



## **Avaliação da qualidade de efluentes em Estações de Tratamento de Esgotos na bacia do Rio Ipojuca**

**Luane Lins da Silva**

Mestranda, UFRPE, Brasil.  
luanelins@yahoo.com.br

**Vicente de Paulo Silva**

Professor Doutor, UFRPE, Brasil.  
vicenteufrpe@yahoo.com.br

**Valmir Cristiano Marques de Arruda**

Professor Doutor, UFRPE, Brasil.  
valmir.arruda@ufrpe.br

**Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame**

Professora Doutora, UFRPE, Brasil.  
leocadia.beltrame@ufrpe.br

**Alex Souza Moraes**

Professor Doutor, UFRPE, Brasil.  
alex.moraes@ufrpe.br

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros físico-químico e microbiológico das Estações de Tratamento de Esgoto dos municípios de Tacaimbó, Rendeiras e Gravatá no estado de Pernambuco, sob a análise da estatística descritiva e multivariada com aplicação de ferramenta computacional. Os parâmetros analisados foram fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), sendo todas as amostras coletadas durante o ano de 2020. Os resultados das análises foram comparados aos valores recomendados pela legislação ambiental vigente nas esferas federal e estadual. A avaliação da qualidade dos efluentes da bacia do rio Ipojuca, auxiliou na análise da contribuição oferecida pelo Programa de Saneamento Ambiental da bacia Rio Ipojuca para a despoluição de suas águas. Pela análise da estatística descritiva dos parâmetros de qualidade dos efluentes, conclui-se, de forma geral, que as ETEs estudadas atendem aos requisitos definidos pelos órgãos ambientais, notadamente no quesito de remoção de matéria orgânica. Através da estatística multivariada foi possível concluir que a maior variação dos dados estão relacionadas aos parâmetros que representam a poluição (matéria orgânica). Esse fato pode tanto representar falhas nos procedimentos de coleta e armazenagem, como operação ineficiente em determinados períodos do ano. A operação dos sistemas de tratamento de esgotos, em condições adequadas, é fundamental para a manutenção da qualidade ambiental dos corpos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto. Estatística. Multivariada.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população mundial, juntamente com o 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, por meio da poluição dos recursos naturais, desestabilização dos ecossistemas 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 (SCOTTÁ, 2015).

Pimenta *et al.* (2002) definem que o tratamento de esgoto consiste na estabilização da matéria orgânica de um certo efluente, de modo a transformá-la em inorgânica (mineralização e consequente redução de DBO) com a remoção de microrganismos patogênicos.

O início do desenvolvimento de tecnologias para tratar o esgoto sanitário data do final do século XIX, com foco na remoção dos sólidos sedimentáveis que eram amplamente originados nesses sistemas; entretanto, não se percebia que esse parâmetro representava apenas 1/3 da carga orgânica e que os outros 2/3 estavam representados na forma solúvel e de colóides. Os tratamentos aplicados não possibilitavam o contato entre as frações não sedimentadas e as bactérias que estavam ativas no reator, resultando em uma eficiência da remoção da matéria orgânica na ordem de 30 a 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 dessa biomassa, através da inserção de lodo ativo no reator fazendo crescer a massa bacteriana a fim de promover a 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).

O Rio Ipojuca, no estado de Pernambuco se configura entre os três rios mais poluídos do Brasil, sendo a principal fonte de poluição os esgotos domésticos (tratados ou in natura). Os esgotos

in natura transportam nutrientes para o rio, elevando a proliferação de algas no ambiente, em consequência a diminuição do índice de oxigênio dissolvido na água o que impacta a qualidade de vida dos animais aquáticos (SILVA, 2017).

O Programa de Saneamento Ambiental do Rio Ipojuca – PSA Ipojuca, criado em 2013, tem a finalidade de promover o saneamento ambiental na bacia do Rio Ipojuca a partir da implantação de sistemas de esgotamento sanitário, ampliação da cobertura dos sistemas existentes e melhoria nos índices de tratamento nos municípios cuja sede se localiza às margens do Ipojuca. Com isso, pretende-se melhorar a condição ambiental e aumentar a disponibilidade da água de boa qualidade, além de promover ações complementares que incluem diagnóstico socioambiental, instalação de parques ambientais e reposição florestal das matas ciliares. O PSA Ipojuca objetiva reduzir a carga orgânica diária lançada no rio Ipojuca, quanto à DBO<sub>5</sub>, em cerca de 18,65 toneladas. Isso representa aproximadamente 45,4% da carga doméstica, o que garante uma melhor qualidade da água, tanto no rio, como nos reservatórios utilizados, prioritariamente, para abastecimento público (BID, 2012). Neste contexto, algumas das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) encontram-se em operação.

## 2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros físico-químico e biológico das ETES nos municípios de Tacaimbó, Gravatá e Rendeiras, localizada em Caruaru, sob a análise da estatística descritiva e multivariada, com aplicação de ferramenta computacional.

