

Panorama do emprego de tanques sépticos e filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de efluentes no Sudeste brasileiro

Overview of the decentralized treatment of sanitary effluents in the Southeastern region of Brazil using septic tanks and anaerobic filters

- **Data de entrada:**
30/11/2018
- **Data de aprovação:**
13/12/2018

Thomás Corrêa Vianna | Tayane Cristiele Rodrigues Mesquita | André Pereira Rosa*

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.062>

Resumo

Sistemas descentralizados são citados como uma alternativa de tratamento de esgotos de menor custo para atendimento a pequenas populações, sendo comumente utilizados na forma de tanques sépticos e filtros anaeróbios (TS+FA). Apesar de existirem numerosos sistemas TS+FA no Brasil, o registro de informações a respeito da operação dessas unidades é escasso, impossibilitando a avaliação de sua efetiva atuação na proteção da saúde pública. Diante disso, objetivou-se nesse estudo traçar um panorama da utilização de TS+FA na região Sudeste do Brasil por meio de dados secundários disponibilizados pela Agência Nacional de Águas. Constatou-se que 30% das ETEs TS+FA em operação no Brasil estão localizadas no Sudeste e atuam, majoritariamente, no atendimento de populações de pequeno porte. Contudo, verificou-se que as eficiências de remoção de DBO em 60% das ETEs TS+FA são inferiores às esperadas para tal concepção de tratamento, não atendendo às exigências da legislação ambiental vigente. **Palavras-chave:** Estação de tratamento de esgoto (ETE). Saneamento descentralizado. Tanque séptico. Filtro anaeróbio.

Abstract

Decentralized systems are cited as an alternative of sewage treatment of lower cost to serve small populations and are commonly used in the form of septic tanks and anaerobic filters (ST + AF). Although there are numerous ST + AF systems in Brazil, the registration of information about the operation of these units is scarce, making it impossible to evaluate their effective performance in the protection of public health. Therefore, the objective of this study was to outline the use of ST + AF in the Southeast region of Brazil by means of secondary data provided by the Agência Nacional de Águas. It was found that 30% of the ST + AF STPs in operation in Brazil are located in the Southeast and act, mainly, serving small populations. However, it has been found that the BOD removal efficiencies in 60% of ST + AF STPs are lower than expected for such treatment design, not meeting the requirements of the current environmental legislation. **Keywords:** Sewage treatment plant (STP). Decentralized sanitation. Septic tank. Anaerobic filter.

Thomás Corrêa Vianna – Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Tayane Cristiele Rodrigues Mesquita – Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

André Pereira Rosa – Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

***Endereço para correspondência:** Universidade Federal de Viçosa – UFV – Departamento de Engenharia Agrícola – DEA – Av. P. H. Rolfs – S/N, Campus Universitário – CEP 36570-900, Viçosa – MG. Telefone: (31) 3612-4032. E-mail: andrerosa@ufv.br.

1 INTRODUÇÃO

Cientistas sociais, sanitaristas e historiadores afirmam que a forma como uma sociedade trata seu esgoto pode ser relacionada diretamente com a sua evolução social (LOFRANO; BROWN, 2010). No Brasil, parcela significativa da população não é atendida pelos serviços de esgotamento sanitário, sendo que, de acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2017), cerca de 55% do esgoto sanitário gerado no país foi tratado no período avaliado. Nas regiões periurbanas e rurais, esse índice é ainda mais precário (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015). Libralato et al. (2012) relatam que o sistema descentralizado de tratamento de efluentes pode ser uma alternativa capaz de reduzir a proporção da população sem acesso ao saneamento básico, melhorando a gestão dos recursos existentes.

O sistema descentralizado abrange efluentes provenientes de residências, bairros e comunidades que não têm acesso ao tratamento centralizado. Além de possuir baixo custo de implantação e operação, baixo requisito de energia/área e simplicidade operacional, tal sistema produz pequena quantidade de lodo per capita (MASSOUD et al., 2009).

Crites e Tchabonaglou (1998) citam algumas situações em que o sistema de tratamento de esgoto descentralizado é indicado, a saber: (i) locais cuja densidade populacional seja baixa; (ii) comunidades de baixa renda e distantes dos sistemas de esgotamento existentes; (iii) locais em que a capacidade de tratamento de esgotos existentes seja limitada e não haja condições financeiras para sua expansão; (iv) e em locais isolados e sob condições ambientais que demandem maior eficiência no tratamento de esgotos.

De acordo com USEPA (2002), as autoridades americanas das áreas de saúde pública e de proteção ao meio ambiente reconhecem que esses sistemas de tratamento não são instalações tem-

porárias que serão eventualmente substituídas pelo serviço centralizado. O sistema é visto como uma abordagem permanente para tratar águas residuárias que serão lançadas e reutilizadas no meio ambiente.

Um típico sistema descentralizado é constituído por um tanque séptico seguido por um tratamento complementar. O tanque séptico é uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, pré-moldada ou moldada *in loco*, que sedimenta e remove materiais flutuantes, comportando-se como digestor de baixa carga, sem mistura e sem aquecimento, no qual a matéria orgânica é decomposta e os sólidos estabilizados sem a presença de oxigênio (ABNT, 1993; CHERNICHARO, 2007; USEPA, 2004).

Como tratamento complementar, diversas opções podem ser consideradas. A NBR 13969 (ABNT, 1997) apresenta algumas possibilidades técnicas viáveis, tais como: filtro anaeróbio submerso, valas de filtração, filtro de areia, lodo ativado por batelada, lagoa com plantas aquáticas e filtro anaeróbio de leito fixo com escoamento ascendente, seguida pela disposição final do efluente em sumidouro ou valas de filtração. A norma salienta que inúmeros arranjos são possíveis, e a escolha deve levar em consideração fatores do local a ser implantado e do tipo de efluente.

No Brasil, tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios são amplamente usados em condomínios, conjuntos habitacionais, povoados e regiões periféricas por serem a alternativa ao sistema centralizado de menor custo e com baixas demandas energética e de área (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). O sistema possui relevância no Brasil, sendo a região Sudeste a que mais o utiliza. Apesar de sua pertinência no cenário nacional, estudos sobre o funcionamento e a eficiência desses sistemas são escassos e não se sabe se atuam de maneira eficaz na proteção da saúde pública e do meio ambiente.

O estudo em questão objetivou traçar um panorama do tratamento descentralizado de efluentes sanitários utilizando tanques sépticos e filtros anaeróbios como tecnologia de tratamento na região Sudeste do Brasil a partir de dados secundários atuais.

2 METODOLOGIA

Os dados utilizados na construção do panorama foram obtidos do relatório “Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas” (ANA, 2017), elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades), o qual fornece as informações mais atualizadas do esgotamento sanitário no 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.

