



II-204 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NA BACIA DO RIO IPOJUCA, PERNAMBUCO

Luane Lins da Silva⁽¹⁾

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Engenheira Civil pela Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE). Engenheira de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Analista de Saneamento na COMPESA.

Vicente de Paulo Silva⁽²⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Doutor em Engenharia Civil - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Valmir Cristiano Marques de Arruda⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre e Doutor em Engenharia Civil - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pós-doutor pelo Centro de Engenharia Biológica (BRIDGE - Bioresources, Bioremediation and Biorefinery group), Universidade do Minho, Braga, Portugal. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pós-doutora pelo grupo de pesquisa de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Alex Souza Moraes⁽⁵⁾

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre e Doutor em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pós-Doutor pela Université Joseph Fourier (Grenoble - França) em transporte de poluentes emergentes em solos. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Carlos Mavignier, 99, apt 301 – Casa Amarela - Recife - Pernambuco - CEP: 52070-110 - Brasil - Tel: +55 (81) 99965-5331 - e-mail: luanelins@yahoo.com.br.

RESUMO

O crescimento acelerado da população mundial, junto ao crescente volume de esgotos sanitários produzidos, e ao mesmo tempo sendo despejados nos recursos hídricos e no solo, com pouco ou nenhum tipo de tratamento, vem contribuindo para a degradação do meio ambiente e causando graves problemas ambientais e sociais. Nesse sentido, a busca crescente por soluções de saneamento ambiental e tecnologias de tratamento de esgotos é parte fundamental do processo de recuperação e manutenção da qualidade de vida da população e do meio ambiente. Em Pernambuco, o Programa de Saneamento Ambiental do Rio Ipojuca, foi concebido com o intuito de promover o saneamento ambiental da bacia a partir da implantação de sistemas de esgotamento sanitário, ampliação da cobertura dos sistemas existentes e melhoria nos índices de tratamento de esgoto, objetivando melhorar a qualidade ambiental e aumento da disponibilidade da água de boa qualidade. Este trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros de qualidade das Estações de Tratamento de Esgoto (Tacaimbó, Rendeiras e Gravatá) sob a análise da estatística descritiva com aplicação de ferramenta computacional. Os parâmetros analisados foram fornecidos pela COMPESA, todas as amostras foram coletadas no ano de 2020, em todos os meses do ano. Os resultados das análises foram comparados aos valores recomendados pela legislação ambiental vigente nas esferas federal e estadual. Considerando a carga orgânica apresentada pela DBO, percebemos que todas as ETEs operaram de forma satisfatória no período estudado, apresentando valores inferiores ao preconizado na legislação. A ETE Tacaimbó apresentou grandes variações, possivelmente, em alguns períodos esta ETE operou com menor eficiência, permitindo que o efluente ainda tivesse conteúdo de matéria orgânica, em determinadas épocas do ano. Pela análise da estatística descritiva dos



parâmetros de qualidade dos efluentes, conclui-se de forma geral, as ETEs estudadas, atendem aos requisitos definidos pelos órgãos ambientais, notadamente no quesito de remoção de matéria orgânica. Assim as tecnologias de tratamento adotadas são adequadas à região.

PALAVRAS-CHAVE: carga, efluente, orgânica, sistema, tratamento.

CONTÉUDO DO TRABALHO

O trabalho deve ser organizado seguindo um encadeamento lógico e deverá conter os seguintes itens: Introdução, Objetivo(s), Metodologia Utilizada, Resultados Obtidos ou Esperados, Análise e Discussão dos Resultados, Conclusões/Recomendações e Referências Bibliográficas.

INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos são águas residuais oriundas de uma comunidade sendo constituídos por uma fração aproximada de 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos e, aproximadamente, 99,9% de água. Apesar de a fração de sólidos ser pequena, o tratamento dos esgotos é necessário pois suas características (físicas, químicas e biológicas) dependem dos usos à qual a água foi submetida. Assim, estas águas podem conter agentes causadores de poluição ambiental e outros nocivos à saúde humana (Metcalf & Eddy, 2016; Von Sperling, 2005; Jordão & Pessoa, 2011).