## 3 METODOLOGIA

As análises dos parâmetros físico-químico e biológico do presente estudo foram produzidas pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). As amostras foram coletadas pela equipe da mesma companhia, durante o decorrer de 2020. As coletas realizadas nas ETES Tacaimbó, Rendeiras e Gravatá compõem um quadro de amostragens do tipo simples, mediante coleta manual do efluente tratado.

A ETE Tacaimbó é constituída por uma unidade de tratamento preliminar composta por gradeamento, unidade de desarenação, dispositivo de medição de vazão, uma estação elevatória de esgoto, uma unidade de tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica biodegradável formada por reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), seguido de lodos ativados; e por fim, desinfecção por cloração. A estação tem capacidade para tratar uma vazão máxima de final de plano de 33,0 L/s, atendendo uma população de 12.307 habitantes e dispõe de etapas para tratamento de esgoto.

A ETE Rendeiras, em Caruaru, foi projetada para tratar uma vazão de final de plano de 450 L/s com previsão de atendimento de uma população de 148.000 habitantes. Atualmente, suas etapas do tratamento de esgoto são constituídas por uma unidade de tratamento preliminar composta por gradeamento, unidade de desarenação, dispositivo de medição de vazão, uma unidade de tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica biodegradável formada por reatores UASB, seguido de lodos ativados e lagoas de polimento. Por último, o efluente passa pelo processo de desinfecção por cloração.

A ETE Gravatá, possui capacidade de tratamento para uma vazão de 140 L/s beneficiando

cerca 30.000 habitantes. Suas etapas do tratamento de esgoto são constituídas por uma unidade de tratamento preliminar composta por gradeamento, unidade de desarenação, dispositivo de medição de vazão, uma unidade de tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica biodegradável formada por um reator UASB, sistema de lodos ativado e sistema de desinfecção ultravioleta que trata os resíduos e os devolve à natureza com um alto nível de qualidade.

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*.

Para obtenção das informações gerais dos parâmetros utilizados no presente trabalho foram efetuadas, inicialmente, planilhas contendo as informações dos parâmetros físico-químicos e microbiológico a serem usados, inicialmente, na análise estatística descritiva de modo a se obter as informações básicas dos dados.

Após uma análise de consistência dos dados, para identificação de valores não factíveis ou ainda falhas no preenchimento das planilhas, realizou-se 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 Statistica 12.0 (STATSOFT, INC., 2011).

Gráficos descritivos foram elaborados para verificação de como os dados se apresentam, sua tendência e como as variáveis se relacionam. Descrições paramétricas de média, desvio-padrão, mediana, 1° e 3° quartil, também foram consideradas na análise de cada parâmetro, de modo a evidenciar a normalidade ou não normalidade nos dados.

A análise fatorial foi realizada através da transformação da matriz de correlação por meio de estimação em uma matriz fatorial contendo cargas fatoriais para cada variável, em cada fator obtido. Então, as cargas de cada variável nos fatores foram interpretadas para identificar a estrutura latente das variáveis.

Com a análise dos componentes principais foi possível obter a redução dos dados multivariados e a detecção de estrutura na relação entre os dados, transformando-os em um novo conjunto de variáveis, as componentes principais, que resultam de uma combinação linear das variáveis originais. Nessa análise, foram utilizados todos os parâmetros de qualidade do efluente das estações ETE1 (Tacaimbó), ETE2 (Rendeiras) e ETE3 (Gravatá), a fim de determinar as características de maior participação no comportamento das variáveis quando atuam conjuntamente nos respectivos despejos no corpo receptor (rio Ipojuca).

Devido as variáveis em estudo possuem valores com diferentes escalas se fez necessário padronizar as variáveis, de modo que as mesmas passem a ter média 0 e variância constante igual a 1.

A aplicação dos testes de Esfericidade de Bartlett ( $p$ -valor $<0,05$ ) e KMO (coeficiente de 0,74) demonstraram que o tamanho da amostra do conjunto de dados de qualidade da água foi adequado para ACP.



#### **4 RESULTADOS**

Os resultados das análises físico-químicas e biológicas 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 a Norma Técnica 2007/2001 da CPRH.