2.1 Cenário atual do saneamento no Sudeste brasileiro

Inicialmente foi analisado o cenário atual de saneamento no Sudeste, avaliando-se as principais tecnologias de tratamento utilizadas na região.

De acordo com a população atendida, as ETEs foram categorizadas em 4 grupos, como sugerido por Chernicharo et al. (2018): i) ETEs de pequeno porte (atendimento a populações inferiores a 2.000 habitantes); ii) ETEs de pequeno porte (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).

Em relação à tecnologia de tratamento empregada, as ETEs inventariadas pelo Atlas Esgotos (ANA,

2017) foram categorizadas em seis grandes grupos, como proposto por Chernicharo et al. (2018), sendo eles: i) reatores anaeróbios: reator anaeróbio (UASB) com ou sem pós tratamento; ii) lodos ativados: lodos ativados convencional ou com aeração prolongada; iii) primário: tratamento primário ou primário com físico-químico; iv) lagoas de estabilização: lagoa aerada, anaeróbia, facultativa ou de maturação; v) tanques sépticos e filtros anaeróbios; vi) outros: tanque séptico ou tanque imhoff.

2.2 Emprego de sistemas TS+FA na região Sudeste

As ETEs inventariadas foram avaliadas e agrupadas em termos de faixa populacional atendida, unidade federativa, tecnologia de tratamento, eficiência da remoção de DBO, atendimento aos padrões de lançamento e carga orgânica.

As eficiências de remoção de DBO nas ETEs TS+FA 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 bibliografia consultada e legislações federais e estaduais sendo, posteriormente, gerados mapas temáticos que permitiram a rápida visualização do desempenho das ETEs quanto aos aspectos citados. Os dados obtidos foram avaliados por meio de estatística descritiva, sendo calculados os valores mínimos, máximos, médios, primeiro quartil, mediana e terceiro quartil.

2.2.1 Avaliação do atendimento aos padrões de lançamento

Para a avaliação do atendimento aos padrões de lançamento verificou-se a legislação ambiental vigente em cada estado. Na Tabela 1 são indica-

das as eficiências mínimas de remoção de DBO requeridas nos sistemas de tratamento de esgotos, nos estados do Sudeste brasileiro, para que os efluentes possam ser dispostos em cursos d'água. Para o estudo da eficiência de remoção de DBO foram propostas faixas tendo como base literatura especializada e a NBR 13969/97.

Tabela 1 - Eficiências de remoção de DBO (%) requeridas para lançamento de esgoto sanitário doméstico por estado na região Sudeste do Brasil

Estado	Legislação vigente	Eficiência de remoção requerida (%)
São Paulo	Decreto nº 54.487 de 26 de junho de 2009	80
Minas Gerais	Deliberação normativa COPAM/CERH nº 1/ 2008	60
Rio de Janeiro	Resolução 430 da CONAMA/2011	60
Espírito Santo	Resolução 430 da CONAMA/2011	60

2.2.2 Avaliação da carga orgânica

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 as cargas orgânicas remanescentes nos efluentes após a passagem pelos sistemas de tratamento TS+FA presentes na região Sudeste. Para isso, foram criados dois cenários, sendo o primeiro cenário construído de acordo com as eficiências de remoção atuais com as quais as ETES TS+FA operam e o segundo cenário considerando uma situação na qual os sistemas existentes foram readequados operacionalmente e atuam com a eficiência de remoção de DBO mínima de 75%, valor selecionado a partir do cálculo da eficiência média sugerida na literatura consultada. Em relação ao cálculo do abatimento e da respectiva carga remanescente de DBO pro-

veniente 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 e a carga orgânica per capita de 0,054 kgDBO.hab⁻¹.dia⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cenário atual do saneamento na região Sudeste

Segundo os dados divulgados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a região Sudeste apresenta 1.249 ETES em operação que atendem a uma população estimada de cerca de 41,4 milhões de habitantes. Na Figura 1 é indicado que a maior parte dessas ETES está concentrada no estado de São Paulo, sendo este o mais populoso da região e que detém cerca de 62,6% do total de ETES inventariadas. É importante ressaltar que o Atlas Esgotos (ANA, 2017) só englobou sedes municipais urbanas, não abrangendo distritos e/ou áreas rurais.

Ainda de acordo com o relatório da ANA (2017), no Sudeste, 40% dos municípios são atendidos por serviço de companhias estaduais, 13% por autarquias municipais e 3% por concessionárias privadas. Nos 44% restantes, a organização dos serviços de esgotamento sanitário é de responsabilidade das prefeituras municipais, sendo comumente encontrado em municípios de pequeno porte.

Apesar de a região Sudeste possuir os melhores índices de esgotamento e coleta no país, parte considerável da população não é atendida ou é atendida por serviços cujo tratamento realizado possui baixa eficiência de remoção de poluentes (ANA, 2017).

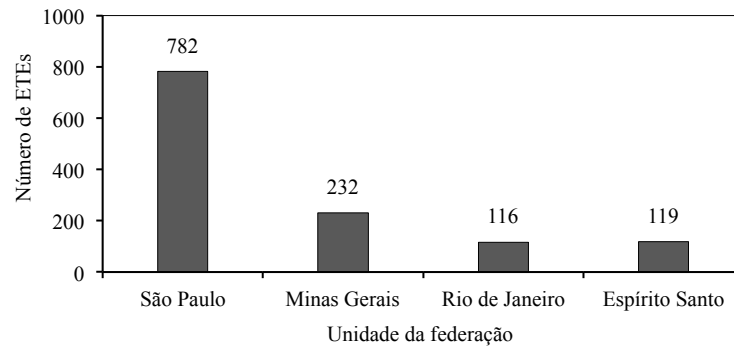


Figura 1 - Total de ETEs inventariadas na região Sudeste por estado.

A Figura 2 aborda o porte das ETEs inventariadas pela ANA (2017) no Sudeste do país. Verifica-se que aproximadamente 60% dessas ETEs atendem a populações inferiores a 10.000 habitantes. Entre os estados avaliados, São Paulo apresenta 60,5% de todas as ETEs da região que atendem a essa faixa populacional. Em seguida, encontram-se os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, cujo número de ETEs desse porte repre-

senta 18,9, 12,5 e 8,1% do total avaliado, respectivamente.

Avaliando-se o cenário nacional, na região Sudeste concentram-se cerca de 42% de todas as ETEs inventariadas no país, que atendem a populações inferiores a 10.000 habitantes, reforçando a importância da discussão acerca do sistema descentralizado como um meio de redução de custos e universalização do tratamento sanitário.

