



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**DIEGO BATISTA CARVALHO
JAMISSON LEAL DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO REATOR UBOX EM ESCALA REAL DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES URUMARÍ, SANTARÉM – PA**

**Santarém - Pará
2021**

**DIEGO BATISTA CARVALHO
JAMISSON LEAL DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO REATOR UBOX EM ESCALA REAL DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES URUMARÍ, SANTARÉM – PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração:
Saneamento Ambiental

Orientador:
Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

**Santarém - Pará
2021**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/ UFOPA

C331a Carvalho, Diego Batista

Avaliação da eficiência do reator Ubox em escala real da estação de tratamento de efluentes Urumarí, Santarém-PA. / Diego Batista Carvalho e Jamisson Leal da Silva. – Santarém, 2021.

48 p.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Israel Nunes Henrique

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Eficiência de remoção. 2. Legislação Ambiental. 3. Efluente. I. Silva, Jamisson Leal da. II. Henrique, Israel Nunes, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 363.728098115

FOLHA DE AVALIAÇÃO

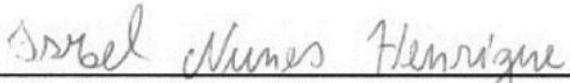
Nome do Autor: CARVALHO, Diego Batista; SILVA, Jamisson Leal
Título: **Avaliação da Eficiência do Reator UBOX em escala real da estação de tratamento de efluentes Urumari, Santarém – PA**

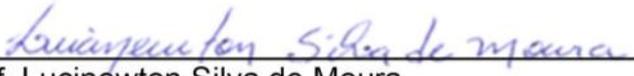
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

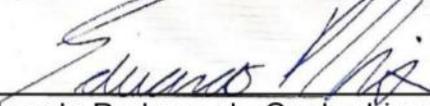
Conceito: DIEGO BATISTA CARVALHO: 8,6
JAMISSON LEAL DA SILVA: 8,7

Data da aprovação: 15/04/2021

Banca Examinadora


Orientador e Presidente
Prof. Dr. Israel Nunes Henrique
Curso Engenharia Sanitária e Ambiental /Universidade Federal do Oeste do Pará


Membro Titular
Prof. Lucinewton Silva de Moura
Curso Engenharia Sanitária e Ambiental /Universidade Federal do Oeste do Pará


Membro Titular
Me. Eduardo Pedroza da Cunha Lima
Gerente de Marketing da CETREL

Agradecimentos

Agradeço a DEUS que nunca nos abandonou e sempre cuidou dos nossos caminhos.

Aos Nossos queridos familiares, que nos apoiaram em todos os momentos em especial a mãe do aluno Diego a senhora Iranildes, e a esposa do aluno Jamisson, a jovem Senhorita Lucélia.

Ao meu Orientador Dr. Israel Nunes Henrique que acompanhou nossa vida acadêmica e dedicou o seu tempo a nos ensinar e nos incentivar a ser ótimos profissionais.

Aos Colegas de Laboratório do LabTAR, que dedicaram seu tempo e nos auxiliaram nas análises.

A Companhia de Saneamento do Estado do Pará, que cedeu amostras para que fosse possível a realização do estudo.

Aos meus queridos professores do Curso Engenharia Sanitária e Ambiental que nunca se hesitaram a repassar seus conhecimentos os alunos, e que nos acompanham desde 2015.

Aos meus membros da banca por terem aceitado o convite de colaborar com este trabalho.

Aos meus queridos colegas de sala de aula pela contribuição para o nosso aprendizado.

À todas as pessoas que nos ajudaram direta e indiretamente nessa longa jornada acadêmica.

Que Jesus Cristo possa abençoar cada um de vocês, pois não há gratidão maior que a benção do nosso Senhor Jesus.

Muito obrigado!