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

Estação	Distribuição estatística	Parâmetros	Teste estatístico	p-(valor)	Hipótese
		Físico-químico e biológico			
ETE1 - Tacaimbó	Normal	Temperatura; Alcalinidade; Oxigênio Dissolvido; Sólidos Totais; Sólidos Fixos; Sólidos Voláteis	Shapiro – Wilk	p>0,05	Não rejeita H <sub>0</sub>
	Não normal	pH; Cloretos; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Demanda Química de Oxigênio; Sólidos Sedimentáveis; Sólidos Suspensos; Sólidos Suspensos Fixos; Sólidos Suspensos Voláteis; Fósforo; Óleos & Graxas; Coliformes Totais	Mann-Whitney	P<0,05	Rejeita H <sub>0</sub>
ETE2 - Rendeiras	Normal	pH; Alcalinidade; Cloretos; Oxigênio Dissolvido; Demanda Química de Oxigênio; Sólidos Totais; Sólidos Fixos; Sólidos Voláteis; Sólidos Suspensos; Sólidos Suspensos Fixos; Sólidos Suspensos Voláteis; Fósforo; Óleos & Graxas;	Shapiro – Wilk	p>0,05	Não rejeita H <sub>0</sub>
	Não normal	Temperatura; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Sólidos Sedimentáveis; Coliformes Totais	Mann-Whitney	P<0,05	Rejeita H <sub>0</sub>
ETE3 - Gravatá	Normal	Temperatura; pH; Alcalinidade; Cloretos; Oxigênio Dissolvido; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Demanda Química de Oxigênio; Sólidos Sedimentáveis; Sólidos Totais; Sólidos Fixos; Sólidos Voláteis; Sólidos Suspensos; Sólidos Suspensos Fixos; Sólidos Suspensos Voláteis; Óleos & Graxas.	Shapiro – Wilk	p>0,05	Não rejeita H <sub>0</sub>
	Não normal	Fósforo; Coliformes Totais	Mann-Whitney	P<0,05	Rejeita H <sub>0</sub>

H<sub>0</sub> – hipótese nula na distribuição normal admite-se as médias dos valores de cada parâmetro das ETEs não se diferenciam, isto é, são iguais; H<sub>0</sub> – 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.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

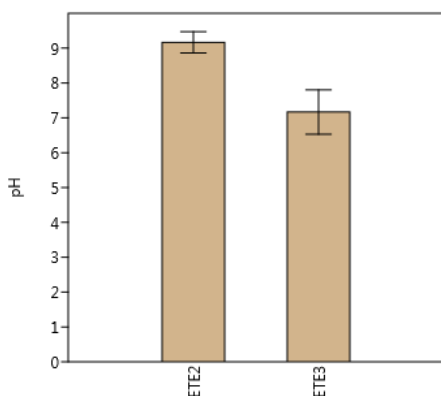
A tabela 1, acima apresenta as distribuições estatísticas dos parâmetros físico-químicos e biológicos das três estações de tratamento de esgotos, seus respectivos testes paramétricos e o “p-valor” que é considerado como o nível descritivo da significância estatística. Conceitualmente, o nível descritivo (p-valor) é definido como o menor nível de significância ( $\alpha$ ) que pode ser assumido para se rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ).

Após a análise de consistência dos dados, procedeu-se à elaboração da estatística descritiva com a elaboração de gráficos referentes os parâmetros físico-químicos e biológicos 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.

O potencial Hidrogeniônico (pH) é um dos parâmetros mais importantes e frequentemente usados para avaliar o efluente, na medida que todas as fases que envolvem o tratamento de águas residuais são dependentes do pH.

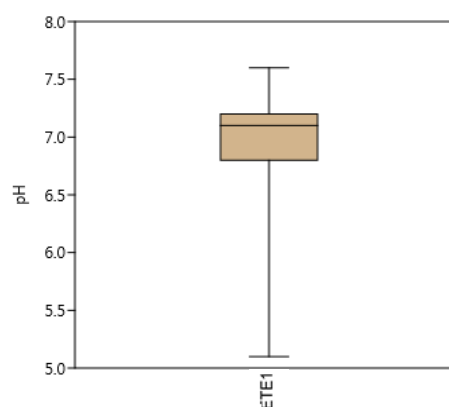
Ao confrontar os resultados com os limites definidos na Resolução CONAMA nº 430/2011, constata-se que, em geral, os valores de pH das ETE1, ETE2 e ETE3 encontram-se em conformidade com o estabelecido pela Resolução, cujo limite situa-se entre 5 e 9, conforme apresentado nas figuras 1 e 2. De acordo com Santos (2020) o rio Ipojuca apresenta em média, águas mais próximas da neutralidade.