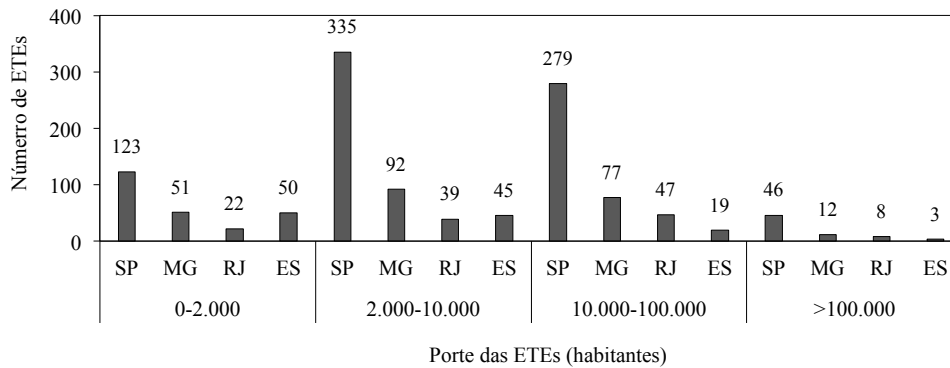


Figura 2- Avaliação das ETEs inventariadas nos estados da região Sudeste em função do número de habitantes atendidos no tratamento.

Ao se avaliar os sistemas de tratamento utilizados nas ETEs inventariadas no Sudeste, verifica-se que, predominantemente, são adotados lagoas de estabilização (45,4%), reatores anaeróbios

(26,5%) e lodos ativados (20,2%), como é ilustrado na Figura 3. As ETEs que utilizam tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios representam 5,5% do total da região.

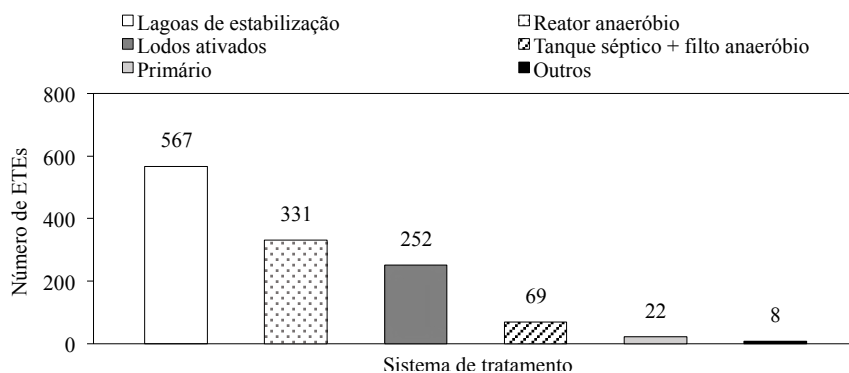


Figura 3 - Distribuição das ETAs na região Sudeste em função dos sistemas de tratamento.

A lagoa de estabilização é uma das técnicas mais utilizadas nos estados brasileiros pela economia nos custos e simplicidade operacional (SILVA FILHO, 2007). Além disso, o autor explica que a suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades, o clima favorável e a necessidade de pouco ou nenhum equipamento são razões que justificam a predominância desse sistema de tratamento. Por meio da análise da Figura 4, verifica-se que lagoas de estabilização são raramente utilizadas no atendimento de populações superiores a 100.000 habitantes devido às imensas áreas demandadas, muitas vezes escassas nos grandes centros urbanos. No entanto, em ETAs de menor porte, é o sistema de tratamento que mais se destaca, principalmente no atendimento a uma faixa populacional compreendida entre 2.001 e 10.000 habitantes. A Figura 5 mostra que esse é o principal sistema de tratamento utilizado em São Paulo, sendo a tecnologia de tratamento em aproximadamente 63% das ETAs no estado.

Segundo Sousa et al. (2000), reatores anaeróbios são uma solução econômica e confiável em regiões de clima tropical e subtropical e não demandam grandes áreas, de modo que quando utilizados no atendimento a grandes populações, é possível a realização de aproveitamento energético. O autor salienta que o efluente desse tipo de tratamento necessita de um pós-tratamento por conter nutrientes e organismos patogênicos. Verifica-se que

reatores anaeróbios são bastante utilizados em ETAs de todos os portes, sendo que 23,2% das que atendem a mais de 100.000 habitantes se valem desse modelo com o uso de pós tratamento ou não. Esse sistema de tratamento é o mais utilizado em Minas Gerais e Espírito Santo, sendo que cerca de 76 e 52% das ETAs nesses estados usam tal tecnologia de tratamento, respectivamente.

Lodos ativados também possuem importância significativa no tratamento de efluentes no Sudeste, conforme ilustrado na Figura 4. Esse sistema é relevante não só em ETAs que atendem a uma menor faixa populacional, sendo o mais utilizado no tratamento em grandes centros na região Sudeste (ANA, 2017). É observado que 50,7% das ETAs inventariadas pelo Atlas Esgotos (ANA, 2017), que atendem a mais de 100.000 habitantes, empregam lodos ativados como método de tratamento. Freire et al. (2000) explicam que esse sistema é bastante eficiente, pois opera com pouco substrato auxiliar e é capaz de remover a toxicidade em um menor de tempo de aeração. No estado do Rio de Janeiro, cerca de 55% das ETAs inventariadas operam usando essa tecnologia de tratamento.

Apesar de a utilização dos tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios ser observada em apenas cerca de 5,5% das ETAs inventariadas, verifica-se uma participação expressiva desses sistemas no atendimento a pequenas populações (até 2.000 habitantes). Tal tecnologia de tratamento é a ter-

ceira mais utilizada nas ETEs para esse porte na região Sudeste, o que pode ser justificado em função de esses sistemas realizarem o tratamento simplificado de esgoto. Avaliando-se o quadro nacional, o sistema de tratamento em questão ganha ainda

mais notoriedade, uma vez que 30,2% das ETEs TS + FA do Brasil estão localizadas na região Sudeste, sendo esta a região do país que mais desfruta da técnica. Foram catalogadas no Atlas Esgotos 2017 ETEs TS+FA em 28 municípios da região.

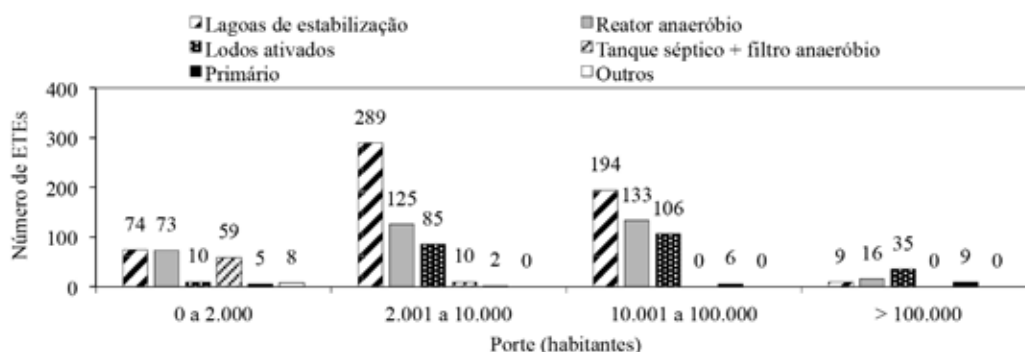


Figura 4 - Indicação do número de ETEs e dos sistemas de tratamento para portes distintos na região Sudeste.

