento preliminar não possuem como objetivo a remoção de matéria orgânica, apenas os parâmetros relativos à remoção de sólidos serão avaliados nessas unidades.

3.3.6.1 ETE Coelhas I

As unidades de tratamento preliminar pertencentes à estação Coelhas I apresentaram eficiência de remoção média de SST de cerca de 26%, desconsiderando-se

o episódio de aumento da concentração verificado em uma coleta. Nessas unidades, as menores eficiências foram verificadas nas coletas iniciais (1 a 4), sendo obtidas concentrações muito próximas às de entrada ou, no caso da coleta 3, concentração superior. Avaliando-se a Figura 3.39 é possível verificar que, nas coletas 3 e 4, houve também uma diminuição da eficiência global do sistema, que apresentou valores de 22 e 14%, respectivamente. Ainda, nessas coletas, foi verificada uma baixa eficiência de remoção de SST no tanque séptico e, consequentemente, no filtro anaeróbio, tendo em vista que a excessiva quantidade de sólidos em suspensão nessa unidade resulta em seu mau desempenho.

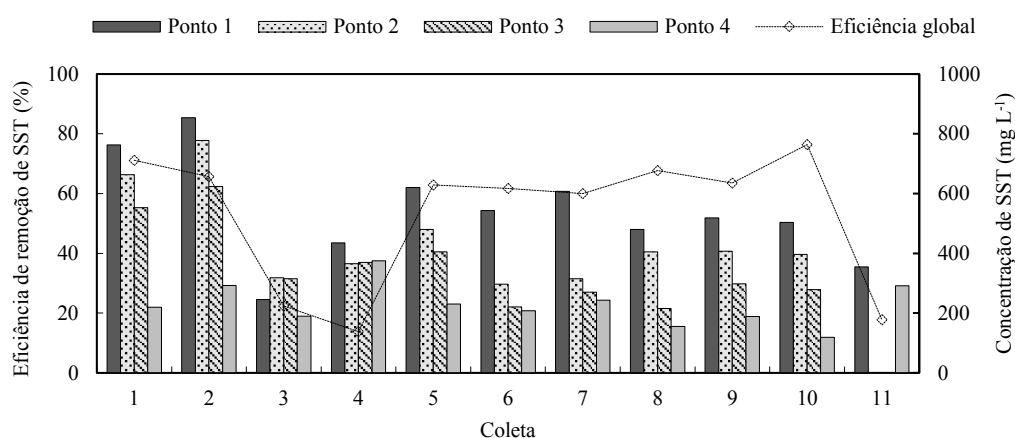


Figura 3.39 - Concentração de SST e eficiência global da ETE Coelhas I quanto à remoção de SST ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

As coletas citadas antecederam a manutenção (esgotamento) das unidades de tratamento, logo, acredita-se que o arraste de partículas sedimentadas bem como a diminuição do TRH ocasionada pelo acúmulo de sólidos nos reatores tenham influenciado os resultados obtidos.

Após o esgotamento das unidades (realizado entre as coletas 4 e 5) é possível verificar que a eficiência do tratamento preliminar e do tanque séptico apresentaram acentuado aumento. Nas coletas realizadas anteriormente à limpeza das unidades a eficiência média de remoção de SST nessas unidades assumiu valores de 2,1 e 8,9%, respectivamente. Nos seis meses posteriores à realização da limpeza (coletas 5 a 10), a eficiência de remoção média aumentou para 29% no tratamento preliminar e 27% no tanque séptico. Embora a eficiência no tanque séptico tenha aumentado, os percentuais de remoção foram muito inferiores aos indicados na literatura para tal unidade de

tratamento. Segundo Jordão e Pessoa (2017) espera-se que tanques sépticos de câmara única sejam capazes de remover cerca de 50% dos SST presentes no esgoto.

No sétimo mês após a limpeza e esgotamento das unidades de tratamento (coleta 11) novamente foi verificada a ocorrência de baixa eficiência de remoção global, com valor correspondente a 18%. As coletas posteriores permitiram inferir que a baixa eficiência verificada não se tratou de um episódio isolado, podendo ter se estendido ao longo de todo o mês. Tal hipótese é levantada tendo em vista que, durante a coleta 12, foi verificado um entupimento no filtro anaeróbio que impossibilitou a coleta do efluente final na ETE. Tal entupimento pode estar relacionado à entrada de excessiva quantidade de sólidos suspensos no filtro, o que pode ter provocado, em curto tempo, a colmatação do leito e resultado no colapso do reator.

Avaliando-se o desempenho das unidades de tratamento na estação Coelhas I quanto à remoção de DBO, verifica-se que a eficiência global do sistema se apresentou uniforme durante o período monitorado (Figura 3.40). O valor mais discrepante foi observado na coleta 4 (63%), que precedeu a limpeza das unidades. Nesse período anterior à limpeza, a eficiência média de remoção no tanque séptico foi de 40% enquanto para o filtro anaeróbio o valor observado foi de 62%. Nos seis meses posteriores à limpeza realizada a eficiência média de remoção não apresentou incremento significativo, sendo obtidos percentuais de 45 e 62% no tanque séptico e filtro anaeróbio, respectivamente.

A inalteração da eficiência do filtro anaeróbio se deu em função de uma diminuição do desempenho dessa unidade 4 meses após a realização da limpeza, o que é evidenciado avaliando-se a eficiência nas coletas 9 e 10, onde o filtro apresentou percentual médio de 46% enquanto nas coletas 5 a 8 a eficiência média assumiu valores de 71%.

A eficiências de remoção obtidas no tanque séptico apresentaram valores condizentes com aquelas citadas por Jordão e Pessoa (2017) que afirmam que tal unidade de tratamento costuma apresentar eficiência de remoção de DBO na faixa de 30 a 50%, sendo estes valores diminuídos com a ausência de limpezas regulares.

Para o filtro anaeróbio, os mesmos autores citam que a remoção de DBO costuma assumir percentuais de 70 a 85%. Desse modo, verifica-se que o filtro anaeróbio pertencente à ETE Coelhas I apresentou desempenho inferior ao mencionado pelos autores na maior parte das análises realizadas (com exceção das coletas 6 a 8, que apresentaram eficiências de 72%).

As concentrações de DBO efluentes do tanque séptico apresentaram valor médio de 314 mg L^{-1} (Tabela 3.19), sendo este próximo ao obtido por Cruz, Tonetti e Gomes (2018) que, ao avaliar o desempenho de tanques sépticos em uma área rural no Brasil, obtiveram concentrações efluentes de cerca de 286 mg L^{-1} .

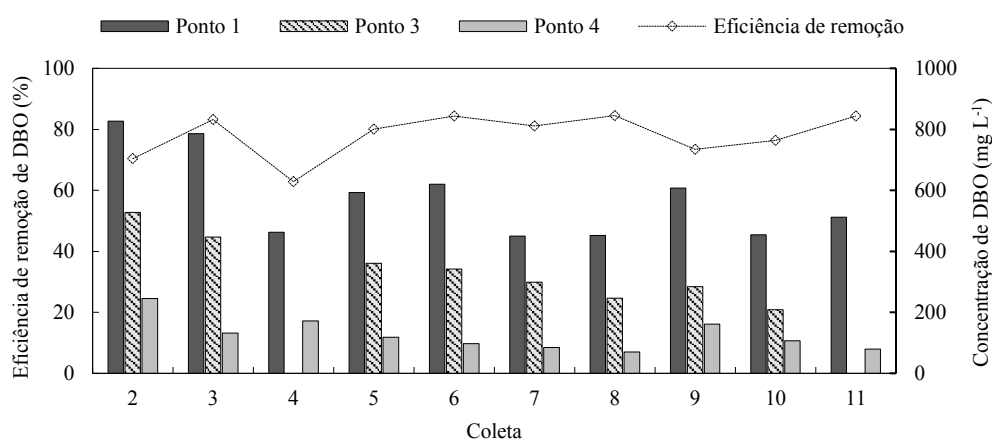


Figura 3.40 – Concentração de DBO e eficiência global da ETE Coelhas I quanto à remoção de DBO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

Em relação ao parâmetro DQO, não foram observadas tendências relacionadas ao período anterior e posterior ao esgotamento das unidades de tratamento na eficiência de remoção global da ETE Coelhas I.

O desempenho do tanque séptico apresentou elevada variabilidade, sendo obtidas eficiências de -29 a 51%. O aumento na concentração de DQO no tanque séptico em relação ao valor de entrada foi verificado em 50% das análises realizadas, ocorrendo mesmo após a limpeza das unidades.