RESUMO

Os esgotos sanitários geralmente apresentam alta carga orgânica, substâncias químicas tóxicas e microrganismos, sendo que, uma vez dispostos sem o devido tratamento podem ocasionar danos à saúde pública e ao meio ambiente. No município de Santarém –PA, o tratamento é realizado através de reator UBOX, neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar as características físicas da ETE e realizar estudo da eficiência do reator UBOX da Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro do Uruará, através da remoção de sólidos, nutrientes e de matéria orgânica. Para caracterização física, foram realizadas visitas in' loco e registros fotográficos. As amostras foram coletadas na entrada do reator (esgoto bruto-E1), e na saída do reator (esgoto já tratado-S1), onde através de análises de parâmetros físico-químicos foi avaliada a eficiência de tratamento da ETE, através de sua capacidade de remoção de poluentes. Os resultados obtidos através das análises físico-químicas foram comparados aos valores estabelecidos pela legislação ambiental. As eficiências médias de remoção foram de 84,14%, 46,13%, 36,3%, 93,57%, 84,52%, 84,5% e 72,2% para os parâmetros respectivamente de fósforo, sólidos totais (ST), voláteis (SV), sólidos suspensos Totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), demanda química de oxigênio, demanda química de oxigênio filtrado.

Palavras-chave: Eficiência de remoção. Legislação Ambiental. Efluente

ABSTRACT

Sanitary sewers generally have a high organic load, toxic chemicals and microorganisms, and, once disposed of without proper treatment, they can cause damage to public health and the environment. In the municipality of Santarém –PA, the treatment is carried out through a UBOX reactor, in this sense, the present work has the general objective of evaluating the physical characteristics of the ETE and conducting a study of the efficiency of the UBOX reactor of the Sewage Treatment Station of Bairro do Uruará , by removing solids, nutrients and organic matter. For physical characterization, visits were made in loco and photographic records. The samples were collected at the reactor entrance (raw sewage-E1), and at the reactor exit (already treated sewage-S1), where through analysis of physical-chemical parameters, the treatment efficiency of the TEE was evaluated, through its capacity pollutant removal. The results obtained through the physical-chemical analyzes were compared to the values established by the environmental legislation. The average removal efficiencies were 84.14%, 46.13%, 36.3%, 93.57%, 84.52%, 84.5% and 72.2% for the phosphorus parameters, total solids respectively (ST), volatile (SV), Total suspended solids (SST), volatile suspended solids (SSV), chemical oxygen demand, chemical filtered oxygen demand.

Keywords: Removal efficiency. Environmental legislation. effluent

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Concepção do reator UBOX: Sistema de distribuição (1), zona de digestão anaeróbia (2), barreira de separação do estágio anaeróbico e separador de sólidos do líquido biogás (3). tanque de aeração com difusor de bolha fina (4), decantador secundário lamelar de alta taxa (5) e sistema de remoção de gás sulfídrico (6).....	17
Figura 2: Imagem aérea da estação de tratamento de esgoto Urumarí	25
Figura 3: Fluxograma dos processos de tratamento de esgoto doméstico da ETE Urumarí.	27
Figura 4: Poço de chegada do efluente e Poço de Recalque 01.....	28
Figura 5: peneira rotativa de capacidade hidráulica: 240m ³ /h.....	29
Figura 6: Caixa de Areia e Calha Parshall.....	29
Figura 7: Poço de recalque 2 e Bombas auto-escorvante.....	30
Figura 8: Reator UBOX de fluxo ascendente	30
Figura 9: Sopradores de ar tipos “roots”	31
Figura 10: Scrubber de onde o biogás é encaminhado ao flare	32
Figura 11: Tanque de Contato e Calha Parshall com garganta de 9”	32
Figura 12: Emissário	33
Figura 13: Poço de recalque em dia de chuva intensa.....	33
Figura 14: A e B Pontos de coletas	34
Figura 15: Gráfico da Média pH do efluente bruto e tratado ao longo das coletas	36
Figura 16: Gráfico da Alcalinidade do efluente bruto e tratado.....	37
Figura 17: Ácidos Graxos Voláteis esgotos bruto e tratado da ETE Urumarí.....	38