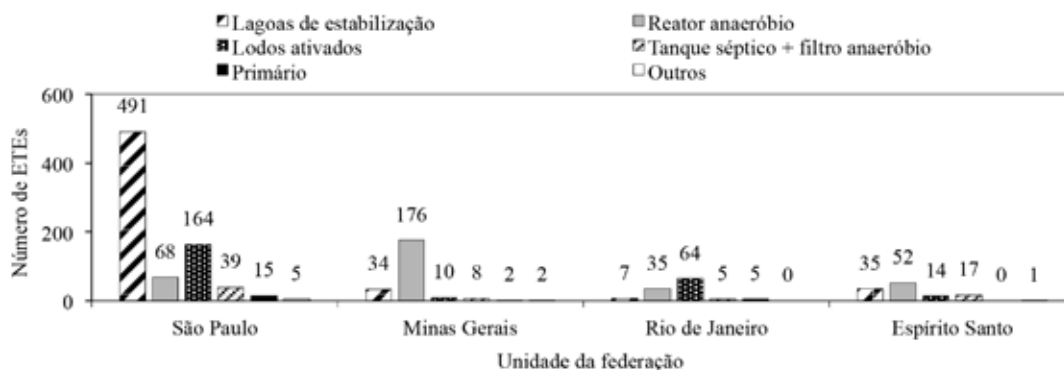


Figura 5 - Indicação do número de ETEs e dos sistemas de tratamento para os estados na região Sudeste.

Além das informações relativas aos índices de esgotamento sanitário no Brasil, a ANA (2017) disponibilizou dados relativos à estimativa dos investimentos necessários em coleta e tratamento de esgotos para a universalização do saneamento nos municípios brasileiros, que tem como horizonte o ano de 2.035. Ao avaliar os investimentos estimados relativos ao tratamento e coleta de esgotos, a Figura 6 indica que para ETEs de menor porte as despesas proporcionais para o tratamento de esgoto são menores. Dos dados, pode-se apreender que em populações inferiores a 2.000 habitantes

os gastos com coleta são da ordem de 73,8% do investimento total para o tratamento. Acredita-se que o emprego de sistemas descentralizados para essa situação favoreceria a economia de recursos a serem empregados na coleta de efluentes, como apontado por Lofrano e Brown (2010).

De acordo com Massoud et al. (2009), nos sistemas descentralizados, a parcela de gastos relacionados à coleta é mais reduzida, de modo que os investimentos se concentram principalmente no tratamento e no lançamento final.

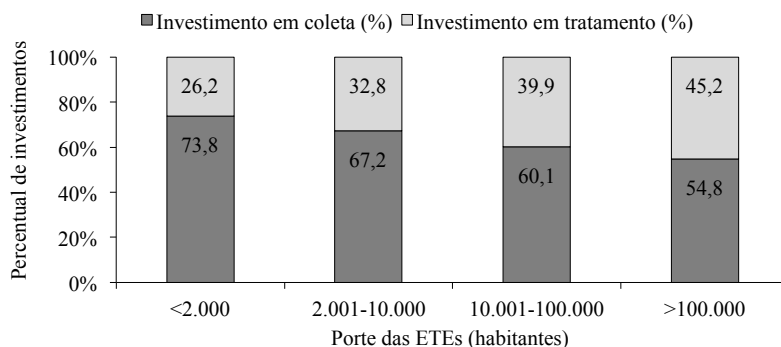


Figura 6 - Investimentos em coleta versus investimentos em tratamento na região Sudeste de acordo com o porte da ETE.

3.2 Sistemas descentralizados utilizando tanque séptico seguido de filtro anaeróbio no Sudeste

3.2.1 Visão Geral

Segundo os dados disponibilizados no Atlas Es- gotos (ANA, 2017), na região Sudeste do Brasil tem-se instaladas 69 ETEs que utilizam tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios como tecnologia de tratamento. Como retratado na Fi- gura 7, São Paulo é o estado da região com o maior número de ETEs TS+FA, contendo 39 ETEs, que equivalem a cerca de 57% do total. Nos estados

do Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, tal percentual é de 25%, 11% e 7%, respectivamente.

Das 39 ETEs TS+FA inventariadas pelo Atlas Es- gotos (ANA, 2017) no estado de São Paulo, 15 es- tão localizadas na cidade de Piracicaba. A cidade se destacou no ranking ABES da universalização do saneamento (2018) na categoria que avaliava municípios de grande porte (acima de 100 mil ha- bitantes). De acordo com o ranking, a cidade apre- senta 100% de coleta e de tratamento de esgoto, enfatizando a importância do sistema descentra- lizado na expansão do tratamento de esgotos.

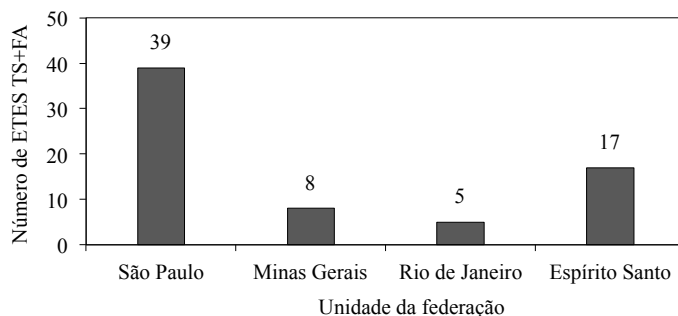


Figura 7 - Número de ETEs que operam por Tanque Séptico seguido de Filtro Anaeróbio (TS+FA) de acordo com os estados da região Sudeste.

A Figura 8 relaciona a quantidade de ETEs TS+FA com a população atendida. Verifica-se que, de acordo com os dados do Atlas de Esgotos (ANA, 2017), apenas uma ETE na região Sudeste atende a mais de 5.000 habitantes, a qual se localiza em Brumadinho, Minas Gerais, e atende a uma popu-

lação estimada de 5.748 habitantes. Observa-se que cerca de 46% das ETEs inventariadas servem a até 500 habitantes, cerca de 39% atendem a populações entre 501 e 2.000 habitantes e aproximadamente 13% a populações que variam de 2.001 a 5.000 habitantes.