No filtro anaeróbio houve um aumento na eficiência de remoção nos três meses posteriores à limpeza (coletas 5 a 7), apresentando eficiência média nesse período de 73%. No demais meses onde foi possível avaliar a eficiência individual do filtro anaeróbio, a eficiência média de remoção foi igual a 54% (coletas 8 a 10).

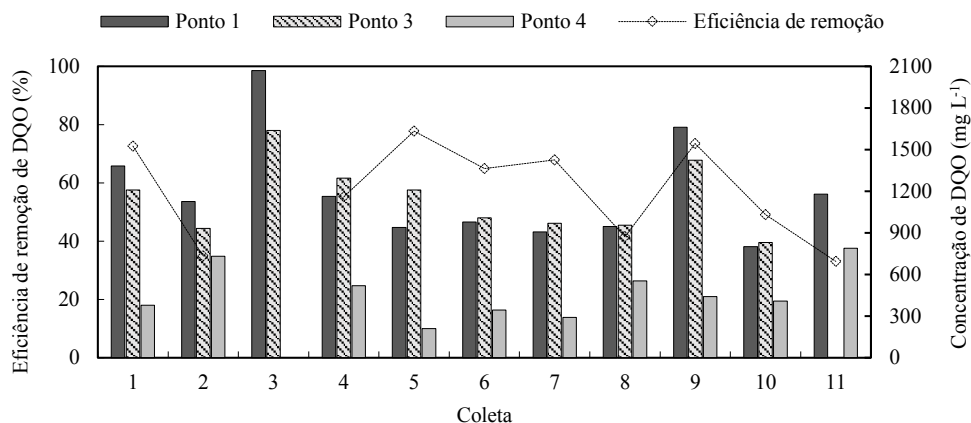


Figura 3.41 – Concentração de DQO e eficiência global da ETE Coelhas I quanto à remoção de DQO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

3.3.6.2 ETE Coelhas II

Na estação Coelhas II, o tratamento preliminar apresentou eficiência de remoção média de SST de cerca de 29%, sendo este valor próximo ao verificado na ETE Coelhas I, que apresenta unidades de tratamento semelhantes. Ainda em relação à remoção de SST, a estação Coelhas II apresentou eficiência de remoção global média igual a 66%, com valores extremos de 48% e 90% (Figura 3.42).

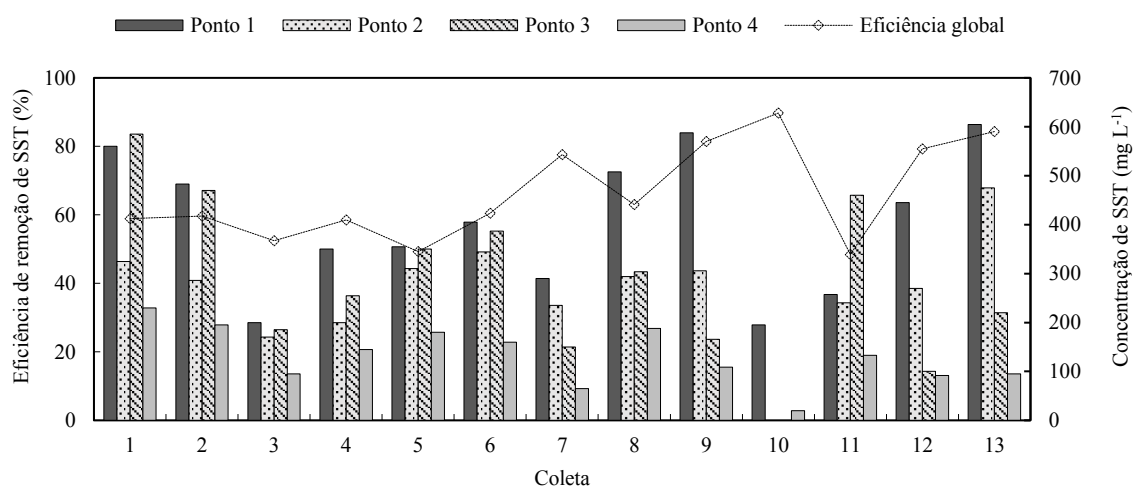


Figura 3.42 - Concentração de SST e eficiência global da ETE Coelhas II quanto à remoção de SST ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

Os menores valores foram observados no período que antecedeu a primeira limpeza das unidades realizadas nessa estação (coletas 1 – 5). A única exceção foi verificada na coleta 11 onde, em função do acentuado aumento da concentração de sólidos após a passagem pelo tanque séptico, a eficiência global do sistema foi de 48%.

Avaliando-se os dados referentes às coletas anteriores e posteriores à anteriormente citada, verifica-se que o aumento expressivo de sólidos no efluente de tanque séptico parece ter ocorrido em um episódio isolado, podendo ter sido ocasionado por uma sobrecarga no sistema. Eficiências negativas também foram verificadas em outras coletas nessa unidade, porém em menor intensidade.

Nos meses iniciais de monitoramento, que precederam a limpeza das unidades de tratamento, a eficiência de remoção no tanque séptico atingiu valores de -80%. Com a realização do esgotamento do tanque foi verificado o aumento dos percentuais de remoção, porém somente após a coleta 7 (dois meses após a limpeza) o sistema passou a apresentar eficiências positivas de remoção.

O mesmo comportamento foi verificado por Alvarado et al. (2017) que, durante caracterização realizada em tanque séptico algumas semanas após a limpeza completa do sistema, observaram eficiências negativas de remoção de sólidos, na ordem de -85%, o que pode ser atribuído ao período de estabilização do sistema após a manutenção das unidades de tratamento.

Em função dos episódios de eficiências negativas, o tanque séptico pertencente à ETE Coelhas II apresentou eficiência média de remoção de SST de -8% durante o período monitorado, demonstrando um desempenho inferior ao sugerido por Jordão e Pessoa (2017) (50%) em cerca de 83% das coletas realizadas. O filtro anaeróbio pertencente à mesma estação apresentou eficiência de remoção média de SST de 49%. Nessa unidade foi observado que após a limpeza realizada houve um incremento nas eficiências de remoção nos três meses posteriores (coletas 5 a 7), decaindo após esse período.

Em relação ao parâmetro DBO, também foi verificada a influência da limpeza das unidades na eficiência de remoção global do sistema, de modo que, após a coleta 5, a eficiência de remoção de DBO global apresentou valores superiores aos anteriormente observados, com percentuais variando de 79 a 94% (Figura 3.43). Avaliando-se o desempenho individual das unidades de tratamento, verifica-se que as eficiências de remoção de DBO no tanque séptico apresentaram tendência similar à observada para a eficiência global, apresentando os menores percentuais nos primeiros meses de monitoramento (coleta 1 a 3). O incremento na eficiência de remoção após a limpeza foi

verificado nos três meses posteriores à sua realização, apresentando um decréscimo na eficiência de cerca de 13% após o período citado. A eficiência média, durante todo o período monitorado, nessa unidade de tratamento foi de 46%, sendo este valor condizente com o citado por Jordão e Pessoa (2017), que sugerem uma faixa de eficiência de 30 a 50% para tanques sépticos de câmara única.

Quando ao filtro anaeróbio, a eficiência média calculada assumiu valor de 56%. Para Jordão e Pessoa (2017), tal eficiência é inferior à esperada para filtros anaeróbios que, quando submetidos a práticas operacionais apropriadas, devem alcançar eficiências de 70 a 85%.

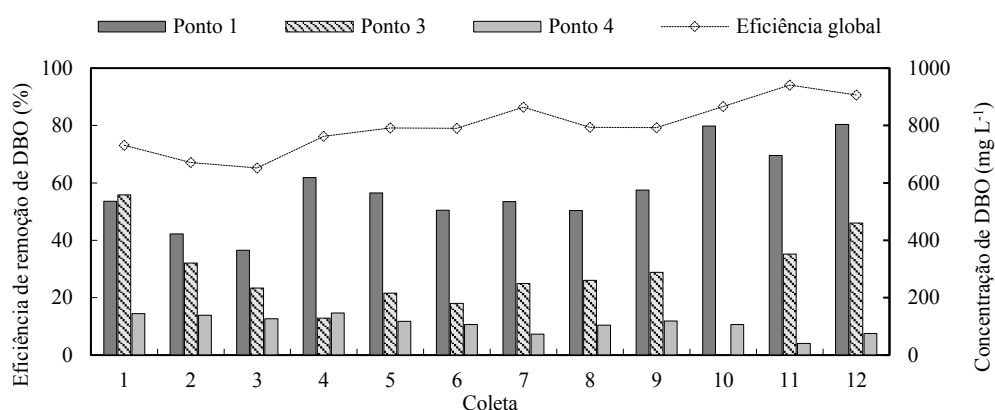


Figura 3.43 – Concentração de DBO e eficiência global da ETE Coelhas II quanto à remoção de DBO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

Avaliando-se o comportamento da ETE Coelhas II quanto à remoção de DQO, foi verificada uma grande variabilidade na eficiência global de remoção e na eficiência do tanque séptico (Figura 3.44). A eficiência global média calculada foi de 58%, enquanto para o tanque séptico tal valor foi de 20%. Os menores valores de eficiência global ocorreram em episódios de aumento da concentração de DQO após a passagem pelo tanque séptico (coletas 4, 6 e 11). O filtro anaeróbio, por outro lado, não apresentou variações expressivas na eficiência ao longo do período monitorado, mesmo após a realização da limpeza no sistema. A eficiência média calculada foi de 49% para essa unidade, com valores máximos e mínimos de 42 e 58%, respectivamente.