Cerca de 70% destes sólidos presentes no esgoto são de origem orgânica, sendo em sua maior parte, uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio. Os grupos de substâncias orgânicas nos esgotos são constituídos por compostos de: proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, e uréia, sulfatos, fenóis, etc (FUNASA, 2018).

O tratamento de esgoto consiste na estabilização da matéria orgânica de um certo efluente, com o objetivo de transformar a matéria orgânica em inorgânica (mineralização e conseqüente redução de DBO) e de remover os microrganismos patogênicos (PIMENTA *et al.*, 2002).

No final do século XIX teve início o desenvolvimento de tecnologias para tratar o esgoto sanitário, neste momento o foco era a remoção dos sólidos sedimentáveis que eram amplamente originados nestes sistemas, ressalta-se que este parâmetro representava apenas 1/3 da carga orgânica e que os outros 2/3 estavam representados na forma solúvel e de colóides. Como os tratamentos aplicados não possibilitavam o contato entre as frações não sedimentadas e as bactérias que estavam ativas no reator, a eficiência da remoção da matéria orgânica no tratamento era de até 40% (FARIAS, 2013).

Com os avanços dos estudos de reatores, os pesquisadores perceberam que havia a necessidade de um maior contato do efluente com as bactérias que degradavam matéria orgânica e que o processo se tornaria mais eficiente se houvesse a imobilização desta biomassa, através da inserção de lodo ativo no reator fazendo crescer a massa bacteriana e promovendo assim, uma digestão anaeróbia da matéria orgânica. Tal concepção fez surgir a base do tratamento anaeróbio com reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) de alta capacidade e eficiência na remoção de matéria orgânica, devido ao contato da matéria orgânica e a massa bacteriana (HAANDEL *et al.*, 2003).

Os processos para o tratamento de efluentes podem ser individuais ou combinados, a definição do processo de tratamento deve considerar, principalmente, a qualidade do corpo d'água receptor (estudo de autodepuração e os limites definidos pela legislação ambiental) e as características do esgoto bruto gerado (CHIAVELLI *et al.*, 2019).

O processo de tratamento de efluentes, independente da tecnologia adotada, deve seguir um fluxo para remoção dos poluentes. Em linhas gerais, o tratamento de efluentes em nível secundário já se faz suficiente



para remoção de até 99% da carga orgânica do efluente (DBO e DQO) sendo assim passível de destinação final (VON SPERLING, 2005). Em casos de corpos receptores de classes mais especiais ou efluentes com altas cargas de poluentes, exigem refinamento no tratamento, assim se fazendo necessário a adição de tratamento em nível terciário.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de remoção da carga orgânica (representado por DBO, DQO, óleos e graxa) do esgoto bruto das principais estações de tratamento de esgotos domésticos em operação na bacia do Rio Ipojuca, no estado de Pernambuco, em relação a legislação ambiental vigente através da análise da estatística descritiva.

Os resultados das análises de remoção da carga orgânica das ETE Tacaimbó, ETE Rendeiras e ETE Gravatá foram comparados aos valores recomendados pela Resolução CONAMA nº 430/2011, para águas doces, classe 3, referentes ao enquadramento do rio Ipojuca e as Norma Técnica 2007/2001 da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH.

METODOLOGIA

Os parâmetros analisados neste estudo foram fornecidos pela COMPESA, todas as amostras foram coletadas no ano de 2020, em todos os meses do ano (de janeiro a dezembro). Foram realizadas coletas nas ETES Tacaimbó, Rendeiras e Gravatá sendo tais amostragem do tipo simples, mediante coleta manual do efluente tratado.

O período de monitoramento de cada estação, compreendido entre janeiro e dezembro de 2020, foi comum a todas as ETES, permitindo assim comparações mais homogêneas e confiáveis entre os parâmetros da qualidade dos efluentes das estações.