Chernicharo et al. (2018), realizaram um panorama do tratamento de esgoto sanitário em seis estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, avaliando as tecnologias mais empregadas por meio de dados obtidos junto aos prestadores de serviço de saneamento estaduais e municipais. Nesse estudo, os autores constataram a importância do sistema TS+FA

no atendimento de populações de até 10.000 habitantes, uma vez que 13% do tratamento para essa faixa populacional é realizado empregando-se TS+FA. Em ETEs de pequena capacidade, a relevância dessa tecnologia se faz mais evidente, já que aproximadamente 86% dos sistemas TS+FA nessas regiões são usados para atender a até 2.000 habitantes.

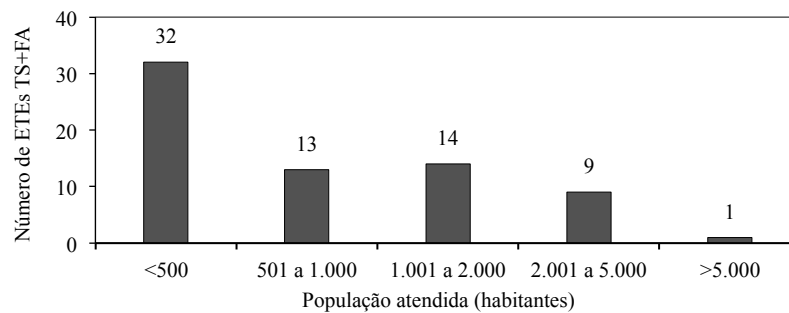


Figura 8 - Distribuição das ETEs operadas por Tanque Séptico seguido de Filtro Anaeróbio (TS+FA) em função da população atendida.

3.2.2 Eficiência da remoção de DBO

Um importante fator capaz de mensurar a eficácia de uma estação de tratamento de esgotos é a eficiência de remoção de DBO. Para a concepção de tratamento TS+FA, as faixas de remoção esperadas encontradas na literatura variam de 70 a 90%. Chernicharo (2007) menciona a faixa de 75 a 85%, Jordão e Pessoa (2014) de 70 a 85%, Von Sperling (1996) de 70 a 90% e a NBR 13969/97 reporta uma eficiência de 75%.

Analisando-se a Figura 9, que aborda a eficiência de remoção pelo número de ETEs, é possível perceber que, das 69 ETEs avaliadas pelo Atlas Esgotos (ANA, 2017) na região Sudeste do país, apenas 28 têm eficiência de remoção acima de 70%, o que representa cerca de 40% do total. É constatado, também, que 2,9% do total de ETEs têm eficiência de remoção superior a 90%.

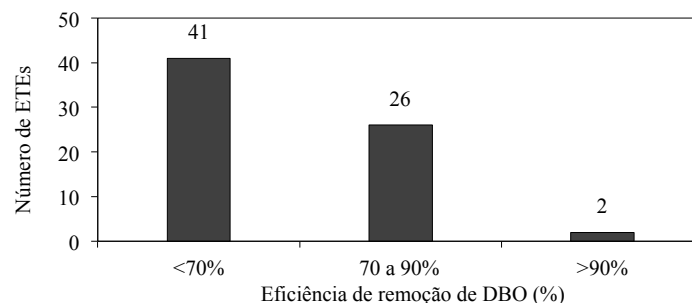


Figura 9 - Indicação do número de ETEs em função da eficiência de remoção de DBO na região Sudeste.

Na Figura 10 estão representadas as eficiências de remoção por número de ETEs nos estados da região Sudeste. Das 39 ETEs inventariadas no estado de São Paulo, 11 estão em consonância com a faixa encontrada na literatura, sendo que duas delas operam com eficiência acima de 90%. Essas ETEs estão localizadas nos municípios de Capivari e Rio Claro, atendem a populações estimadas de 3.008 e 853 habitantes, operam com vazão de 4,25 L.s⁻¹ e 2 L.s⁻¹ e apresentam eficiências de remoção de DBO da ordem de 92% e 97% respectivamente.

No Espírito Santo, 12 das 17 ETEs inventariadas apresentam eficiência de remoção entre 70% e 90%. Das cinco ETEs restantes, três operam com 65% de eficiência e duas têm eficiência de remoção abaixo de 60%, estações estas localizadas em Mucurici (eficiência de 56%), que é a maior ETE operando por TS+FA do estado, e Viana, que atende a uma população de 458 habitantes e possui eficiência de remoção de 46%. A eficiência média das ETEs do estado é 67,1%.

No Rio de Janeiro, das cinco ETEs que operam por TS+FA, todas estão instaladas no município de Petrópolis, sendo que apenas duas apresentam eficiência de remoção acima de 70%, as quais atingem eficiências de 81% e 72%. As três ETEs restantes operam com eficiência de remoção de 35% de DBO e atendem a populações estimadas de 368 habitantes.

Das oito ETEs que operam por TS+FA inventariadas no estado de Minas Gerais, três possuem eficiência de remoção entre 70 e 90%. No estado, a média das eficiências de remoção das ETEs TS+FA é de aproximadamente 56%.

Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira e Von Sperling (2011), que, ao analisar eficiências de remoção de contaminantes em 19 ETEs que utilizam sistema tanque-filtro, 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.

Possíveis explicações para os baixos percentuais de remoção verificados são a falta de manutenção adequada e o subdimensionamento das unidades de tratamento, que, de acordo com Massoud et al. (2009), podem acarretar diversas falhas no sistema. Os autores afirmam que o fato de o sistema descentralizado ser, comumente, considerado uma solução temporária, faz com que muitas ETEs não forneçam um nível de tratamento necessário para proteção da saúde pública e do ambiente receptor. Para alterar esse quadro, faz-se necessária a implantação de programas de gestão, pelos prestadores de serviços de esgotamento sanitário, que garantam que as unidades de tratamento sejam inspecionadas e submetidas a manutenções e rotinas de descarte regulares.

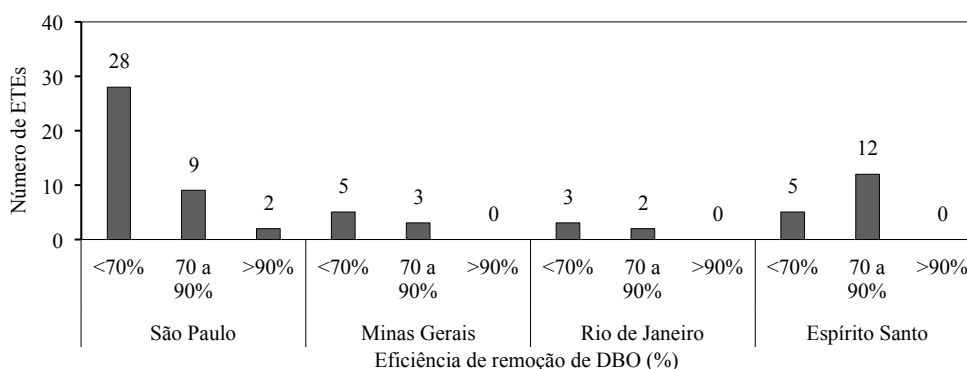


Figura 10 - Representação do número de ETEs nos estados da região Sudeste que atendem a diferentes faixas de eficiência de remoção de DBO.