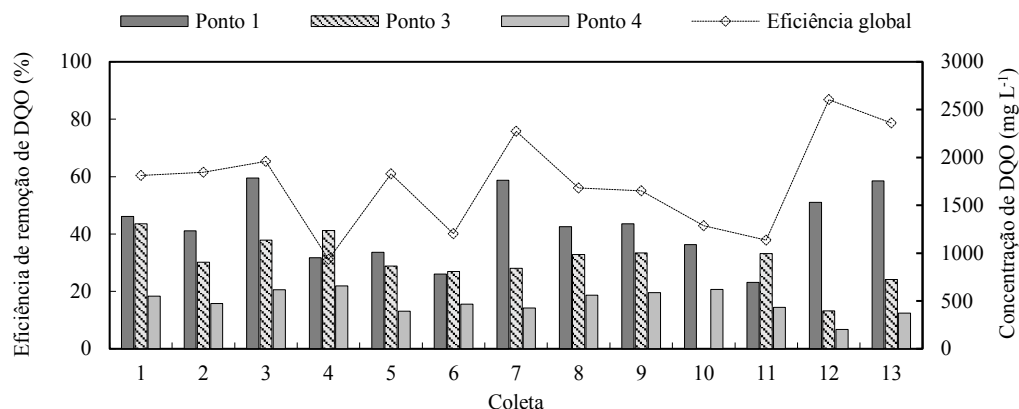


Figura 3.44 – Concentração de DQO e eficiência global da ETE Coelhas II quanto à remoção de DQO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

3.4.6.3 ETE Romão dos Reis

As unidades de tratamento preliminar pertencentes à ETE Romão dos Reis apresentaram episódios de aumento da concentração de SST em relação à inicial em três coletas realizadas (Figura 3.45). Acredita-se que tal comportamento tenha ocorrido de maneira pontual, tendo em vista que nas demais coletas realizadas a eficiência de remoção de SST apresentou os maiores valores entre as ETEs avaliadas, com percentual médio de 40%. Adicionalmente, apenas na ETE Romão dos Reis a limpeza nas unidades de tratamento preliminar é realizada com maior frequência, sendo adotada uma rotina de limpezas mensais.

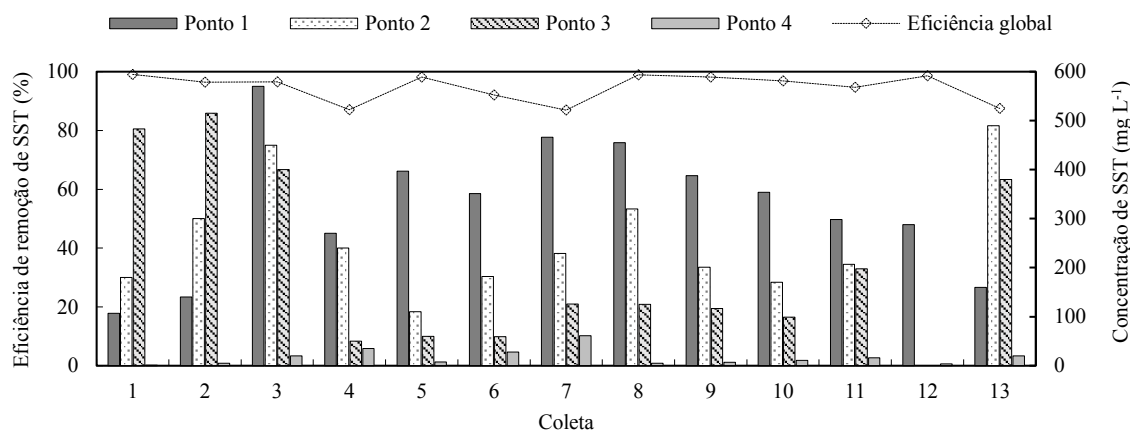


Figura 3.45 - Concentração de SST e eficiência global da ETE Romão dos Reis quanto à remoção de SST ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

A configuração da unidade de gradeamento também pode ter exercido influência nos resultados negativos observados. Conforme indicado na Figura 3.18 (pag. 157), antes de ser direcionado para o desarenador, o esgoto afluyente à ETE Romão dos Reis passa por uma espécie de peneira para retenção dos sólidos. No entanto, em função do menor diâmetro de abertura e da ausência de uma etapa anterior responsável pela remoção de sólidos grosseiros, sólidos de maior diâmetro podem ficar retidos nos orifícios de saída da peneira e, assim, ocasionar entupimentos que prejudicam a distribuição uniforme dos esgotos no sistema de tratamento.

Avaliando-se a eficiência global do sistema quanto à remoção de SST, verifica-se que em 77% das análises realizadas os percentuais obtidos foram superiores à faixa (60 a 90%) relatada na NBR 13969 (ABNT, 1997). As eficiências apresentaram valores máximos e mínimos de 87 e 99%, respectivamente.

Por meio da Figura 3.45 é possível notar uma grande oscilação dos dados referentes ao desempenho do tanque séptico na remoção de SST. O pior desempenho foi verificado no período inicial do monitoramento, com a ocorrência de baixos percentuais de remoção e aumento da concentração de sólidos após a passagem por tal unidade de tratamento. A grande variabilidade dos dados não permitiu inferir a influência da manutenção (esgotamento) realizada nos percentuais de eficiência.

No entanto, verifica-se que nas coletas 5 e 6, que sucederam a referida manutenção, as concentrações efluentes de SST no tanque séptico apresentaram valores baixos, 60 e 59 mg L⁻¹, respectivamente. Tais concentrações já se adequariam às condições e padrões específicos para lançamento direto do efluente tratado em corpos hídricos segundo a Legislação mineira DN COPAM/CERH nº 01/2008, a qual condiciona 100 mg L⁻¹ como concentração máxima permitida. Nas coletas posteriores à mencionada as concentrações efluentes apresentaram valor médio de 174 mg L⁻¹.

O filtro anaeróbio apresentou eficiência de remoção de SST média de 82%. A menor eficiência verificada ocorreu na coleta anterior à limpeza da unidade, apresentando percentual igual a 30%.

De modo geral, o filtro anaeróbio apresentou desempenho satisfatório de modo que, em 75% das amostras avaliadas, a eficiência proporcionada por tal unidade foi superior a 88%. Tais resultados demonstraram a maior capacidade do filtro anaeróbio, comparativamente ao tanque séptico, em apresentar desempenho constante, mesmo com expressivas variações nas concentrações efluentes.

De acordo com Cruz et al. (2013) isso ocorre em função da utilização de material de enchimento nos filtros. Tal material dificulta a lavagem do lodo e da matéria orgânica particulada e, assim, proporciona um efluente de melhor qualidade, ainda que haja a existência de grandes flutuações de vazão, condição esta recorrente em pequenos sistemas de tratamento.

Durante todo o período de monitoramento o efluente do filtro anaeróbio se apresentou muito clarificado. Após a passagem por essa unidade de tratamento, os valores de turbidez do efluente reduziram-se substancialmente, permanecendo em uma faixa sempre inferior a 13 UNT, o que, baseando-se apenas neste parâmetro, seria equivalente ao valor de turbidez presente em corpos de água doce Classe 1 (CONAMA, 2011).

Vale salientar que a concentração de SST do efluente do filtro anaeróbio, em 85% das análises realizadas, foi inferior a 30 mg L^{-1} , sendo este valor definido por Von Sperling e Chernicharo (2002) como típico para os efluentes de sistemas como lodos ativados e biofiltros aerados submersos, indicando a viabilidade do filtro anaeróbio na remoção de sólidos perante tais sistemas.

De modo análogo aos resultados obtidos para os SST, as concentrações efluentes de DBO no filtro anaeróbio apresentaram valores similares durante grande parte do período monitorado, não sendo fortemente afetadas pelas expressivas variações no efluente bruto (Figura 3.46). A eficiência de remoção de DBO média nessa unidade de tratamento foi de 67% e, assim como verificado em relação aos SST, o menor percentual ocorreu na coleta anterior ao esgotamento da unidade, onde foi obtida eficiência igual a 37%.