As coletas foram realizadas por equipe da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, em cada uma das ETES da área de estudo. As coletas, acondicionamento e transporte das amostras do efluente tratado das ETES, seguiram as recomendações do controle de qualidade da Companhia, normatizada através de procedimentos internos específicos que são baseados nos *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

A análise dos parâmetros de DBO seguiu o método SMEWW 5210D: determinação mediante a utilização do método respirométrico. E a DQO, o método SMEWW 5220D: determinação mediante a utilização do método colorimétrico de refluxo fechado. Para óleos e graxas são usados: método gravimétrico de partição líquido-líquido (método SMEWW 5520 B) e método de partição infravermelho (método SMEWW 5520 C).

Os resultados dos parâmetros foram analisados sob a análise da estatística multivariada com aplicação do pacote Statística 12.0.

RESULTADOS OBTIDOS

Para obtenção das informações gerais dos parâmetros analisados neste trabalho foram efetuadas, inicialmente, planilhas contendo as informações dos parâmetros (DBO, DQO, óleos e graxa) a serem usados, inicialmente, na análise estatística descritiva de modo a se obter as informações básicas dos dados, apresentando resultados conformem conforme a Tabela 1.

Após uma análise de consistência dos dados, para identificação de valores não factíveis ou ainda falhas no preenchimento das planilhas, foi realizada a estatística descritiva onde foram calculados o número de réplicas, a média, a mediana, os valores mínimo e máximo, a soma geral por grupo, a variância, o desvio-padrão os percentis 25% e 75%, a assimetria, a curtose, a média geométrica e o coeficiente de variação. Também foram verificadas a normalidade dos dados por meio da execução dos testes de normalidade Shapiro-Wilk, complementando o sumário estatístico dos dados. Para determinação dos diversos parâmetros foi utilizado o pacote Statística 12.0 (STATSOFT, INC., 2011).



Tabela 1: Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade do efluente das ETEs Tacaimbó, Rendeiras e Gravatá.

	ETE Tacaimbó			ETE Rendeiras			ETE Gravatá		
	DBO	DQO	O & G	DBO	DQO	O & G	DBO	DQO	O & G
N	12.0	12.0	12.0	12	12	12	12	12	12
Min	10.0	42.0	7.4	4	9.6	1.4	6.0	11	2.5
Max	160.0	967.0	58.1	40	151	94	44	220	63.5
Soma	676.0	3354.0	257.1	184	699.6	426.9	222	1117	264.2
Méd.	56.3	279.5	21.4	15.3	58.3	35.6	18.50	93.08	22.02
E. P.	12.7	89.9	4.7	3.3	11.4	7.6	3.34	16.92	5.36
Var.	1949.7	96912.8	270.1	129.2	1546.3	698.0	134.09	3434.99	344.20
D.P.	44.2	311.3	16.4	11.4	39.3	26.4	11.58	58.61	18.55
Med.	44.0	142.0	13.1	12	53.5	35.35	15	73.5	18.75
Q1 (25%)	25.8	88.3	9.6	6.75	34.5	12.65	10.00	58.50	7.53
Q3 (75%)	73.8	340.8	36.3	17.5	70.25	45.6	24.75	125.00	31.08
Assim.	1.5	1.7	1.3	1.38	1.17	1.01	1.18	0.93	1.10
Curt.	1.8	1.8	0.6	1.28	1.95	0.99	0.78	0.70	0.86
M.G.	43.3	176.2	16.9	12.08	45.28	24.40	15.64	74.47	14.76
C.V.	78.4	111.4	76.7	74.12	67.45	74.26	62.59	62.96	84.27
S.-W.(W)	0.8	0.7	0.8	0.83	0.90	0.92	0.89	0.93	0.89
p(normal)	0.0	0.0	0.0	0.020	0.158	0.286	0.10	0.42	0.13

N- N° de amostras; Min-Valor mínimo; Máx. – Valor máximo; Soma – Soma geral; Méd. – média; E. P. – erro padrão; Var. – variância; D.P. – desvio padrão; Med.- mediana; Q1 – 1° quartil; Q3 – 3° quartil; Assim. Assimetria; Curt. – Curtose; M.G. – Média geométrica; C. V. – Coeficientes de variação; S.-W.(W) – Shapiro-Wilk; p(normal) – probabilidade dos valores pertencerem a uma distribuição normal

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mgO₂/l); DQO - Demanda Química de Oxigênio (mgO₂/l); O & G – Óleos e graxas (mg/l)

Os testes de normalidade de Shapiro-Wilk aplicados aos dados dos parâmetros relacionados a carga orgânica para todas as ETEs, mostrou alguns dos dados apresentaram aderência à distribuição normal (valor $p > 0,05$) ao nível de significância (α) de 5%. Nestes casos em que a distribuição dos dados era não normal (valor $p < 0,05$), foi utilizado o teste de Mann-Whitney, também com nível de significância, igual (α) da 5%.