Na Figura 11 é apresentado um gráfico box-plot que indica a variação da eficiência da remoção de DBO para diferentes portes de ETES TS+FA. A Figura 12 representa geograficamente as ETES, indicando suas respectivas eficiências de remoção. É observada, para uma mesma faixa populacional, uma heterogeneidade de eficiências de remoção, caracterizando ETES que operam em diferentes realidades. ETES que atendem a populações entre 501 a 1.000 habitantes apresentaram o pior resultado médio de eficiência. No entanto, 25% dessas ETES operam com eficiência de remoção entre 72% e

97%. No conjunto de ETES que atendem de 2.001 a 5.000 habitantes, também é observado um grande grau de dispersão dos dados. Dessas, 25% operam com eficiência acima de 72% e 50% com eficiência abaixo de 56%, sendo a eficiência média de 59,4%. Os grupos de ETES TS +FA que atendem de 0 a 500 habitantes e de 1.001 a 2.000 possuem resultados semelhantes de eficiência média. Enquanto a primeira faixa avaliada (até 500 habitantes) apresenta uma média de eficiência de 61,4%, a faixa referente a 501 a 1.000 habitantes opera com valor médio de remoção de 62,3%.

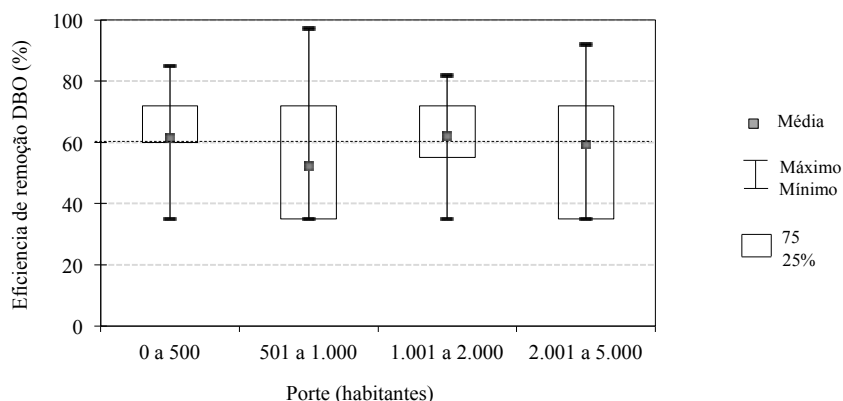


Figura 11 – Gráfico box-plot que indica a variação das eficiências de remoção de DBO para diferentes faixas populacionais. **Nota:** A linha tracejada indica a eficiência de remoção mínima requerida para o lançamento de efluentes em corpos d’água segundo a Resolução Conama 430/2011.

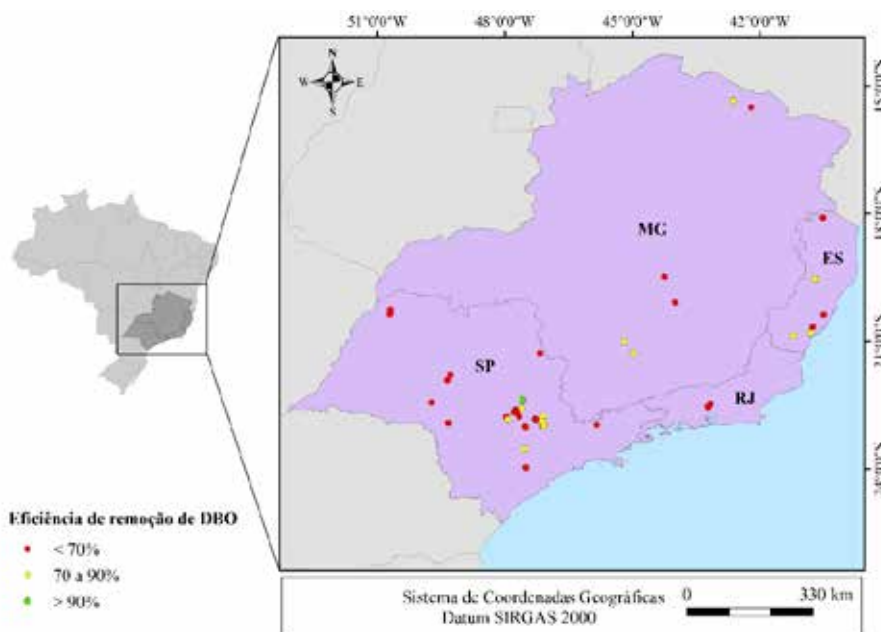


Figura 12 - Indicação das ETES avaliadas e classificação em termos de eficiência de remoção de DBO.

3.2.3 Avaliação ao atendimento aos padrões de lançamento de efluentes

Avaliando-se o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes das ETEs TS+FA inventariadas pelo Atlas Esgotos (ANA, 2017) localizadas no Sudeste, verifica-se que o Espírito Santo é o estado que apresenta melhores resultados, de modo que cerca de 88% das ETEs que operam por TS+FA do estado atendem às condições de lançamento propostas em legislação para o parâmetro DBO. No estado do Rio de Janeiro, 2 das 5 ETEs que operam por TS+FA inventariadas apresentam eficiência de remoção de DBO su-

perior a 60%. Em Minas Gerais, verifica-se que 37,5% das ETEs possuem eficiência de remoção acima de 60%. No estado de São Paulo, apenas cerca de 18% das ETEs TS+FA estão operando de acordo com o exigido pela legislação estadual. O baixo índice do estado pode ser explicado pela maior eficiência de remoção exigida pela legislação paulista (80%), uma vez que 61,5% das ETEs com essa configuração apresentam eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 60%. A Figura 13 representa a localização geográfica das ETEs avaliadas com informações acerca do atendimento ao lançamento de efluentes.