Figura 18: Resultados das análises de NTK dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	38
Figura 19: Resultados das análises de Nitrogênio Amoniacal dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí	39
Figura 20: Resultados das análises de nitrito dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	40
Figura 21: Resultados das análises de nitrato dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	40
Figura 22: Resultados das análises de fósforo total dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	41
Figura 23: Resultados das análises de ortofósforo esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	42
Figura 24: Resultados das análises de sólidos totais dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	42
Figura 25: Resultados das análises de SVT dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	43
Figura 26: Resultados das análises de SST dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí	43
Figura 27: Resultados das análises de SSV dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	44
Figura 28 Resultados das análises de DQOT dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	45
Figura 29: Resultados das análises de DQOf dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.	45

LISTA DE SIGLAS

AGV	Ácidos graxos Voláteis
APHA	American Public Health Association
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQOF	Demanda Química de Oxigênio Filtrado
E1	Entrada do efluente
EB	Efluente Bruto
ET	Efluente Tratado
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FT	Fósforo Total
N2	Nitrogênio Molecular
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NO ³⁻	Nitrato
NTK	Nitrogênio Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
Q1	Primeiro quartil
Q3	Terceiro quartil
S1	Saída do afluente
SS	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SVT	Sólidos Voláteis totais
TA	Taxa de aplicação
TDH	Tempo de Detenção Hídrica
TRH	Tempo de retenção hidráulico
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blank

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO:	13
2.1 Geral:	13
2.2 Especifico:	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Esgotos domésticos	13
3.2 Processos de Tratamento	14
3.2.1 Tratamento aeróbio	15
3.2.2 Tratamento anaeróbio	15
3.3 Estação de tratamento compactas	16
3.4 Reator DBOX	16
3.5 Parâmetros de Análise de Qualidade do Efluente	17
3.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)	17
3.5.2 Alcalinidade	18
3.5.3 Óleos e Graxas	19
3.5.4 Compostos nitrogenados.....	19
3.5.5 Fósforo total (FT).....	20
3.5.6 Sólidos.....	21
3.5.7 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5)	21
3.5.8 Demanda química de oxigênio (DQO).....	22
3.5.9 Relação DQO-DBO	23
3.6 Legislação ambiental	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Área de estudo	25
4.2 Caracterização da ETE Urumarí	27
4.3 Coleta e Análise dos Efluentes	34
4.5 Análise estatística	35
5 RESULTADOS E DISCURSÃO	36
5.1 Temperatura	36
5.2 pH	36
5.3 Alcalinidade	37
5.4 Ácidos Graxos Voláteis AGV	37

5.5 Nitrogênio Total, Nitrogênio Amônia Nitrito e Nitrato	38
5.6 Fósforo Total (P-Total) e Ortofosfato.....	41
5.7 Análise dos sólidos.....	42
5.8 DQOT e DQO filtrado.....	44
5.9 Comparação com a legislação	46
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização desordenada gera hoje sérios problemas ambientais relacionados com a qualidade da água. As cidades já não podem ser abastecidas por fontes em suas vizinhanças, pois por falta de um adequado sistema de esgotamento sanitário, as águas próximas tornaram-se inadequadas para o abastecimento público, demonstrando o uso pouco racional e insustentável da água. Assim a busca por novas tecnologias de tratamento de esgoto tornou-se essencial para um crescimento sustentável das cidades.

Nesse sentido, em 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu a Resolução N° 357 (BRASIL, 2005), visando classificar os corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e também estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes. Além desta, o CONAMA criou também a Resolução N° 430 (BRASIL, 2011) que completa e altera, em partes, a Resolução N° 357.

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). Não existe um sistema de tratamento padrão para ser utilizado, pois vários fatores irão influenciar na escolha das opções tecnológicas, tais como, disponibilidade de área, qualidade desejada para o efluente tratado, da legislação referente ao local, entre outros (PIMENTA et al., 2002).

As estações de tratamento de esgotos projetadas e postas em operação que unem as características dos tratamentos anaeróbio e aeróbio, com vistas à melhoria da qualidade dos efluentes finais lançados no meio ambiente estão entre as mais preferenciadas (Ferraz, 2014).