Figura 1 - Valores de pH do efluente nas ETE2 e ETE3



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Figura 2 - Valores de pH do efluente na ETE1



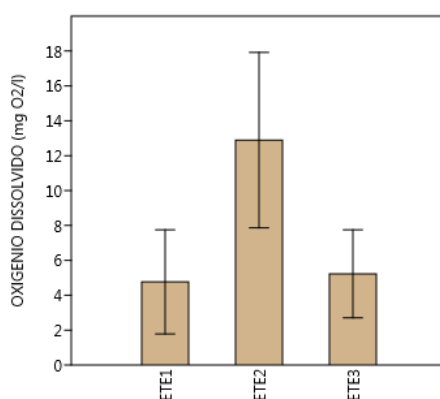
Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

O oxigênio constitui-se em um dos principais parâmetros para a avaliação do meio líquido, pois é usado para determinar o impacto de poluentes sobre os corpos hídricos. O que determina as concentrações de OD nas águas superficiais são os processos de produção do oxigênio, associados à reaeração da atmosfera, à fotossíntese e por sua entrada em efluentes de forma forçada, além dos processos de consumo de oxigênio, como a respiração dos organismos aquáticos, oxidação da matéria orgânica e demanda bentônica (MENDES *et al*, 2021).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que o valor de OD para as águas enquadradas na classe 3, não seja inferior a 4 mg/L. A Figura 3 mostra a concentração de OD nos

efluentes das ETEs quando lançados no rio Ipojuca. No período amostral, os níveis de OD ficaram acima do limite mínimo exigido pela Resolução, para rio com enquadramento na Classe 3. Ou seja, atendem ao parâmetro estabelecido.

Figura 31 - Valores de Oxigênio Dissolvido nos efluentes das ETE1, ETE2 e ETE3

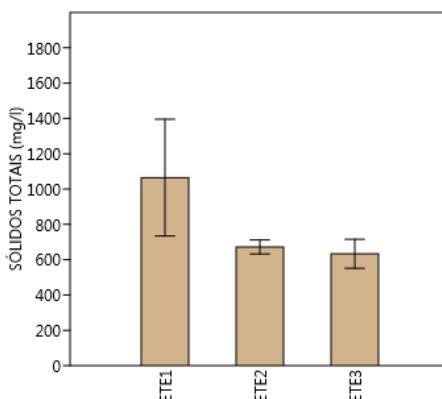


Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

A carga de sólidos do meio líquido é constituída por todos os contaminantes, exceto os gases. Estes sólidos podem ser classificados quanto ao seu tamanho e estado, características químicas e decantabilidade. De acordo com as características químicas, os sólidos totais (ST) podem ser classificados em sólidos voláteis (SV) e fixos (SF). Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, já os sólidos fixos, representam a matéria inorgânica (VON SPERLING, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece limites para os sólidos totais, fixos e voláteis, apenas para os sólidos dissolvidos totais, sendo este de até 500 mg/L para as classes de 1 a 4. O resultado das análises dos ST nas ETEs em estudo, encontram-se na Figura 4.

Figura 42 - Valores de Sólidos Totais nos efluentes das ETEs



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

O comportamento dos sólidos totais na ETE1 apresentou valor médio de 1.064,00 mg/l, enquanto a ETE2 e a ETE3 apresentaram os valores de 672,0 mg/l e 633,0 mg/l,

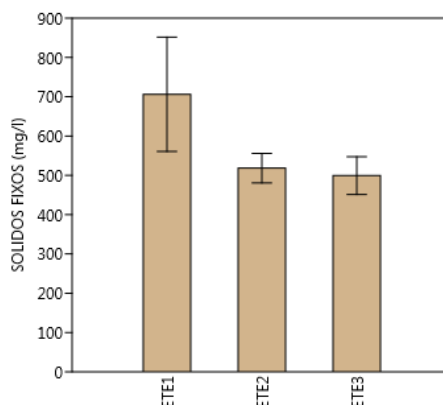


respectivamente. Admite-se que maiores concentrações de sólidos totais observadas na ETE1 deve-se ao lançamento de resíduos sólidos na zona urbana ou descarga de drenagem urbana nas redes coletoras de esgotamento sanitário, o que contribuiu bastante para o aumento dos sólidos totais.

Na Figura 5 pode ser observado os resultados das análises dos sólidos fixos nas ETEs em estudo. O comportamento dos sólidos fixos apresentou valores médios de 706,2 mg/l, 518,3 mg/l e 499,4 mg/l para as ETE1, ETE2 e ETE3, respectivamente. Maiores concentrações de sólidos fixos na ETE1 é proveniente de degradação ambiental, tal como processos erosivos devido às chuvas nas áreas ainda não urbanizadas ou ambientes degradados na cidade, fazendo com que a maior parte de matéria inorgânica ou mineral possa ser carregada para as caixas de recepção ou poços de visita da rede de esgotamento sanitário de modo a causar maiores concentrações dos sólidos fixos.

A ETE3 apresentou valores médios de sólidos fixos dentro o limite estabelecido, equanto a ETE2, valor médio, ligeiramente próximo ao preconizado na legislação. Desta forma, pode-se analisar que o tratamento do efluente está sendo eficiente para a remoção da carga de poluentes sólidos e também pode-se inferir que a região apresenta meio ambiente natural mais preservado.