Quanto ao desempenho do tanque séptico, durante o período inicial do monitoramento, foram verificados baixos percentuais de remoção de DBO e, ainda, concentrações efluentes superiores às afluentes. Nesse período, a eficiência de remoção média verificada foi de -20%, evidenciando a ocorrência de arraste de material particulado do tanque.

Avaliando-se todo o período monitorado, a eficiência média de remoção nessa unidade foi de 33%. Isso ocorreu em função de, após a coleta 4, ter-se observado um incremento na eficiência dessa unidade, assim como na eficiência global do sistema, que passou a apresentar eficiência média de 81% em detrimento do valor médio inicial de 68%. Os maiores percentuais ocorreram após a realização do esgotamento do tanque séptico e filtro anaeróbio, logo, acredita-se que o arraste de sólidos decantados, bem como

o desprendimento de pequenas partículas do meio suporte tenham influenciado as concentrações de matéria orgânica até aquele momento.

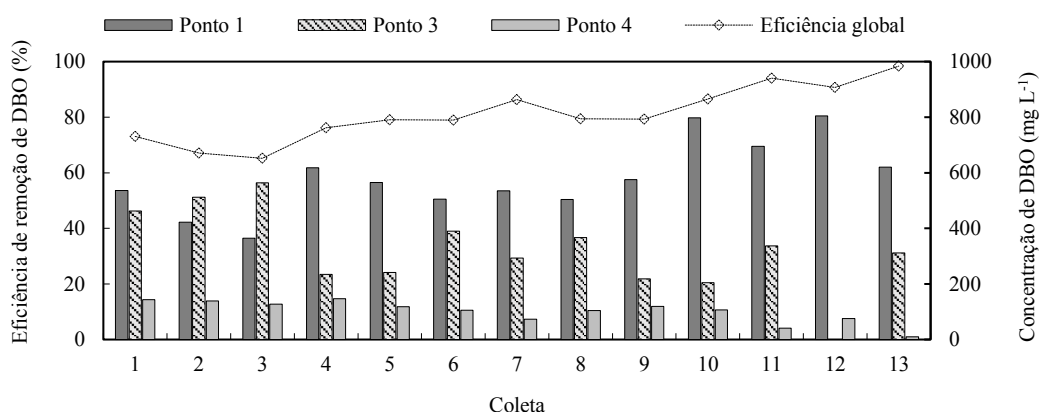


Figura 3.46 – Concentração de DBO e eficiência global da ETE Romão dos Reis quanto à remoção de DBO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

Assim como verificado nas ETEs Coelhas I e II, as concentrações de DQO no efluente bruto e nos efluentes do tanque séptico apresentaram elevada variabilidade durante o período monitorado (Figura 3.47). A eficiência global de remoção desse parâmetro apresentou valores no intervalo de 71 a 98%.

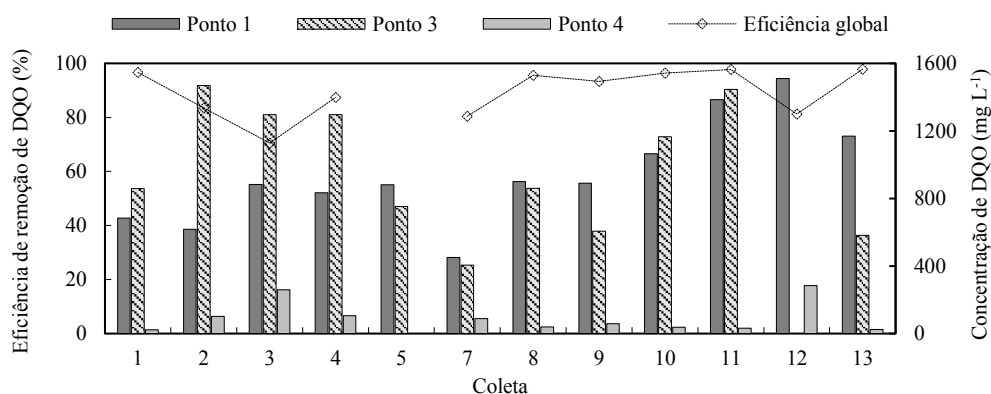


Figura 3.47 – Concentração de DQO e eficiência global da ETE Romão dos Reis quanto à remoção de DQO ao longo do período de monitoramento.

Fonte: Da autora (2019).

Os valores elevados de eficiência ocorreram em função do desempenho do filtro anaeróbio, que apresentou eficiências superiores a 90% em 80% das análises realizadas.

Por outro lado, o desempenho do tanque séptico foi insatisfatório. Durante os meses anteriores à realização do esgotamento dessa unidade as eficiências de remoção apresentaram valores negativos, o que indicou a ocorrência de carreamento de partículas.

De acordo com Andreoli (2009) o arraste de partículas em tanques sépticos ocorrem quando o lodo não é removido periodicamente, desse modo, a unidade se torna uma caixa de passagem, em que o efluente líquido transporta partículas e micro-organismos para as etapas subsequentes do tratamento.

Nos quatro meses posteriores ao esgotamento do tanque séptico as eficiências de remoção apresentaram relativo incremento, atingindo percentual médio de 15%. No entanto, após esse período a unidade de tratamento apresentou indícios de mau funcionamento, apresentando novamente eficiências de remoção negativas.

Afim de apresentar um resumo dos resultados obtidos, as concentrações médias de DBO, DQO e SST nas ETEs avaliadas, obtidas nos diferentes pontos de amostragem, ao longo do período de monitoramento são indicadas na Tabela 3.20.

Tabela 3.18 Concentrações médias de DBO, DQO e SST nos diferentes pontos de amostragem ao longo do período de monitoramento nas ETEs avaliadas.

Parâmetro	Ponto de amostragem	Coelhas I		Coelhas II		Romão dos Reis	
		n	M ± DP	n	M ± DP	n	M ± DP
DBO	P1	11	591 ± 134	12	577 ± 129	13	580 ± 124
	P3	10	316 ± 114	11	295 ± 118	12	345 ± 114
	P4	11	127 ± 51	12	108 ± 31	12	35 ± 24
DQO	P1	11	1.145 ± 361	13	1.274 ± 351	12	939 ± 292
	P3	10	1.039 ± 326	12	934 ± 232	11	976 ± 357
	P4	10	466 ± 176	13	489 ± 122	12	96 ± 88
SST	P1	11	511 ± 166	13	403 ± 137	13	317 ± 130
	P2	10	423 ± 150	12	288 ± 75	12	261 ± 107
	P3	10	378 ± 178	12	303 ± 144	12	231 ± 167
	P4	11	229 ± 68	13	131 ± 57	13	17 ± 15

Nota: n (número de amostras); M (média) e DP (desvio padrão).

Fonte: Da autora (2019).

3.3.7 Avaliação da influência da precipitação pluviométrica

A coleta de águas residuárias é realizada no Brasil, desde o ano de 1912, predominantemente por meio de sistemas separadores absolutos, que possuem diferentes condutos para a coleta de águas pluviais e esgotos sanitários.

No entanto, muitos sistemas, embora projetados como separador absoluto, operam como separador parcial em função da elevada contribuição de águas pluviais nas redes coletoras decorrentes de ligações irregulares e infiltrações nas redes de esgoto. A ocorrência de vazões superiores à capacidade das estações pode causar desestabilização dos sistemas de tratamento, principalmente nos processos de depuração biológica, e ocasionar uma diminuição na eficiência de ETEs.

Durante o monitoramento realizado nesse estudo foram verificados episódios de arraste de sólidos dos reatores avaliados e elevado acúmulo desses constituintes nas unidades de tratamento preliminar, sobretudo, nas caixas de areia. A fim de verificar se a ocorrência de tais episódios possuiu relação com o índice pluviométrico registrado nos dias de coleta foi realizada uma avaliação do desempenho das ETEs avaliadas em períodos distintos, sendo eles secos e chuvosos.

As precipitações ocorridas durante as 24 horas anteriores à coleta das amostras são indicadas na Tabela 3.21. Verificou-se a ocorrência de precipitação anterior às coletas realizadas nos meses de maio/2017, novembro/2017, dezembro/2017, fevereiro/2018, março/2018, maio/2018 e julho/2018 na estação Coelhas I; agosto/2017, outubro/2017, fevereiro/2018, março/2018, abril/2018, junho/2018 e julho/2018 na estação Coelhas II; e maio/2017, dezembro/2017, fevereiro/2018 e agosto/2018 na estação Romão dos Reis.

Tabela 3.19 – Precipitação acumulada nas 24 horas anteriores à coleta de amostras nas ETEs avaliadas.