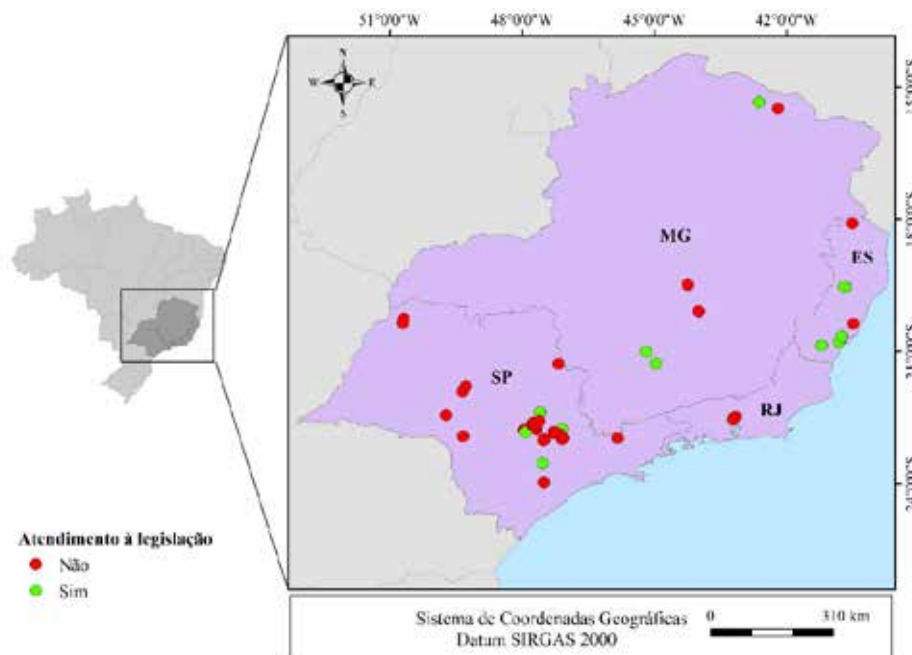


Figura 13 - Representação geográfica das ETEs avaliadas com informações acerca do atendimento a legislação.

De acordo com a Figura 14, o Espírito Santo é o estado em que as ETEs apresentam menor variação na eficiência de remoção de DBO. No estado, 50% das ETEs operam com eficiência de remoção entre 65 e 80%, sendo a média das eficiências de remoção da ordem de 69%. No estado de São Paulo observa-se uma grande dispersão dos dados, uma vez que metade das ETEs no estado operam com eficiência de remoção entre 60 e 97% e a outra metade entre 60 e 35%, sendo registrada uma efi-

ciência média para o estado de cerca de 57%. As ETEs operadas por TS+FA em Minas Gerais atuam com eficiência de remoção de DBO no intervalo de 35 a 82% e valor médio de cerca de 56%. Nesse estado, 25% das ETEs removem de 72 a 82% de DBO e outros 25% removem de 35 a 40%. No Rio de Janeiro, a eficiência média de remoção é de 52%, e, apesar de o estado apresentar o pior resultado médio, 25% das suas ETEs apresentam eficiência de remoção entre 72 e 81%.

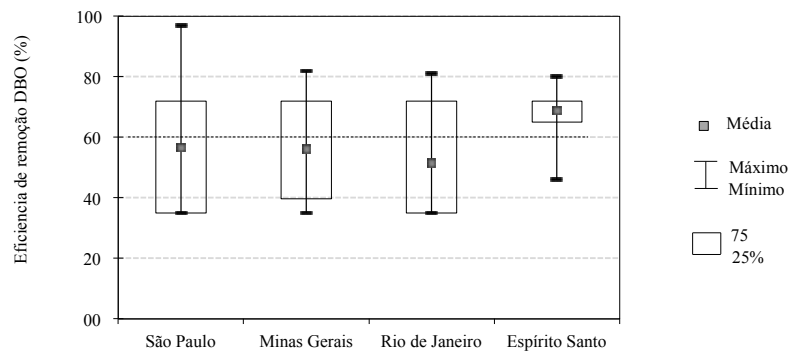


Figura 14 - Gráfico box-plot que ilustra a variação das eficiências de remoção de DBO para os estados da região Sudeste. **Nota:** A linha tracejada indica a eficiência de remoção mínima requerida para o lançamento de efluentes em corpos d'água segundo a Resolução Conama 430/2011.

3.2.4 Avaliação da carga orgânica nos sistemas TS+FA

A Figura 15 ilustra que, das ETEs operadas por TS+FA inventariadas na região Sudeste, as localizadas no estado de São Paulo são as que recebem a maior carga diária de DBO, já que as mesmas atendem a um maior número de habitantes. No estado, são direcionados, diariamente, para ETEs que utilizam TS+FA, 2.148 kg de DBO, dos quais 1.242 kg são removidos, configurando uma eficiência de 58%. No cenário alternativo proposto, em que os sistemas atuariam com eficiência de 75%, seria removida uma quantidade adicional de aproximadamente 438 kg DBO.dia⁻¹.

Da carga total de DBO tratada por ETEs operando por TS+FA no Sudeste, cerca de 23% são provenientes do estado de Minas Gerais. Dos 848,3 kg DBO gerados diariamente no estado, são removidos 464 kg, o que representa uma eficiência de aproximadamente 55%. Estima-se atualmente que sejam lançados 384 kg DBO.dia⁻¹ nos cursos d'água e, caso a eficiência de remoção fosse de 75%, esse número seria reduzido para cerca de 177 kg DBO.

No estado do Espírito Santo são geradas diariamente 16,5% da DBO tratada por TS+FA na região Sudeste, sendo que dos 609 kg DBO dia⁻¹ gerados, 400 kg são removidos. O estado opera, portanto, com eficiência de 66% de remoção de matéria orgânica. Na situação hipotética de 75% de eficiência, a carga orgânica lançada seria diminuída de 209 kg DBO.dia⁻¹ para 152 kg DBO.dia⁻¹.

O Rio de Janeiro é o estado da região Sudeste com menor parcela de carga orgânica gerada e conduzida para sistemas TS+FA, uma vez que o estado possui menor quantidade de ETEs que utilizam tais sistemas. No estado são gerados apenas 79,5 kg DBO.dia⁻¹ para serem tratados por TS+FA. Desse total, cerca de 51 kg DBO.dia⁻¹ são removidos e, no cenário alternativo proposto, esse número seria de cerca de 76 kg DBO.dia⁻¹.

Avaliando-se a região Sudeste no geral, constata-se que dos 3.685,8 kg DBO.dia⁻¹ gerados são removidos 2.158,1 kg, o que corresponde a 59% de eficiência. Caso as ETEs da região operassem com remoção de 75%, o lançamento de matéria orgânica em corpos d'água sofreria uma redução de 1.395 kg DBO.dia⁻¹.

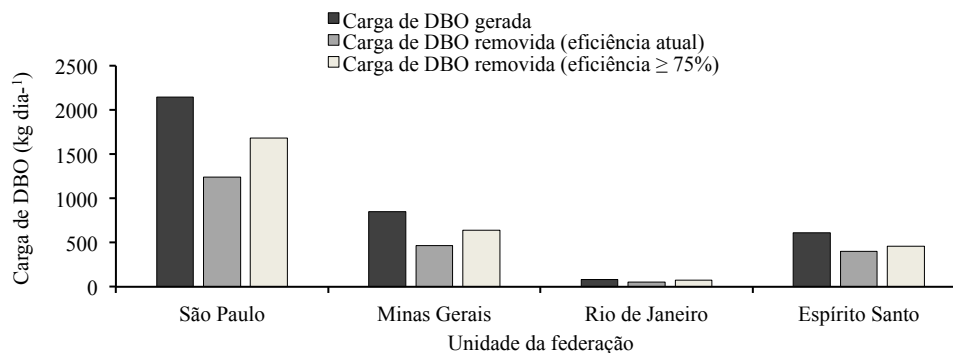


Figura 15 - Carga de DBO gerada, removida e removida com eficiência de 75% por estado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados disponibilizados pelo Atlas Esgotos, existem 69 ETES TS+FA no Sudeste, o que corresponde a cerca de 30% do total de ETES com essa tecnologia de tratamento no Brasil. Majoritariamente, esse sistema de tratamento é observado em ETES de pequeno porte, sendo que 46% das ETES inventariadas atendem a até 500 habitantes.