Figura 5 - Valores de Sólidos Fixos nos efluentes das ETEs



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

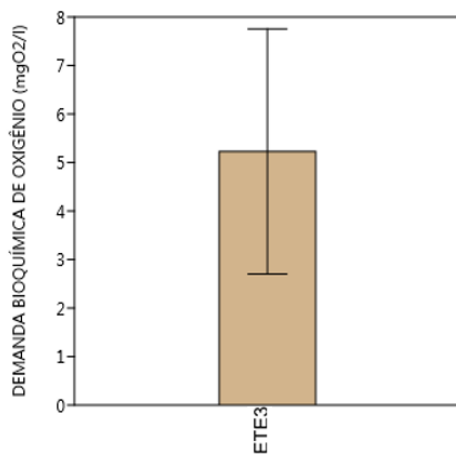
No tocante aos sólidos voláteis a ETE1 apontou o valor médio de 358,3 mg/l, enquanto as ETE2 e ETE3 apresentaram valores médios de 153,4 mg/l e a 134,0 mg/l, respectivamente. Maiores concentrações de sólidos voláteis, como no caso da ETE1, se deve à forma da matéria orgânica oriunda do processo de tratamento existente na estação.

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

Os valores referentes às amostras de DBO nos pontos de disposição das ETEs no rio Ipojuca, são mostradas nas Figuras 6 e 7. As estações apresentaram os resultados da DBO, bastante inferiores ao valor preconizado pela CONAMA nº 430/2011 e pelo CPRH, com valor

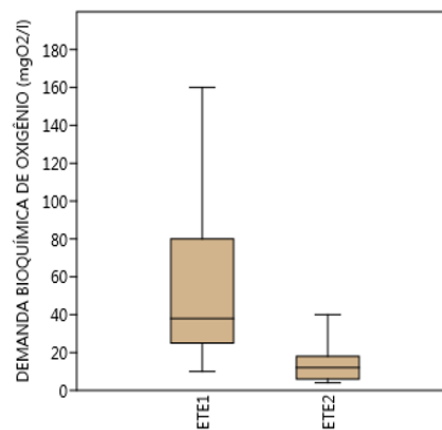
máximo de 120 mgO<sub>2</sub>/L. As ETE1, ETE2 e ETE3 apresentaram médias de 80 mgO<sub>2</sub>/L, 19 mgO<sub>2</sub>/L e 5,2 mgO<sub>2</sub>/L, respectivamente. Assim, concluímos que os sistemas estão operando satisfatoriamente na remoção de matéria orgânica. No caso da ETE1, o valor da DBO apresenta-se com maior variabilidade, podendo atingir valores superiores aos de referência (CONAMA e CPRH). A ocorrência, provavelmente, deve-se ao período das coletas, quando os sistemas de tratamento operaram com menor eficiência, permitindo que o efluente, em seu despejo, ainda contivesse matéria orgânica, o que originou tal variabilidade.

Figura 6 - Valor de DBO no efluente da ETE3



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Figura 7 - Valores de DBO nos efluentes das ETE1 e ETE2

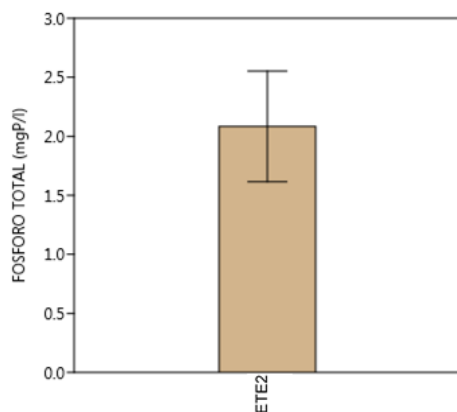


Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

O fósforo é nutriente essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização de matéria orgânica. Esgotos domésticos, usualmente podem conter carga excessiva desse nutriente (VON SPERLING, 2005).

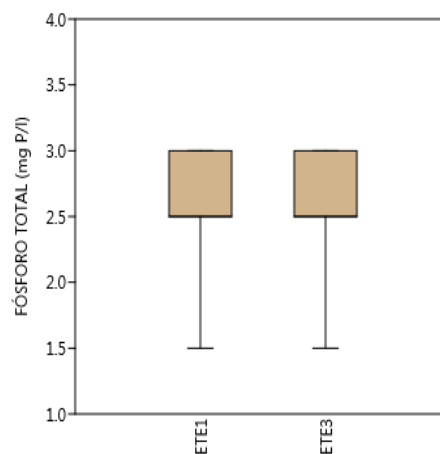
De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima de fósforo total para lançamento em rios classe 3 é de 0,15 mg/L, para ambientes lóticos. Nas Figuras 8 e 9, encontram-se as concentrações de fósforo nas ETE1, ETE2 e ETE3 ao longo do rio Ipojuca.