Os sistemas anaeróbios têm como principais características a reduzida utilização de energia elétrica e a facilidade de operação em regiões de clima tropical, pois as altas temperaturas favorecem o processo de digestão da matéria orgânica. Os sistemas aeróbios são amplamente utilizados, principalmente, pelo seu alto poder de redução de cargas orgânicas. Somando-se essas formas de tratamento, pode-se conceber estações de tratamento com menores requisitos de área para implantação, fato de extrema importância frente ao rápido crescimento dos centros urbanos.

Surgindo como uma nova tecnologia o reator misto UBOX que apresenta tratamento anaeróbio e aeróbio em um único tanque específico para tratar esgotos domésticos, estão sendo implantados em algumas cidades do Brasil como em Santarém no estado do Pará. A cidade já possui duas estações de tratamento de esgoto (ETE) com esta tecnologia.

O monitoramento ambiental dos parâmetros indicadores de qualidade dos efluentes domésticos em sistemas de tratamento de esgoto é uma ferramenta útil para garantir a eficiência da ETE. Sendo assim a análise da eficiência do reator da ETE-Urumarí se torna relevante para o desenvolvimento de pesquisa e análise dos fatores anteriormente citados e que venham a contribuir efetivamente com a comunidade acadêmica.

2 OBJETIVO:

2.1 Geral:

- Avaliar as características físicas e de eficiência do reator UBOX da Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro do Uruará no município de Santarém Pará através de análises físico-químicas do afluente e efluente em coletas periódicas

2.2 Especifico:

- Caracterizar a infraestrutura ETE Uruará e pontuar problemas caso existam.
- Avaliar os parâmetros físico-químicos do efluente de entrada e saída do reator.
- Comparar com a legislação vigente os parâmetros físicos – químicos do efluente de saída do reator.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Esgotos domésticos

O termo esgoto é utilizado para designar águas residuárias. Neste contexto a norma NBR 9648/1986 esclarece que esgoto sanitário corresponde a um despejo

líquido resultante dos acréscimos de esgotos domésticos e de indústrias, águas de infiltração e contribuição pluvial.

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), A composição do esgoto sanitário é formada por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo 99,9% com predominância de água e uma pequena parte de sólidos representando 0,1% do volume total. A matéria orgânica corresponde a 70% dos sólidos totais do esgoto sanitário, sendo 30% referente à matéria inorgânica com grande representatividade de areia. Devido ao percentual de 0,1% de sólidos presentes nos esgotos verifica-se a necessidade em realizar o tratamento do efluente sob condições específicas de forma a propiciar a destinação final do mesmo, (Nuvolari,2011).

3.2 Processos de Tratamento

O tratamento preliminar refere-se basicamente à remoção de sólidos grosseiros, como pedaços de madeira, tecidos, areia, plástico, papel e cabelo. A remoção ocorre por meio de grades e desarenadores. Depois de separados do esgoto, esses sólidos devem ser dispostos de maneira adequada, devendo ser direcionados preferencialmente a um aterro sanitário.

O tratamento primário tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis por meio de decantadores. Esses sólidos que se acumulam no fundo dos decantadores são denominados lodo primário e, depois de separados, são direcionados para outras unidades de tratamento responsáveis pelo seu adensamento, digestão biológica, secagem e disposição final adequada. Além dos sólidos sedimentáveis, o tratamento primário também remove sólidos flutuantes que se acumulam na parte superior do decantador. Os sólidos flutuantes são normalmente ricos em óleos e gorduras (graxas), e esse material também é removido e direcionado para outras unidades responsáveis pelo seu tratamento específico, junto com o lodo primário. O esgoto é então direcionado para a próxima etapa de tratamento, denominada tratamento secundário.

O tratamento secundário é responsável pela degradação da matéria orgânica dissolvida do esgoto e isso é feito por uma unidade de tratamento biológico, na qual bactérias e outros microrganismos se alimentam de matéria orgânica, removendo-a assim do esgoto. Tais microrganismos formam uma fração de sólidos conhecida como lodo secundário. Esses sólidos devem passar por outras unidades para o seu

adensamento, digestão, secagem e disposição final. Por último, o tratamento terciário envolve a remoção de componentes específicos, como os nutrientes – Nitrogênio e Fósforo – e a desinfecção do esgoto tratado. Essa etapa do tratamento é pouco comum nas ETEs brasileiras (TONETTI,2018).