Os sistemas descentralizados têm, portanto, considerável relevância no tratamento de efluentes na região Sudeste do Brasil em ETES de pequeno porte e possuem grande potencial para ser um dos meios de levar esgotamento sanitário a áreas periurbanas, regiões que não são atendidas por serviços de esgotamento sanitário, condomínios e pequenas comunidades urbanas ou rurais. Seu baixo custo, baixa demanda de área e energia, assim como a redução de gastos com sistema de coleta, tornam-no o mais acessível às comunidades com menor adensamento populacional. No entanto, para garantir o bom desempenho dessas unidades de tratamento, faz-se necessária a implantação de programas de gestão, pelos prestadores de serviços de esgotamento sanitário, que garantam que as unidades de tratamento sejam inspecionadas e submetidas a manutenções regularmente.

A faixa populacional atendida pelas ETES avaliadas não se relacionou diretamente com as eficiências de remoção, de modo que foram observadas ETES operando com altas e baixas eficiências em todas

as subdivisões de porte. Verificou-se que foi possível obter eficiência de remoção de DBO acima de 90%, como em duas ETES no estado de São Paulo.

Apesar de a região Sudeste ser a que mais emprega o sistema TS+FA, observa-se que os recursos não são utilizados de forma totalmente eficaz, visto que cerca de 60% das ETES TS+FA da região operam com eficiência de remoção de DBO abaixo de 70%, o que pode ser associado à ausência de sistemas de gerenciamento regular da qualidade dos efluentes. O Rio de Janeiro é, proporcionalmente, o estado da região Sudeste com menores índices de atendimento, e o Espírito Santo é o estado com melhores resultados. Quando avaliado o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes, o Espírito Santo é o estado com melhores resultados, seguido por Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Ao se averiguar o percentual de carga orgânica tratada em sistemas TS+FA na região, constatou-se que, atualmente, os sistemas existentes atuam na redução de 59% da carga de DBO gerada diariamente pela população atendida.

4.1 Análise crítica sobre o emprego de TS+FA

Os resultados obtidos por meio desse estudo permitiram inferir que, embora existam diversas ETES que utilizam sistemas TS+FA na região Sudeste do Brasil, a maior parte dessas não atua com níveis de eficiências requeridos para assegurar a proteção

da saúde pública e do ambiente. A ausência de programas de gerenciamento, que garantam o monitoramento e a inspeção regulares desses sistemas, pode ser apontada como um dos fatores que contribuem para o baixo desempenho das unidades de tratamento avaliadas. 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.

Em relação ao banco de dados utilizado, a ausência de informações relativas aos sistemas de tratamento de esgotos empregados em distritos e zonas rurais dificultou uma avaliação global do uso de sistemas TS+FA, tendo em vista que em tais localidades há uma expressiva utilização de tal concepção de tratamento em função da inviabilidade de implantação de sistemas centralizados. 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 às eficiências de remoção de matéria orgânica e ao número indicado de ETEs operadas por TS+FA nos estados, os quais tendem a estar subestimados em função do reduzido controle operacional e desacreditação desses sistemas, o que pode comprometer a declaração dos sistemas como unidades operantes. Tais valores, por vezes, podem não expressar o desempenho das estações cotidianamente, tendo em vista a ausência de monitoramento periódico em unidades de tratamento descentralizadas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2018. **Ranking ABES da universalização do saneamento**. Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/wp-content/>

[uploads/2018/06/Ranking_2018a.pdf](#)> Acesso em 08 de novembro de 2018.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969: **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**; 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**, 1993.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017. **Atlas esgotos despoluição de bacias hidrográficas**. 2017. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOS-DespoluicaoDeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf> Acesso em 27/08/2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p.

CHERNICHARO, C. A. L. RIBEIRO, T. B., GARCIA, G. B., LERMONTOV, A., JULIUS PLATZER. C. J., COLLERE POSSETTI, G. R., ROSSETO, M. A. L. L. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, nº. 214, v. 66. Edição Especial - Novembro 2018.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho.

BRASIL. **Decreto nº 54.487** de 26 de junho de 2009. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente e dá outras providências e altera a redação e inclui dispositivos e anexos no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.

CRITES, R., TCHOBANOGLIOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. United States of America: McGraw-Hill, Inc; 1998.

FREIRE, R. S., PELEGRINI, R., KUBOTA, L. T., DURÁN, N. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

LIBRALATO, G.; GHIRARDINI, A.V.; AVEZZÙ, F. To centralize or to decentralize: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management** v. 94. p. 61- 68. 2012.

LOFRANO, G.; BROWN, J. Wastewater management through the ages: A History of mankind. **Elsevier: Science of the total environment**, v. 0048, p. 5255 – 5261, 2010.

MASSOUD, May A., TARHINI, A., JOUMANA, A. “Decentralized Approaches to Wastewater Treatment and Management: Applicability in Developing Countries.” **Journal of Environmental Management** v. 90 n.º1: 652–59. 2009.

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação normativa conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1**, de 05 de Maio de 2008.

MURTHA, N. A.; CASTRO, J. E; HELLER, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. XVIII, n. 3 n p. 193-210 n jul.-set. 2015. São Paulo – SP.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. “Tratamento Descentralizado de Águas Residuárias Domésticas: Uma Estratégia de Inclusão Social.” **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**: 213–32, 2013. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-09.pdf>> Acesso em 17 de novembro de 2018.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. “Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a de-

veloping country”. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 1, n. 1, p. 37-56, 2011.

SILVA FILHO, P. A. da. **Diagnóstico operacional de lagoas de Estabilização**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do norte, Natal, 2007.

SOUSA, J. T. de, HAANDEL, A. C. V., COSENTINO, P. R. S. da, GUIMARÃES, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.87-91, 2000 Campina Grande, PB.

US EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. **Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems**. Office of Wastewater Management and Office of Water, Washington, DC.

USEPA. **Onsite wastewater treatment systems manual**. Office of Water. Office of Research and Development. EPA-625-R-00-008. 2002. Washington, DC: Government Printing Office.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias – Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996.