Figura 8 - Valores de Fósforo Total na ETE2



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Figura 93 - Valores de Fósforo Total nas ETE1 e ETE3



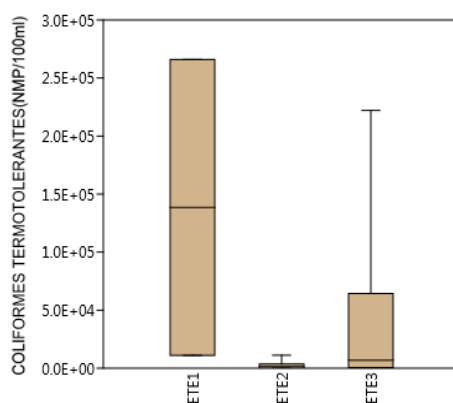
Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Os valores de fósforo nas ETE1, ETE2 e ETE3 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. Isso compõe um aspecto importante, em relação as etapas do sistema de tratamento de cada uma das ETEs, que deve ser considerado, indicando a necessidade de uma etapa de tratamento terciário para reduzir a concentração desse nutriente, nos esgotos sanitários.

Os coliformes totais são um grande grupo de bactérias presentes em fezes de seres humanos e animais que podem ser encontradas em amostras de água e solos, sejam poluídos ou não (VON SPERLING, 2005).

As ETEs apresentaram concentrações de coliformes totais acima do limite proposto pela norma técnica CPRH nº 2007 (20000 NMP/100 mL), para rios classe 3, incluindo os parâmetros de padrão de efluentes da CPRH, atingindo valores máximos de  $2,5 \times 10^5$  NMP/100 mL na ETE1;  $1,10 \times 10^4$  NMP/100 mL na ETE2 e  $2,2 \times 10^5$  NMP/100 mL na ETE3.

Figura 10 - Valores de Coliformes Totais nas ETE1, ETE2 e ETE3



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Ainda nessas mesmas estações os valores médios de coliformes totais nos doze meses de coletas foram de  $4,1 \times 10^4$  NMP/100 mL na ETE1,  $2,3 \times 10^3$  NMP/100 mL na ETE2 e  $4,7 \times 10^4$  NMP/100 mL na ETE3. Desses resultados, a média registrada pela ETE2 ( $2,3 \times 10^3$  NMP/100 mL) aponta valor inferior ao índice preconizado nas resoluções ( $4,0 \times 10^3$  NMP/100 mL).

A Tabela 2 apresenta a matriz dos resultados referentes aos autovalores para extração de componentes da matriz de correlação dos dados de qualidade dos efluentes correspondentes às ETEs estudadas.

Tabela 2 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente

Componentes	Autovalores	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada

1	8.44	49.67	8.44	49.67
2	2.45	14.40	10.89	64.08
3	1.40	8.21	12.29	72.29
4	1.36	8.02	13.65	80.31
5	1.00	5.90	14.66	86.21
6	0.58	3.43	15.24	89.64
7	0.54	3.20	15.78	92.83
8	0.44	2.59	16.22	95.42
9	0.27	1.62	16.50	97.04
10	0.19	1.09	16.68	98.13
11	0.14	0.83	16.82	98.95
12	0.08	0.48	16.90	99.43
13	0.05	0.32	16.96	99.76

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

A Tabela 3 apresenta a matriz fatorial da análise de componentes, expressando a relação entre fatores e variáveis, o que permite a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente.

Tabela 3 - Matriz fatorial da ACP dos dados de qualidade dos efluentes das ETEs

Variáveis	COMPONENTES PRINCIPAIS		
	CP1	CP2	CP3
TEMP	-0.081	0.625	0.116
pH	-0.396	0.619	0.275
ALCAL.	-0.200	-0.132	<b>0.823</b>
CLORETOS	0.409	-0.372	0.138
OD	-0.388	0.628	-0.162
DBO	<b>0.908</b>	0.132	0.130
DQO	<b>0.960</b>	0.092	0.130
S.SED.	<b>0.929</b>	0.145	0.064
S.T.	<b>0.949</b>	-0.049	-0.159
S.F.	<b>0.863</b>	-0.044	-0.209
S.V.	<b>0.947</b>	-0.049	-0.106
S.S.	<b>0.959</b>	0.194	0.041
S.S.F.	<b>0.966</b>	0.063	0.037
S.S.V.	<b>0.852</b>	0.374	0.044
P	-0.039	<b>-0.836</b>	-0.242
O & G	0.005	0.280	-0.495
COLI. TOTAIS	0.439	-0.333	0.397
Autovalor	8.44	2.45	1.40
Variância (%)	49.67	14.40	8.21
Variância acum. (%)	49.67	64.08	72.29