Coleta	Precipitação (mm)		
	Coelhas I	Coelhas II	Romão dos Reis
1	0,2	0	0,2
2	0	0,6	0
3	0	0,4	0
4	0	0	0
5	12,8	0	0
6	1	0	1,4
7	0	6,4	0
8	0,8	0,2	0,2
9	21,8	0,4	0
10	0	0	0
11	0,2	0,2	0
12	6,2	6,2	0
13	0	0	0
14	-	-	0,2

Observa-se que os maiores volumes de chuva verificados no período de estudo ocorreram nos meses de novembro/2017 (12,8 mm) e março/2018 (21,8 mm) nos dias anteriores às coletas realizadas na estação Coelhas I. Nas demais datas de coleta foi verificada a ausência de precipitação ou ocorrência de índices pluviométricos inferiores a 7 mm.

Conforme mencionado na metodologia, foram realizadas comparações a fim de se avaliar diferenças significativas de operação (medida pelas concentrações efluentes e eficiência) e características do esgoto afluente às ETEs (concentrações afluentes) nas amostras coletadas em períodos secos e chuvosos.

A Tabela 3.22 apresenta os resultados do teste estatístico de Mann-Whitney, aplicado aos dados de concentração afluente e efluente e eficiência de remoção de DBO, DQO, SST e Ssed nos períodos secos e chuvosos, para as três ETEs avaliadas. Quando a diferença entre o período seco e chuvoso se mostrasse estatisticamente significativa, a um nível de significância de 5 %, o valor de p (p -value) seria inferior a 0,05.

Tabela 3.20 - Resultados do teste de Mann Whitney ($\alpha = 5\%$) para DBO, DQO, SST e Ssed (afluente e efluente) e eficiências de remoção nas três ETEs avaliadas.

Parâmetro avaliado	ETEs		
	Coelhas I	Coelhas II	Romão dos Reis
DQO afluente	0,8636	0,2949	0,2091
DQO efluente	0,1508	0,8357	0,3727
Eficiência	0,2222	0,3660	0,9000
DBO afluente	0,9307	0,5303	0,6923
DBO efluente	0,2222	0,2020	0,9371
Eficiência	0,1508	0,5303	0,5734
SST afluente	0,6282	0,9452	0,5395
SST efluente	0,5368	0,7308	0,5395
Eficiência	0,6623	0,8357	0,4535
Ssed afluente	0,6282	0,7308	0,3736
Ssed efluente	0,1775	0,8357	0,5395
Eficiência	0,0503	0,9452	0,8392

Fonte: Da autora (2019).

Os resultados do teste estatístico não indicaram diferenças significativas entre os períodos secos e chuvosos. Desse modo, verifica-se que as características do esgoto bruto e o desempenho das ETEs quanto à remoção de poluentes não sofreram alterações em função da ocorrência de precipitação pluviométrica.

No entanto, os baixos índices pluviométricos registrados nas 24 horas anteriores às campanhas de amostragem podem ter influenciado os resultados obtidos, tendo em vista que estes foram pouco representativos diante das vazões de esgoto bruto aplicadas continuamente às ETEs. Desse modo, a ausência de diferenças estatísticas entre os dados avaliados pode estar também relacionada à hipótese de que o ganho de água por precipitação não foi suficiente para provocar distorções na caracterização dos efluentes brutos e tratados bem como no desempenho das ETEs.

Em relação ao carreamento de sólidos para o sistema de tratamento preliminar, observado nas estações Coelhas I e II, a pressuposição da influência da chuva baseou-se no fato de que nas proximidades das regiões atendidas pelas ETEs citadas há a presença de estradas não pavimentadas e encostas íngremes, sendo estas áreas propensas à ocorrência de erosão hídrica.

Todavia, de acordo com Lal (1988), chuvas com capacidade erosiva são aquelas cuja intensidade é superior a 25 mm h^{-1} . Durante as campanhas de amostragem realizadas nesse estudo, a intensidade das chuvas nas 24 horas anteriores às coletas não foi superior a 11 mm h^{-1} nas datas de coleta na estação Coelhas I, de modo que 86% dos dados pluviométricos indicaram intensidades inferiores a 5 mm h^{-1} . Nas datas de coleta realizadas na estação Coelhas II, o comportamento das chuvas foi similar, verificando-se uma intensidade máxima de $4,4 \text{ mm h}^{-1}$. Desse modo, o efeito da chuva no arraste de material particulado para as ETEs pode não ter sido constatado em função da baixa intensidade das chuvas verificada nas datas avaliadas.

3.3.8 Avaliação geral e recomendações

Baseado no monitoramento realizado nesse estudo foi verificado que os sistemas avaliados apresentam necessidade de intervenção com referência a dispositivos de medição de vazão, gestão de segurança, controle operacional e remoção de sólidos em suspensão totais, sólidos sedimentáveis e DQO.

A ausência de dispositivos medidores de vazão foi verificada nas três estações avaliadas. Para garantir um melhor acompanhamento de eventos de sobrecarga hidráulica e sua influência no desempenho das ETEs avaliadas, recomenda-se a implantação de medidores de vazão na entrada e saída das ETEs. A utilização de tal instrumento, garante resultados mais confiáveis, tendo em vista a utilização de uma medição direta, com menor interferência de falsas interpretações ou erros de leitura que estão associadas ao método

volumétrico. Por meio do monitoramento das vazões afluentes será possível verificar de maneira direta a ocorrência de alterações nas vazões dos sistemas em períodos chuvosos. Adicionalmente, o acompanhamento desse parâmetro é de substancial importância para a proposição de projetos de ampliação das ETEs existentes.

As intervenções relacionadas à gestão de segurança referem-se à necessidade de instalação de placas indicativas que constem informações a respeito da unidade operacional (nome da unidade e empresa de saneamento responsável) bem como dos sistemas de tratamento adotados. A apropriada disposição de sinalização e de avisos de advertência na entrada de ETEs é apontada pela Resolução Normativa nº 003/2010 da ARSAE/MG como uma medida de prevenção de acidentes, atuando no sentido de evitar a entrada de pessoas não autorizadas em áreas de riscos existentes nos sistemas.

O terceiro ponto com necessidade de intervenção citado engloba medidas para aprimorar a qualidade da operação das ETEs. O controle operacional permite uma otimização das condições operacionais da ETE, visando a redução dos custos e o atendimento aos padrões ambientais de lançamento.

A qualidade da operação e a eficiência do tratamento em sistemas descentralizados estão diretamente relacionadas com a utilização de ferramentas de gestão que assegurem a inspeção e a manutenção regulares dos sistemas (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009; SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012). Desse modo, a padronização de procedimentos operacionais pela esfera organizacional apresenta-se como potencial promotor de aumento da eficiência das ETEs.

Em função da ausência de dados de projeto, as ETEs avaliadas não possuem rotina para remoção do lodo de excesso nos tanques sépticos, filtros anaeróbios e nas unidades de tratamento preliminar. Desse modo, a frequência de limpeza nas referidas unidades pode ser definida baseando-se nos resultados obtidos no monitoramento realizado e avaliando-se a influência das limpezas realizadas no desempenho das ETEs. Analisando-se tais dados, verifica-se que, de modo geral, as ETEs apresentaram incrementos nas eficiências de remoção de DBO, DQO e SST no período de três a quatro meses posteriores ao esgotamento das unidades de tratamento, sendo verificado um decréscimo após esse período. Desse modo, propõe-se a realização do esgotamento dos tanques sépticos e filtros anaeróbios com intervalo de limpeza de quatro meses.

O intervalo sugerido é inferior ao estabelecido pela NBR 7.229 (ABNT, 1993), que estabelece como valor mínimo a frequência de limpeza de tanques sépticos de um ano. No entanto, a diminuição no intervalo de limpeza faz-se necessária para garantir o

bom funcionamento das unidades, tendo em vista que, baseado nos cálculos de dimensionamento propostos pela referida norma técnica, o volume dos tanques sépticos nas ETEs avaliadas é inferior ao necessário para o atendimento da população atualmente servida.

Em relação ao filtro anaeróbio, a frequência sugerida nesse estudo encontra-se de acordo com o indicado por Chernicharo et al. (2001) que cita que, comumente, a remoção do lodo de excesso nessas unidades se faz necessária em períodos de três a seis meses.

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) não define os intervalos de limpeza ideais para drenagem do lodo de excesso em filtros anaeróbios, sendo recomendado apenas que a referida limpeza seja realizada quando verificada a obstrução do leito filtrante.

A ausência de intervalos de limpeza definidos pela ABNT foi relatada por Andrade Neto (1997), desde a implementação da norma técnica anterior NBR 7.229 (ABNT, 1982), como um grave problema.