Após a análise de consistência dos dados, procedeu-se à elaboração da estatística descritiva com a elaboração de gráficos de barra para os parâmetros estudados que apresentaram distribuição normal. Nestes gráficos são mostrados a média e o desvio padrão dos dados referentes aos parâmetros. Para os parâmetros que apresentaram distribuição não normal, foram elaborados gráficos em *box plot*, nos quais são representados os valores do primeiro quartil (25%), a mediana e o terceiro quartil (75%) dos dados.

A Tabela 2 mostra as distribuições estatísticas dos parâmetros de carga orgânica das três estações de tratamento de esgotos, seus respectivos testes paramétricos e o “p-valor”. Conceitualmente, o nível descritivo (p-valor) é definido como o menor nível de significância (α) que pode ser assumido para de rejeitar a hipótese nula (H_0).

Tabela 1: Distribuições estatísticas dos parâmetros das ETEs e seus respectivos testes paramétricos e “p-valor”

Estação	Distribuição estatística	Parâmetros	Teste estatístico	p-(valor)	Hipótese
ETE1 – Tacaimbó	Não normal	DBO; DQO; Óleos & Graxas	Mann-Whitney	$P < 0,05$	Rejeita H_0
ETE2 – Rendeiras	Normal	Demanda Química de Oxigênio; Óleos & Graxas	Shapiro – Wilk	$p > 0,05$	Não rejeita H_0



	Não normal	DBO	Mann-Whitney	P<0,05	Rejeita H ₀
ETE3 – Gravatá	Normal	DBO; DQO; Óleos & Graxas.	Shapiro – Wilk	p>0,05	Não rejeita H ₀

H₀ – hipótese nula na distribuição normal admite-se as médias dos valores de cada parâmetro das ETEs não se diferenciam, isto é, são iguais; H₀ – hipótese nula na distribuição não normal admite-se que as medianas dos valores de cada parâmetro das ETEs não se diferenciam, isto é, são iguais.

Os resultados das análises físico-químicas e biológica das ETE Tacaimbó, ETE Rendeiras e ETE Gravatá foram comparados aos valores recomendados pela Resolução CONAMA nº 430/2011, para águas doces, classe 3, referentes ao enquadramento do rio Ipojuca e as Norma Técnica 2007/2001 da CPRH.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) a quantidade de oxigênio dissolvido necessário para estabilizar (decompor) através de processos bioquímicos, a matéria orgânica em uma amostra. Assim, considera-se uma indicação indireta da quantidade de carbono biodegradável (VON SPERLING, 2005).

Os valores referentes as amostras de DBO nos pontos de disposição das ETEs no rio Ipojuca, são mostradas nas Figuras 1 e 2, respectivamente. As estações apresentaram os resultados da DBO bastante inferiores ao valor preconizado pela CONAMA nº 430/2011 e pelo CPRH, com valor máximo de 120 mgO₂/L. As ETE1 (Tacaimbó), ETE2 (Rendeiras) e ETE3 (Gravatá) apresentaram médias de 80 mgO₂/L, 19 mgO₂/L e 5,2 mgO₂/L, respectivamente. Assim, concluímos que os sistemas estão operando satisfatoriamente na remoção de DBO. No caso da ETE1(Tacaimbó) o valor da DBO se apresenta com maior variabilidade, podendo apresentar com valores superiores aos de referência (CONAMA e CPRH). Isso se deve, possivelmente, a que em algum período das coletas os sistemas de tratamento tenham operado com menor eficiência, permitindo que o efluente em seu despejo ainda tivesse conteúdo de matéria orgânica, permitindo tamanha variabilidade.