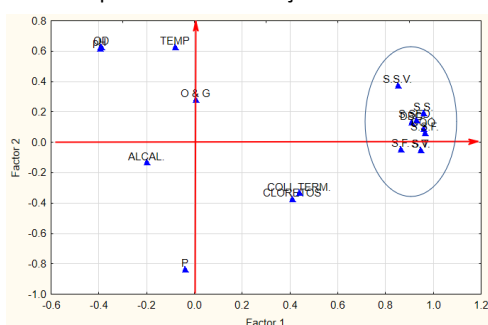
Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Observa-se na Tabela 3 que não existem cargas cruzadas ou acúmulo de cargas em apenas uma componente, portanto, optou-se por não realizar a rotação *varimax*. A CP1 explica 49,67% da variância total dos dados e é fortemente representada pela componente de sólidos (S. Sed.; ST; S.F.; S.V.; S.S.;S.S.F.;S.S.V.) e de demanda bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio. A CP2, explica 14,40% dos dados e está fortemente relacionada ao aporte de matéria

orgânica (P). A CP3 explica 8,21% da variância total dos dados, sendo relacionada com a alcalinidade.

A Figura 11 corresponde a relação entre as variáveis, que formam conjuntos agrupados por fatores. As variáveis que melhor representam a classe constituída pelos grupos sólidos, DBO e DQO, estão localizadas distantes da origem, sendo essas, as que possuem uma maior representatividade em relação à classe matéria orgânica (P). As demais variáveis contêm baixa representatividade, devido ao fato de estarem próximas à origem, em relação aos dois eixos.

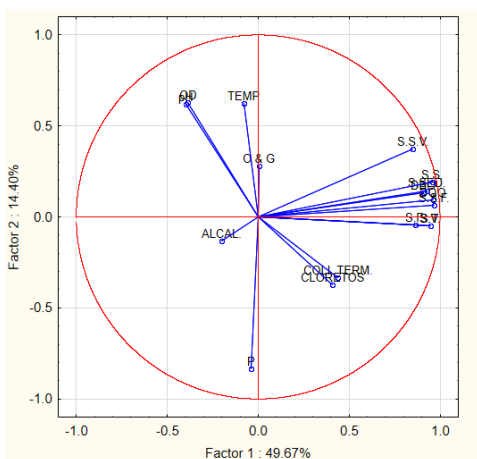
Figura 11 - Gráfico representando a relação entre fatores 1 e 2 e variáveis



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Na Figura 12 mostra o círculo de correlação unitário, exibindo a nuvem de pontos de variáveis com representação bidimensional na análise ACP dos parâmetros de qualidade dos efluentes das estações ETE1, ETE2 e ETE3.

Figura 12 - Representação bidimensional das variáveis na análise



Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Como pode-se observar, na Figura 12, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras. Isso mostra que essas variáveis, possuem a mesma representatividade no gráfico, sendo principalmente, aquelas relacionadas aos sólidos e demanda bioquímica e química da qualidade dos efluentes.

A carga de sólidos pode estar relacionada, ao escoamento superficial, depósito de resíduos sólidos na bacia de esgotamento sanitário, e ao processo natural de intemperismo dos componentes geológicos do solo (ANDRADE *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2008).

Na Figura 12, pode-se observar que as variáveis apresentaram comportamentos diferenciados em relação aos componentes principais. As variáveis em relação ao Fator1 e ao Fator2 foram responsáveis pela maior dispersão dos resultados segundo os parâmetros de qualidade dos efluentes analisados, e são aquelas relacionadas à poluição hídrica.

## 5. CONCLUSÕES

Pela análise da estatística descritiva, o parâmetro pH, somente a ETE Tacaimbó apresentou valores médios dentro do padrão definido pela Resolução CONAMA 430/2011. Ressalta-se que este parâmetro pode ser influenciado por ações antropogênicas, considerando que o município tem como principal atividade econômica, a agricultura. Observou-se, ainda, que o oxigênio dissolvido foi um parâmetro no qual todas as ETEs ultrapassaram o limite mínimo previsto na legislação, o que caracteriza efluente com qualidade adequada, com pouca probabilidade de eutrofização.

Quanto aos sólidos totais, as ETE1 e ETE2 apresentaram valores acima dos limites definidos na legislação. Tal fato pode ser associado a entrada de sedimentos provenientes da drenagem urbana que são inseridos na rede de esgoto, apesar do estado de Pernambuco permitir somente a implantação de sistemas separadores absolutos.

Tratando da DBO, percebemos que todas as ETEs operaram de forma satisfatória no período estudado, apontando valores inferiores ao preconizado na legislação. A ETE Tacaimbó apresentou grandes variações, possivelmente, em alguns períodos essa ETE tenha operado com menor eficiência, permitindo que o efluente ainda contivesse matéria orgânica, em determinadas épocas do ano.

A concentração de fósforo, em valores acima do que preconiza a Resolução CONAMA nº 430/2011 para as ETEs estudadas, indica a necessidade de adequações nos processos de tratamento, assim como o prologamento da aeração dos lodos ativados ou inclusão de uma etapa de coagulação química, para que o efluente possa atingir o grau de qualidade requerido pela legislação.