3.2.1 Tratamento aeróbio

O tratamento aeróbio é definido como um sistema no qual uma massa biológica cresce, floclula e é continuamente recirculada e colocada em contato com a matéria orgânica do esgoto afluyente em presença de oxigênio (fonte de energia aos microrganismos), podendo ser proveniente de meio natural ou artificial (aeradores mecânicos ou difusores de ar injetado). Como desvantagem esses tipos de sistema possuem um consumo considerável de energia e produzem mais lodo que os anaeróbios, além de maior manutenção e cuidados (ZEEMAN; LETTINGA, 1999; SANEPAR, 2005).

3.2.2 Tratamento anaeróbio

Este tipo de tratamento é caracterizado por não fazer uso oxigênio e também de não necessitar de fontes artificiais do mesmo, onde o afluyente que apresenta concentrações insignificantes deste componente, iniciando o início do processo anaeróbio de tratamento (ZEEMAN; LETTINGA, 1999).

Com a total exaustão do oxigênio, o nitrato passa a ser a principal fonte de produção de energia para os microrganismos. Os microrganismos que utilizam oxigênio no processo da respiração são responsáveis pela conversão do nitrato em nitrogênio molecular (N_2), ocorrendo, portanto, a desnitrificação do efluente. Quando os nitratos também se extinguem, as condições passam a ser estritamente anaeróbias, onde sulfatos serão convertidos em sulfetos e então o dióxido de carbono será convertido em metano, levando à degradação da matéria orgânica (SANEPAR, 2005).

Os sistemas anaeróbios quando aplicados ao tratamento de efluente urbano atingem um alto grau de eficiência e aplicação, que se dá devido às características resultantes do processo, tal como baixo custo e produção de sólidos, simplicidade operacional, alta eficiência, condições ambientais favoráveis como altas temperaturas,

dentre outras (MORAES; FERREIRA, 2011). Esses parâmetros contribuem para a atual expansão deste tipo de tratamento no Brasil.

3.3 Estação de tratamento compactas

Para a definição acertada da tecnologia a ser implantada em um empreendimento, é importante ser avaliado o espaço físico do mesmo. Para alguns empreendimentos, o baixo volume de efluente bruto é agregado ao fator espaço físico, dando condições à implantação de uma ETE compacta, como em condomínios residenciais e comerciais ou em pequenos municípios. Segundo Barbosa (2009), A utilização de ETEs compactas tem sido apresentada como uma alternativa viável associada a um sistema simplificado de tratamento de efluentes que conjuga baixos custos de implantação, manutenção e operação. Os processos de tratamento adotados para ETEs compactas podem ser anaeróbios, aeróbios ou a combinação de anaeróbio e aeróbio.

Os sistemas anaeróbios, apesar de consumir menos energia e produzir menos lodo que os sistemas aeróbios, produzem efluente que não apresenta características suficientes do ponto de vista legal e ambiental de lançamento, sendo necessária adição de um pós-tratamento.

Os sistemas aeróbios, por sua vez, apesar de promoverem uma excelente remoção de matéria orgânica, são bastante onerosos pois necessitam de energia para aeração e produzem muito lodo de baixa concentração e alto grau de instabilidade. Assim, utilizando uma tecnologia mista, é possível promover um equilíbrio entre as vantagens e desvantagens dos sistemas anaeróbios e aeróbios. Um sistema bastante viável consiste em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), seguido de biofiltro aerado submerso, decantador e posterior desinfecção com cloro.