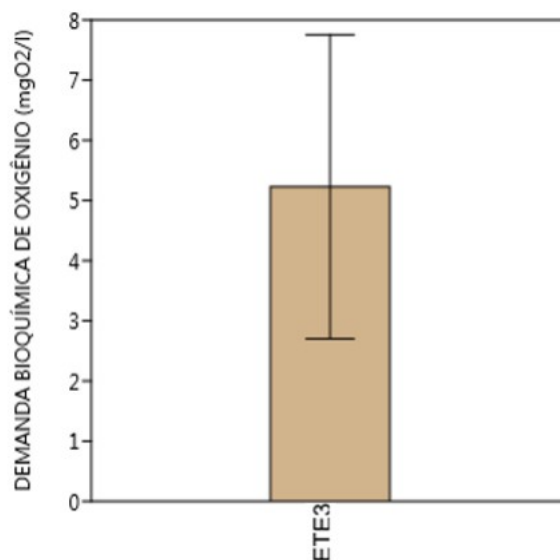


Figura 1: Valor de DBO no efluente da ETE Gravatá (ETE3)

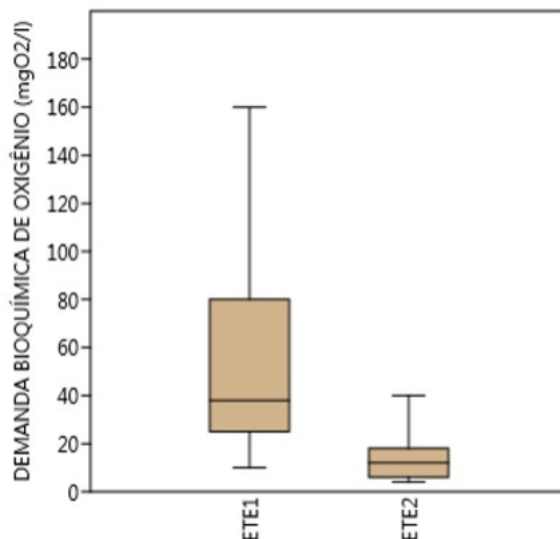


Figura 2: Valores de DBO nos efluentes das ETE Tacaimbó (ETE1) e ETE Rendeiras (ETE2)

Ainda que não seja o objetivo principal deste trabalho, foi analisado também a remoção de fósforo, uma vez que a alta carga deste nutriente prejudica diretamente a qualidade da água. Como explica Von Sperling (2005) o fósforo é nutriente essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização de matéria orgânica. Esgotos domésticos, usualmente pode conter carga excessiva desse nutriente.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima de fósforo total para lançamento em rios classe 3 é de 0,15 mg/L, para ambientes lóticos. Nas Figuras 3 e 4, encontram-se as concentrações de fósforo nas ETE1 (Tacaimbó), ETE2 (Rendeiras) e ETE3 (Gravtá) ao longo do rio Ipojuca.

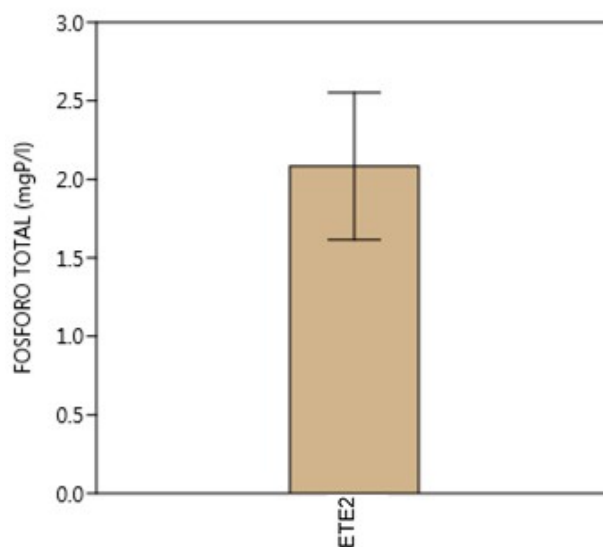


Figura 3: Valores de Fósforo Total na ETE2 (Rendeiras)