Apesar disso, a especificação de tais intervalos não foi realizada na atualização da norma técnica no ano de 1997. Segundo o autor, a ausência de frequências de remoção definidas fez com que muitos projetistas no país negligenciassem tal operação. Como consequência, a maior parte dos problemas verificados nos sistemas TS+FAN implementados foram referentes à obstrução do leito filtrante dos filtros anaeróbios.

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) determina que durante a limpeza dos filtros anaeróbios não deve ser realizada a lavagem completa dessa unidade a fim de não retardar o início da operação do filtro e, consequentemente, diminuir a eficiência no período pós lavagem. A norma estabelece que, ao ser efetuada a limpeza, cerca de 10% do volume do lodo no fundo do tanque deve permanecer na unidade, a fim de possibilitar que parte dos microrganismos permaneçam no meio. A mesma recomendação é válida para os tanques sépticos, cujo material sedimentado deve ser apenas parcialmente removido.

Em relação às unidades de tratamento preliminar pertencentes às estações Coelhas I e II, informações da empresa fabricante determinam que a manutenção das caixas de gradeamento, areia e gordura seja realizada semanalmente, quinzenalmente ou mensalmente, sendo o intervalo alterado em função da verificação de acúmulo de materiais sólidos/gordura nos equipamentos.

Na ETE Romão dos Reis, a configuração da unidade utilizada para o gradeamento, por vezes, pode apresentar entupimentos e, consequentemente, prejudicar a eficiência das unidades posteriores de tratamento. Desse modo, a substituição de tal unidade por grades para a remoção de sólidos grosseiros é indicada.

Avaliando-se a caixa de areia pertencente à estação citada, verifica-se que a deposição de material orgânico ao longo da unidade tem acarretado a proliferação de insetos.

De acordo Jordão e Pessoa (2017), a presença de material orgânico em caixas de areia está relacionada à ocorrência de velocidades de escoamento demasiadamente baixas. O autor aponta como solução para o problema citado a redução da seção transversal da câmara utilizada na caixa de areia. Tendo em vista que a caixa de areia avaliada conta com dois canais de passagem paralelos, sugere-se que seja realizado o fechamento de uma das unidades de passagem.

Adicionalmente, a diminuição do intervalo de limpeza atualmente adotado para 14 dias poderá contribuir para a diminuição da presença de insetos e da formação de odores, tendo em vista a redução do volume de material acumulado.

Além dos pontos anteriormente citados, verifica-se que as ETEs avaliadas apresentam controle operacional deficiente, o que dificulta o cumprimento da legislação e o licenciamento ambiental das mesmas.

Nos sistemas avaliados, foi verificada a ausência de manual de operação e livro de registro de ocorrências e paralisações das unidades. Desse modo, a partir da compilação de orientações para operação de ETEs, concebidas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2015b), Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (NUCASE, 2008), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2010) e NBR 12.209 (ABNT, 2011), foi elaborada uma proposta de manual de operação contendo as principais rotinas e protocolos operacionais aplicáveis aos sistemas avaliados (APÊNDICE A).

Adicionalmente, foram preparados modelos de formulário para registro de ocorrências e paralisações a fim de facilitar o acesso à informação entre os setores envolvidos e, ao mesmo tempo, criar um arquivo com informações a respeito da operação e manutenção dos sistemas de tratamento (APÊNDICE B).

Em relação às concentrações efluentes de SST, Ssed e DQO, por vezes, foram verificados valores superiores ao exigido pela legislação ambiental vigente nas ETEs Coelhas I e Coelhas II. Desse modo, verifica-se a necessidade de adoção de uma alternativa de tratamento complementar para o polimento dos efluentes dos filtros anaeróbios pertencentes às ETEs citadas.

Embora os efluentes das ETEs Coelhas I e II tenham apresentado concentrações superiores às exigidas pela legislação para os parâmetros citados, o atendimento à

condição de remoção de DBO foi verificado em todas as análises realizadas. Tal fato resultou em altos valores médios de relação DQO/DBO indicando, desse modo, reduzida parcela biodegradável de matéria orgânica nos efluentes finais.

Silva (2014) avaliou a eficiência do tratamento de esgotos domésticos em um sistema compacto, construído em escala plena, cujas etapas de tratamento incluíam a utilização de tanque séptico seguido por filtro anaeróbio e, como unidade final, um decantador secundário modificado, a fim de permitir a sedimentação do material remanescente. Os efluentes tratados nesse sistema possuíam características similares aos avaliados nesse estudo, apresentando concentrações de DBO e DQO superiores às típicas citadas na literatura para esgoto doméstico. O autor verificou que o sistema avaliado apresentou desempenho satisfatório na remoção dos sólidos remanescentes.

A utilização de decantadores a jusante de filtros anaeróbios também foi verificada em ETEs em operação nos municípios de Recife (PE) e Cachoeiro de Itapemirim (ES). Nessas estações foi verificado que o uso do decantador propiciou ao sistema um aumento no desempenho quanto à remoção de DQO e na retenção dos sólidos que afluíam dos FANs. A operação dos decantadores ocorre por meio da sucção do material acumulado ao fundo destes por caminhões “limpa-fossa” e posterior encaminhamento ao aterro sanitário, juntamente com o material removido das unidades de tratamento à montante.

Assim, acredita-se que a implantação de tal unidade complementar, associada à adoção das práticas operacionais anteriormente citadas possam resultar na diminuição da concentração de material sólido no efluente final das ETEs, garantindo o atendimento aos critérios estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

3.4 CONCLUSÕES

Baseado no monitoramento realizado nesse estudo foi verificado que os sistemas avaliados apresentam necessidade de intervenção referentes à instalação de dispositivos para medição de vazão, adoção de medidas para aperfeiçoar a gestão de segurança e controle operacional das ETEs, além da utilização de alternativas que visem a redução da concentração de SST, Ssed e DQO nas ETEs Coelhas I e Coelhas II, a fim de atender as exigências definidas na legislação ambiental vigente.

O principal problema verificado nesse estudo está relacionado ao arraste sólidos nos efluentes dos tanques sépticos pertencentes às ETEs Coelhas I e Coelhas II, que comprometeu a eficiência dos filtros anaeróbios à jusante e impossibilitou que os

efluentes de tais unidades atingissem as condições propostas para lançamento em relação aos sólidos.

De maneira geral, foi verificado que o sistema TS+FAN pertencente à ETE Romão dos Reis se mostrou viável como solução de tratamento descentralizado para pequenas comunidades, tendo em vista que este apresentou eficiências de remoção similares ou superiores às relatadas na literatura para essa concepção de tratamento. Os sistemas pertencentes às ETES Coelhas I e II, embora tenham apresentado episódios de concentrações de sólidos e DQO superiores às permitidas para lançamento, apresentaram um bom desempenho geral, tendo em vista que estes possuem volumes inferiores e configurações diferentes das recomendadas pelas normas técnicas avaliadas.

Acredita-se que com a adoção das recomendações propostas, os sistemas avaliados possam atuar de maneira efetiva na proteção da saúde pública, garantindo o atendimento aos critérios estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Os resultados obtidos nesse estudo demonstraram a importância do acompanhamento operacional e manutenção para o bom funcionamento de sistemas descentralizados. Com a adoção de tais práticas, os sistemas avaliados são boas alternativas para o atendimento de regiões cuja ligação aos sistemas centralizados não é viável.

3.5 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229: Projeto, Construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12.209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AL-SHAYAH, M.; MAHMOUD, N. Start-up of an UASB-septic tank for community on-site treatment of strong domestic sewage. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 7758–7766, 2008.

ALVARADO, A.; LARRIVA, J.; SÁNCHEZ, E.; IDROVO, D.; CISNEROS, J. F. Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador. **Water Practice and Technology**, v. 12, n. 1, p. 240–249, 2017.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias**

hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. 92 p.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários. Experiência brasileira.** Rio de Janeiro: ABES, 1997, 302 p.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23 ed, Washington: APHA, 2017.

ARAÚJO, G. M.; NETO, I. E. L.; ARAÚJO, A. L. C.; SILVA, M. E. R. Avaliação experimental e modelagem matemática de filtros anaeróbios como alternativa de baixo custo para remoção de algas de efluentes de lagoas de estabilização. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 687–696, 2016.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento.** Brasília: FUNASA. 2007. 165 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.

BODÍK, I.; KRATOCHVÍL, K.; GAŠPARIKOVÁ, E.; HUTNAN, M. Nitrogen removal in an anaerobic baffled filter reactor with aerobic post-treatment. **Bioresource Technology**, v. 86, n. 1, p. 79–84, 2003.