Pode-se verificar que os efluentes estudados apresentaram altas concentrações de coliformes totais, indicando a poluição do meio e conseqüentemente, a necessidade de adequar a etapa de desinfecção, seja através da concentração de cloro ou radiação, ou ainda pelo tempo de exposição a esses agentes desinfetantes.

Pela análise da estatística descritiva dos parâmetros de qualidade dos efluentes, conclui-se de forma geral, que 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; contudo, nem sempre está relacionada à deficiência no tratamento, mas pode estar associada às 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 a qualidade do efluente, bem como ações de educação e fiscalização para inibir ligações clandestinas na rede de esgoto.

Também deve-se observar a necessidade de melhoria no processo de remoção de nutrientes como o fósforo.

Corroborando com a análise da estatística descritiva, por meio da estatística multivariada, foi possível concluir que os parâmetros relativos aos sólidos (sedimentáveis, totais, fixos e voláteis), DBO e DQO são responsáveis por 49,67% da variância total dos dados, representando a componente principal 1 (CP1). A variância pode ser explicada também por falha nos procedimentos de coleta, armazenamento e transporte das amostras. As análises de DBO e DQO, em particular, exigem que a coleta, armazenamento (refrigeração) da amostra e o tempo para realização da análise seja criteriosamente seguido. Procedimentos inadequados podem influenciar fortemente os resultados das análises.

A componente principal 2 (CP2), explica 14,40% da variância dos dados e está fortemente relacionada ao aporte de matéria orgânica, no caso o fósforo, mais uma vez relacionando à poluição do meio líquido. Já a componente principal 3 (CP3) explica que 8,21% da variância total dos dados está relacionada à alcalinidade.

Podemos concluir que a maior variação dos dados está relacionada aos parâmetros que representam a poluição (matéria orgânica). Esses parâmetros são os mais importantes para identificação de poluição ambiental, portanto, aqueles que a Companhia destaca em seu controle. A variância pode tanto representar falhas nos procedimentos de coleta e armazenagem, como operação ineficiente em determinados períodos do ano.

A ETE Gravatá foi a que apresentou melhores resultados na remoção de matéria orgânica, sólidos inorgânicos e nutrientes.

Períodos de operação dos sistemas com menor eficiência não significam, obrigatoriamente, que o sistema não atende aos requisitos ou que deva ser adequadamente projetado para a demanda. Fatores externos como intrusão de drenagem urbana no sistema de esgotamento sanitário, degradação ambiental, intensidade de chuvas e ligações clandestinas podem alterar a composição do efluente, fazendo com que o sistema projetado seja ineficaz no tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH. **Norma Técnica 2007: Coliformes fecais – Padrão de lançamento para efluentes domésticos e/ou industriais**. Aprovada na 224ª Reunião do Conselho de Administração da CPRH, em 07/08/01. Recife, 2001. Disponível em [http://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/coliformes\\_fecais\\_padrao.pdf](http://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/coliformes_fecais_padrao.pdf). Acesso em 13 dez 21.

Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. **Projeto de Saneamento Ambiental da bacia do rio Ipojuca: Informe de Gestão Ambiental e Social**. Recife, 2012.





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, do Conselho CONAMA.

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.

FARIAS, F.S. **O balanço de massa das unidades componentes de uma estação de tratamento de esgoto e a utilização da estatística multivariada como ferramenta de verificação do comportamento físico, químico, bacteriológico e de metais no esgoto bruto e tratado. Estudo de caso: Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico – ETE Sideral – Belém – PA.** (dissertação) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.

MENDES, T.A.; ALVES, F.C.R.; FERREIRA, D.; MENDES, D.; CUBA, R.M.F. **Avaliação de diferentes técnicas de medição do oxigênio dissolvido para o saneamento básico.** Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. v.10, n.1, Jan.-Abr. 2021. p. 406-426. Disponível em:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/7d43/896dc0720f59fd775014a45a37ed8bdb64f6.pdf>. Acesso em 12 jun 2023.

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](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr104_0458.pdf). Acesso em 16 jun 2023.

SANTOS, R.M.S. **Avaliação da qualidade de água e presença de compostos emergente em rios no semiárido Pernambucano.** (dissertação) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2020. Disponível em:  
<https://www.ufpe.br/documents/39810/1355139/DISSERTA%C3%87%C3%83O+Renatha+Michelly+Sabino+dos+Santos.pdf/3c026b8c-8faf-43d4-814d-3e1e1ecd7f55>. Acesso em 25 jan 2023.

SCOTTÁ, J. **Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da Serra Gaúcha.** Monografia. Centro de Ciências Exatas e Tecnologias. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado - RS: 2015.

SILVA, A.L. **Aplicação da técnica do azul de metileno para verificação do nível de contaminação das águas do Rio Ipojuca.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/42863>. Acesso em 08 set 2023.

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.