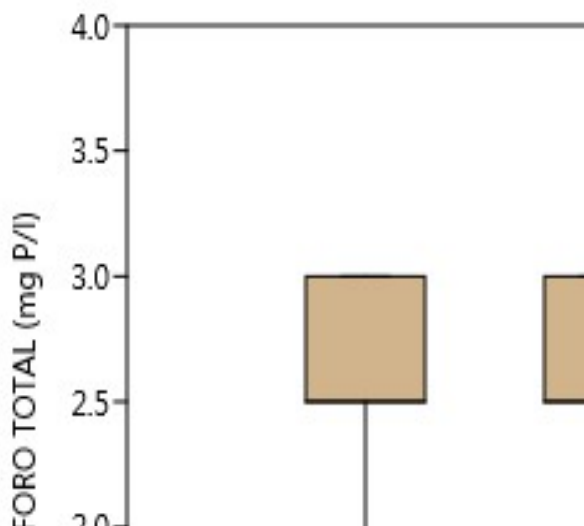


Figura 4: Valores de Fósforo Total nas ETE1 e ETE3

Os valores de fósforo em todas as ETEs estão acima do valor preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 o que mostra a presença desse elemento no efluente, a matéria orgânica fecal e os detergentes em pó de uso doméstico, constituem as principais fontes de fósforo. Isto constitui um aspecto importante e que deve ser considerado em relação as etapas do sistema de tratamento de cada uma das ETEs, indicando a necessidade de uma etapa de tratamento terciário para reduzir a concentração deste nutriente nos esgotos sanitários.

CONCLUSÕES

Considerando a carga orgânica apresentada pela DBO, percebemos que todas as ETEs operaram de forma satisfatória no período estudado, apresentando valores inferiores ao preconizado na legislação. A ETE Tacaimbó apresentou grandes variações, possivelmente, em alguns períodos esta ETE operou com menor eficiência, permitindo que o efluente ainda tivesse conteúdo de matéria orgânica, em determinadas épocas do ano.

Pela análise da estatística descritiva dos parâmetros de qualidade dos efluentes, conclui-se de forma geral, as ETEs estudadas, atendem aos requisitos definidos pelos órgãos ambientais, notadamente no quesito de remoção de matéria orgânica. Assim as tecnologias de tratamento adotadas são adequadas à região. Quanto a remoção de sólidos a ETE Tacaimbó apresenta certa variação, que não necessariamente está relacionada a deficiência no tratamento, mas pode se relacionar a áreas de degradação ambiental na região. Em paralelo pode-se também sugerir ações de recuperação ambiental de áreas dos municípios, a fim de minimizar os processos erosivos que podem influenciar na qualidade do efluente, bem como ações de educação e fiscalização para inibir ligações clandestinas na rede de esgoto. Em tempo, deve-se observar a necessidade de melhoria no processo de remoção de nutrientes como o fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHIAVELLI, H.G.R.; TORRECILHAS, A.R.; SELLA, M.R.; CARDOSO, M.A.P.; MARTIN, D.R. *Etapas de um sistema de tratamento de efluente e processos convencionais de tratamento: uma revisão de literatura*. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa: PR, 2019.
2. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. *Manual de Saneamento*. 5ª edição revisada. Brasília: FUNASA, 2018. 642 p.
3. HAANDEL, A. C. V.; GUIMARÃES, P.; MELO, H.N.S.; CAVALCANTI, P.F.F. *Anaerobic-aerobic sewage treatment using the combination UASB- SBR activated sludge*. Journal of Environmental Science



- and Health Part A - Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control, Washington, v. 38, n.11, p. 2633-2642, 2003.
4. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 6ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.
 5. METCALF, L.; EDDY, H.P. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 5ª Edição. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2016. 2008 p.
 6. PIMENTA, H. C.D.; TORRES, F.R.M.; RODRIGUES, B.S.; ROCHA JÚNIOR, J.M. *O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas*. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Curitiba – PR, 2002. p. 1- 8. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr104_0458.pdf. Acesso em 16 jun 2023.
 7. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.