CARVALHO, A. E. C.; SAMPAIO, L. M. B. Paths to universalize water and sewage services in Brazil: The role of regulatory authorities in promoting efficient service. **Utilities Policy**, v. 34, p. 1–10, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios.** 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** Rio de Janeiro: ABES, 2011. Projeto PROSAB.

CORDERO, M. F. E. **Avaliação do desempenho e da influência das condições ambientais e operacionais de lagoas de estabilização, com base em um banco de dados internacionais.** 2016. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CRUZ, T. A. **Retrato Social de Viçosa V.** Viçosa: CENSUS, 2014. 91 p.

CRUZ, L. M.; TONETTI, A. L.; GOMES, B. G. L. A. Association of septic tank and sand filter for wastewater treatment: full-scale feasibility for decentralized sanitation. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 8, n. 2, p. 268–277, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de operação e manutenção da estação de tratamento de efluentes da Embrapa Agroindústria de**

- Alimentos.** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2010. 24 p.
- EPA. Environmental Protection Agency. **Nitrogen control.** Washington: US EPA. 1993.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba.** Belo Horizonte: FEAM, 2015a. 499 p.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de estações de tratamento de esgoto.** Belo Horizonte: FEAM, 2015b. 48 p.
- HUSSIEN, W. A.; MEMON, F. A. Assessing and modelling the influence of household characteristics on per capita water consumption. **Water Resources Management**, p. 2931–2955, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo demográfico, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 15 jul. 2018.
- IRIBARNEGARAY, M. A.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, M. S.; MORAÑA, L. B.; TEJERINA, W. A.; SEGHEZZO, L. Management challenges for a more decentralized treatment and reuse of domestic wastewater in metropolitan areas. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 8, n. 1, p. 113–122, 2018.
- JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 909 p.
- LEITÃO, R. C.; VAN HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1105–1118, 2006.
- LIBRALATO, G.; VOLPI GHIRARDINI, A.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management**, v. 94, n. 1, p. 61–68, 2012.
- MAHMOUD, N.; NASER, M.; AL-SA, R. Sewage characterisation as a tool for the application of anaerobic treatment in Palestine. **Environmental Pollution**. v. 126, p. 115–122, 2003.
- MARZOUK, M.; OTHMAN, A. Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building information modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1400–1410, 2017.
- MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 652–659, 2009.
- MENA-ULECIA, K.; HERNÁNDEZ, H. H. Decentralized peri-urban wastewater treatment technologies assessment integrating sustainability indicators. **Water Science and Technology**, v. 72, n. 2, p. 214–222, 2015.

METCALF, E.; EDDY, M. **Wastewater engineering: treatment and Resource recovery**. Mic Graw-Hill, USA, 2014, 2.008 p.

MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 88, n. 1, p. 47–52, 2010.

NGUYEN, V. A.; MOREL, A.; TONDERSKI, K. Baffled Septic Tank with Anaerobic Filter (BASTAF) and vertical subsurface flow constructed wetland for domestic wastewater treatment in Vietnam. **Water Practice & Technology**, v. 5, n. 4, p. 100, 2010.

NHAPI, I. A framework for the decentralised management of wastewater in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 29, n. 15–18, p. 1265–1273, 2004.

NUCASE. Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 74 p.

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

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 1, n. 1, p. 37, 2011.

SILVA, L. A. **Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para o tratamento de esgotos em unidades residenciais unifamiliares**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, R. O. Turbidez e cloro residual livre na monitoração de ETE tipo tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 4, p. 407–413, 2011.

SOUZA, N. S. **As sociabilidades possíveis em conjuntos habitacionais do programa minha casa, minha vida (PMCMV): o caso de Viçosa - MG**. 2015. Dissertação (Mestrado em Economia Doméstica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIN, N. T. M. N. Potential of decentralized wastewater management for urban development: Case of Bangkok. **Habitat International**, v. 36, n. 1, p. 85–92, 2012.

RUIZ, G.; D., RUBILAR, O.; CIUDAD, G.; CHAMY, R. Nitrification–denitrification via nitrite accumulation for nitrogen removal from wastewaters. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 2, p. 330-335, 2006.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. D.; SÃO PEDRO. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 209–218, 2005.

VAN HAANDEL, A.; SANTOS, S. D.; CHAVES, S. R. M.; COSTA, J. Influência do projeto do separador de fases sobre o desempenho do reator uasb no tratamento de águas residuárias municipais. **Revista DAE**, v. Set-Dez, p. 64–75, 2015.

VIÇOSA. **Plano municipal de saneamento de básico**. Viçosa: Prefeitura Municipal de Viçosa, 2015, 321 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2014. 452 p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 105–114, 2002.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, Á. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29–42, 2016.

CONCLUSÕES GERAIS

Os aspectos conceituais das abordagens centralizadas e descentralizadas para o tratamento de esgotos, indicam que a atuação de sistemas descentralizados na matriz tecnológica do setor de saneamento pode contribuir substancialmente para o aumento dos índices de atendimento nas áreas periurbanas e rurais.

No Brasil, o uso de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios, sistemas adotados mundialmente no tratamento descentralizado de esgotos, é comum. De acordo com o levantamento realizado nesse estudo, verificou-se que cerca de 11% das ETEs em operação no país utilizam TS+FAN como unidades de tratamento. Contudo, grande parte das ETEs TS+FAN em operação no país apresenta baixos índices de remoção de DBO e apenas cerca de 30% destas possuem sistemas que operam em conformidade com a legislação federal ou estadual vigente.

A avaliação detalhada de três sistemas descentralizados em operação no município de Viçosa (MG), indicou que, quanto às condições de lançamento de efluentes estabelecidas pela legislação ambiental vigente, as estações apresentaram desempenho satisfatório em relação aos parâmetros DBO, temperatura e pH. No entanto, foram verificados problemas relativos ao arraste de sólidos nos efluentes após passagem pelos tanques sépticos, o que está relacionado à ausência de rotinas apropriadas de descarte de lodo.

Os resultados obtidos nesse estudo reforçam a necessidade de existência de programas de gerenciamento, que assegurem inspeção e manutenção regulares nos sistemas descentralizados, a fim de garantir que esses operem em condições apropriadas.

Diante da carência de regulamentação no Brasil que defina, de maneira clara, as responsabilidades pela manutenção e operação de sistemas descentralizados, torna-se fundamental o estabelecimento de diretrizes para a utilização de tais sistemas como uma alternativa para universalização do saneamento. A definição de diretrizes nacionais permitirá nortear as responsabilidades pela prestação de serviços e pela gestão dos sistemas existentes.

Por fim, A avaliação do tratamento de esgotos descentralizado utilizando TS+FAN realizada nesse estudo apresenta uma contribuição para a verificação do desempenho real de tais sistemas no Brasil e sua atuação efetiva na proteção da saúde pública e do ambiente.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Orientações básicas para Operação e Manutenção das Estações de Tratamento de Esgotos Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II

1 Apresentação

Este manual descreve as principais características das estações de tratamento de esgotos Romão dos Reis, Coelhas I e Coelhas II. O objetivo desse documento é fornecer orientações básicas a respeito da operação e manutenção dos sistemas de tratamento de esgotos avaliados e estabelecer uma rotina que permita aperfeiçoar o desempenho das ETEs.

2 Descrição dos sistemas

As estações de tratamento de esgotos Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis caracterizam-se pelo tratamento simplificado e descentralizado de águas residuárias oriundas dos bairros São Francisco de Assis e Romão dos Reis, situados em regiões periurbanas do município de Viçosa-MG. As ETEs Coelhas I, Coelhas II e Romão dos Reis realizam o tratamento de esgotos oriundos de 136, 131 e 77 residências, respectivamente.

O esgoto bruto afluente às unidade de tratamento passa pelas seguintes fases: tratamento preliminar e tratamento secundário. Os sistemas de tratamento são constituídos por tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios e sistema de tratamento preliminar dotado de grades, caixas de areia e, no caso das estações Coelhas I e II, caixa de gordura. Após o tratamento, os efluentes das ETEs Coelhas I e II e Romão dos Reis são dispostos no Córrego da Posse e Ribeirão São Bartolomeu, respectivamente.

3 Operação e Manutenção dos Sistemas

Para que sejam obtidas condições apropriadas de funcionamento nas unidades de tratamento a operação apropriada dos sistemas e manutenção periódica das unidades é fundamental.