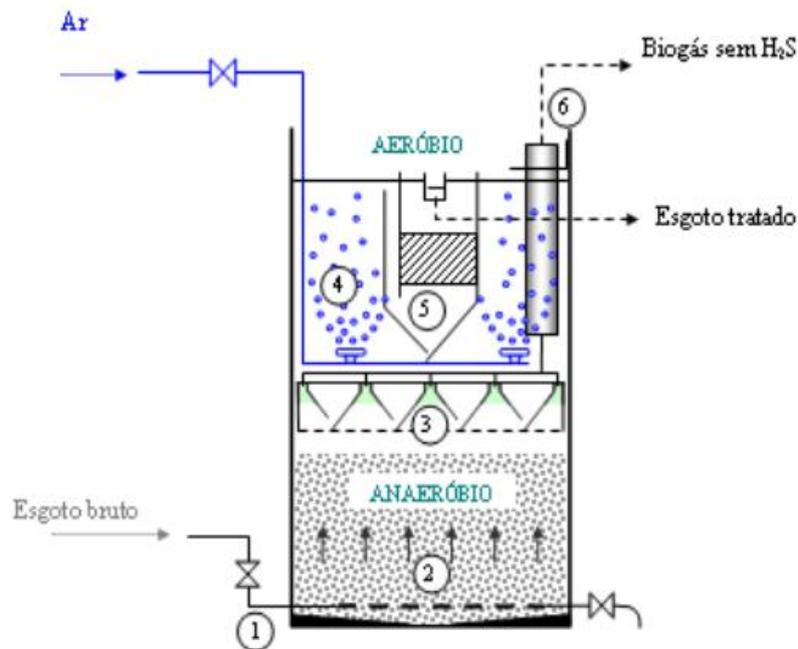
3.4 Reator DBOX

No reator DBOX, cerca de 70% a 75%, em média, da carga orgânica presente no esgoto, é degradada por processo biológico anaeróbio. O processo aeróbio é utilizado somente para complementar o processo de tratamento, visando degradar a matéria orgânica remanescente, cerca de 25% a 35% da carga orgânica total afluente,

razão pela qual o seu consumo de energia é muito inferior ao de um processo totalmente aeróbio.

Reator DBOX é baseada na integração de quatro processos (anaeróbio, aeróbio, decantação e tratamento do biogás) em um único reator. Este reator foi desenvolvido pela empresa holandesa Paques BV, líder em processos de tratamento biológico de efluentes, e procura incorporar, além de um alto grau de desenvolvimento tecnológico e pesquisas, os anseios da sociedade relacionados à exalação de odores desagradáveis, custos e impactos paisagísticos. (Melo Azevedo, 2016)

Figura 1- Concepção do reator DBOX: Sistema de distribuição (1), zona de digestão anaeróbia (2), barreira de separação do estágio anaeróbio e separador de sólidos/liquido/biogás (3). Tanque de aeração com difusa de bolha fina (4), decantador secundário lamelar de alta taxa (5) e sistema de remoção de gás sulfídrico (6).



Fonte: Melo Azevedo 2016

3.5 Parâmetros de Análise de Qualidade do Efluente

3.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Informa condição de acidez, basicidade ou neutralidade da água sendo influenciado pela presença de gases e/ou sólidos dissolvidos. Seu valor tem efeito direto sobre a fisiologia de diversas espécies habitantes do meio aquático, também

sendo importante em processos relacionados ao tratamento de efluentes. A precipitação de metais para sua remoção, por exemplo, só ocorre em pH elevado ao passo que a oxidação de fenóis só em pH baixo. O ideal é que as águas se mantenham com um pH próximo a neutralidade, para que os microrganismos atuantes no tratamento biológico de esgotos, bem como ecossistemas aquáticos não sejam afetados

3.5.2 Alcalinidade

A alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos. Outros sais de ácidos fracos inorgânicos, como boratos, silicatos, fosfatos, ou de ácidos orgânicos, como sais de ácido húmico, ácido acético etc., também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos normalmente são desconsiderados por serem pouco representativos. Além disto, esta particularização permite o cálculo dos três componentes da alcalinidade, individualmente. Os bicarbonatos e, em menor extensão, os carbonatos, que são menos solúveis, dissolvem-se na água devido à sua passagem pelo solo. Se este solo for rico em calcário, o gás carbônico da água o solubiliza, transformando-o em bicarbonato,

Conforme a reação 01:



Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas (eutrofizadas), sendo que em período de intensa insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades. A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais decorre da descarga de efluentes de indústrias, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada. Em águas tratadas, pode-se registrar a presença de alcalinidade de hidróxidos em águas abrandadas pela cal. (CETESB, 2019).