Rotina de operação:

- atualizar a vacinação do operador contra tétano, hepatite A e B, e manter cópia dos cartões de vacinação;
- fazer uso rigoroso de EPIs – máscaras, luvas, botas, aventais e uniformes –, a fim de minimizar a possibilidade de contaminação e garantir boa qualidade de trabalho do operador;
- manter, na entrada, placa de identificação das ETEs;
- manter planilha de registro atualizada de ocorrências e paralisações das unidades de tratamento;
- manter a área das ETEs capinada para manutenção da limpeza e do paisagismo;
- realizar a manutenção da cerca do entorno da estação, evitando o acesso de pessoas não-autorizadas e animais. Nas ETEs que não possuem cercamento, realizar a construção;
- limpar as vias de acesso ao corpo receptor e do local de lançamento;
- lavar as ferramentas – pás, enxadas, picaretas, rastelos, etc. – em água limpa, não devendo ser guardadas ou utilizadas antes desse procedimento;
- realizar as análises físicas e químicas do afluente e efluente conforme definido no programa de monitoramento; e
- medir a vazão de entrada e saída do esgoto. O operador deverá fazer leituras conforme rotina definida pelo setor responsável e anotar os valores na Ficha de Controle Operacional.

3.1 Tratamento preliminar

Gradeamento

Nas unidades de gradeamento é indicado que a limpeza das grades seja realizada duas a três vezes por semana. O lixo removido nessas unidades deve ser acondicionado em sacos plásticos e direcionado ao aterro sanitário. A remoção do material retido é feita com raspadeira manual.

Rotina de operação:

- retirar periodicamente o material retido nas grades;
- depositar o material retirado em local apropriado – recipientes tampados, fora do acesso de insetos; e
- encaminhar o material retido para disposição final apropriada – aterro sanitário licenciado.

Caixas de areia

A limpeza da caixa de areia deve ser realizada a cada 14 dias ou sempre que o material acumulado ocupar a metade da altura da câmara de armazenamento ou 2/3 de todo o seu comprimento. Para a limpeza, na ETE Romão dos Reis, um dos canais de passagem da caixa de areia deve ser obstruído com uma comporta a fim de impedir a entrada de esgoto e permitir a retirada do material sedimentado na unidade. Durante o processo de limpeza o esgoto afluyente deve fluir pelo canal livre.

Rotina de operação:

- posicionar a comporta em um dos canais da caixa de areia para impedir a entrada de esgoto e garantir sua vedação;
- retirar o líquido retido no canal obstruído e encaminhá-lo para a entrada da caixa de areia em operação;
- retirar, com pá, a areia e os outros materiais sedimentados nessa unidade, que deverão ser depositados em local preparado para essa finalidade; e
- Medir o volume do material removido e anotar em formulário apropriado.

3.2 Tanques sépticos

Frequentemente deve ser realizada a retirada do sobrenadante dos tanques sépticos a fim de evitar incrustações e mau cheiro.

O lodo de fundo deve ser removido a cada quatro meses de uso do tanque séptico, devendo ser deixada uma quantidade residual para aceleração do novo processo.

A remoção do lodo digerido deve ser realizada através de caminhão limpa fossa de forma rápida e sem contato do operador com o material, devendo o material removido ser encaminhado para o aterro sanitário.

Rotina de operação:

- Remover as tampas de inspeção e mantê-las abertas antes do início da limpeza, por tempo suficiente para a remoção de gases tóxicos ou explosivos;
- remover o lodo digerido nos intervalos de limpeza pré-determinados e manter um volume de lodo em digestão. Encaminhar o lodo removido para aterro sanitário licenciado;
- remover frequentemente a espuma que se forma na parte superior dos tanques; e
- promover rigorosa higiene na área, quando terminado o procedimento de remoção.

3.3 Filtros anaeróbios

O esgotamento dos filtros anaeróbios deverá ser realizado através de caminhão limpa fossa a cada 4 meses. Não deve ser feita a “lavagem” completa do filtro, pois esta retarda a partida da operação após a limpeza.

Rotina de operação:

- promover o descarte do lodo do sistema nos intervalos pré-determinados. A limpeza deve ser realizada em intervalos menores caso verificada a colmatação do meio filtrante ou a concentração de sólidos no efluente aumentar de forma expressiva;
- encaminhar o lodo para o aterro sanitário licenciado;
- garantir a permanência do leito filtrante e promover a sua limpeza, caso haja entupimento; e
- observar a ocorrência de infiltrações na estrutura do filtro, executando imediatamente a sua reparação.

4 Monitoramento e Parâmetros de controle do Processo

Para a avaliação do desempenho das unidades de tratamento e verificação do atendimento aos padrões ambientais de lançamento, o monitoramento dos principais parâmetros de controle do processo deve ser realizado.

Os pontos de amostragem bem como os parâmetros estabelecidos para o monitoramento são descritos na Figura 1 e Tabela 1.

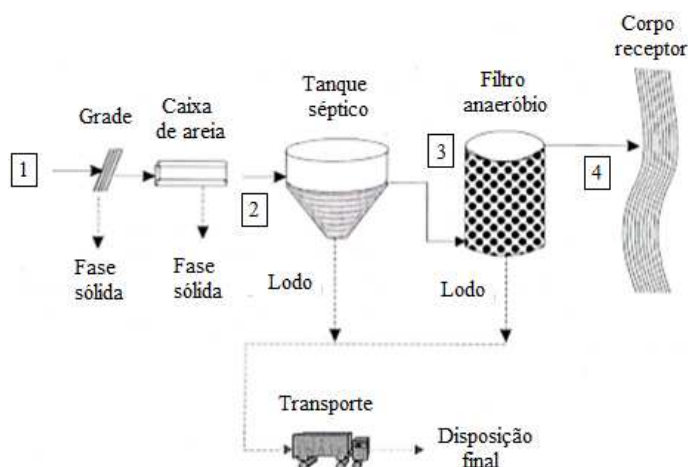


Figura 1 - Esquema do sistema de tratamento das ETEs com indicação dos pontos de amostragem

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014).

Tabela 1- Plano de monitoramento para as ETEs avaliadas

Ponto	Descrição	Parâmetros analisados
1	Entrada do esgoto no sistema (anterior ao tratamento preliminar)	pH, DBO, DQO, N-amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
2	Após tratamento preliminar (Entrada no tanque séptico)	pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
3	Saída do tanque séptico (Entrada no filtro anaeróbio)	pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez
4	Saída do filtro anaeróbio (efluente final)	pH, DBO, DQO, N-amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), sólidos sedimentáveis (Ssed), Temperatura e Turbidez

5 Principais problemas operacionais e possíveis soluções

Na Tabela 2 são indicados os principais problemas operacionais identificados em unidades de tratamento preliminar, tanques sépticos e filtros anaeróbios, suas causas e possíveis soluções. As recomendações citadas foram extraídas de bibliografias especializadas.

Tabela 2 - Problemas operacionais nas ETEs, causas prováveis e possíveis soluções.

Observação	Causa provável	Solução
<i>Tratamento preliminar - Grades</i>		
Odor ou insetos nas grades	Intervalo longo entre limpezas	Aumentar a frequência de limpeza
Aumento repentino de sólidos grosseiros retidos nas grades	Descarga clandestina de resíduos sólidos	Localizar e atuar sobre as fontes, no sentido de corrigir o problema
Diminuição repentina da massa de sólidos grosseiros retidos nas grades	Falha na retenção da grade	Consertar a grade
<i>Tratamento preliminar – Caixa de areia</i>		
Aumento repentino da massa de areia retida	Descarga de águas pluviais na rede	Desfazer ligações de águas pluviais
Diminuição repentina da massa de areia retida	Arraste de areia na caixa	Reduzir a velocidade da água
Odor de ovo podre na caixa de areia	Sedimentação de material orgânico	Aumentar a velocidade da água
Areia retida é cinza, tem odor e contém graxa	Sedimentação de material orgânico	Aumentar a velocidade da água
<i>Tanque séptico – Filtro anaeróbio</i>		
Elevado teor de sólidos no efluente	Frequência inapropriada de remoção de lodo do tanque séptico	Promover a limpeza do tanque séptico, inclusive da camada de espuma
Elevado teor de sólidos no efluente	Excesso de sólidos no efluente do filtro anaeróbio	Verificar a possibilidade de descarte parcial dos sólidos retidos no filtro anaeróbio
Entupimento do filtro anaeróbio	Frequência inapropriada de remoção de lodo do tanque séptico	Promover a limpeza do tanque séptico, inclusive da camada de espuma. Verificar a possibilidade de descarte parcial dos sólidos retidos no filtro anaeróbio.

Fonte: Adaptado de Chernicharo, Van Haandel e Cavalcanti (1999) e NUCASE (2008)

APÊNDICE B

Modelos das fichas de operação a serem preenchidas pelo operador



SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
VIÇOSA - MG

REGISTRO DE OCORRÊNCIAS - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

ETE: _____ Operador: _____

[illegible]

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
VÍCOSA - MG

REGISTRO DE LIMPEZAS - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

ETE: _____ Operador: _____

[illegible]