3.5.3 Óleos e Graxas

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, sendo normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas.

Óleos e graxas, de acordo com o procedimento analítico empregado, consistem no conjunto de substâncias que consegue ser extraído da amostra por determinado solvente e que não se volatiliza durante a evaporação do solvente a 100°C. Essas substâncias, solúveis em n-hexano, compreendem ácidos graxos, gorduras animais, sabões, graxas, óleos vegetais, ceras, óleos minerais etc. Este parâmetro costuma ser identificado também por MSH – material solúvel em hexano.

Os despejos de origem industrial são os que mais contribuem para o aumento de matérias graxas nos corpos d'água, entre eles os de refinarias, frigoríficos, saboarias etc.

A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e causam problemas no tratamento d'água quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público. A presença de material graxo nos corpos hídricos, além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo, dessa maneira, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água.

Em seu processo de decomposição, os óleos e graxas reduzem o oxigênio dissolvido, devido à elevação da DBO_{5,20} e da DQO, causando prejuízos ao ecossistema aquático. Na legislação brasileira a recomendação é de que os óleos e as graxas sejam virtualmente ausentes para os corpos d'água de classes 1, 2 e 3.

3.5.4 Compostos nitrogenados

O nitrogênio presente em efluentes se apresenta em quatro formas: o nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrito e nitrato. Em efluentes domésticos, o nitrogênio presente está relacionado principalmente como nitrogênio amoniacal (aproximadamente 60%) e nitrogênio orgânico (aproximadamente 40%), já nitrito e

nitrato aparecem em pequenas quantidades, e representam menos de 1% do nitrogênio total do sistema. (NAVAL; COUTO, 2005).

Elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal na água indicam a deficiência de OD e grande quantidade de matéria orgânica em decomposição. Compostos nitrogenados sofrem decomposição até tornarem-se nitratos, nessa etapa, um composto intermediário é formado, sendo este composto o nitrogênio amoniacal. Portanto, a presença desse composto indica poluição recente do corpo d'água, tornando-se um importante parâmetro a ser analisado para verificar a qualidade das águas (LIMBERGER; CORRÊA, 2005; CETESB, 2008).

O nitrogênio amoniacal tem sido largamente citado por sua ação tóxica às algas, zooplâncton e aos peixes afetando o equilíbrio natural do meio. Essa amônia gasosa presente no efluente inibe processos de fotossíntese das algas, já que atravessam as membranas biológicas e alteram o sistema fotossintético das mesmas (NAVAL; COUTO, 2005)

O nitrato é proveniente da reação de oxidação da amônia a nitrato, reação essa chamada de nitrificação (VON SPERLING, 1996).

Conforme a reação 2:



Em geral, nas águas superficiais esse íon é encontrado em baixa quantidade, no entanto a sua ingestão pode causar uma doença chamada Metahemoglobinemia, que acomete principalmente crianças. Também podem ocorrer formação de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (FREITAS et al., 2001).

3.5.5 Fósforo total (FT)

O fósforo aparece em águas naturais devidos, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como

a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico.

3.5.6 Sólidos

De acordo com Von Sperling (2018b), os sólidos presentes nas águas residuárias são classificados segundo o seu tamanho e estado, as suas características químicas e a sua decantabilidade:

Classificação por tamanho e estado:

- Sólidos Suspensos (SS): sólidos que são retidos por filtração em papel de filtro com porosidade determinada (as dimensões variam de 0,45 a 2,0 μm);
- Sólidos Dissolvidos (SD): sólidos que não são retidos no papel de filtro.

Classificação pelas características químicas:

- Sólidos Voláteis (SV): é a matéria orgânica obtida pela diferença entre sólidos totais e fixos;
- Sólidos Fixos (SF): é a matéria inorgânica presente após calcinação a 500°C.

Classificação pela sedimentabilidade:

- Sólidos Sedimentáveis (SSed): sólidos capazes de sedimentar em, aproximadamente, 1 hora;
- Sólidos não Sedimentáveis: parte dos sólidos que não se sedimentam.

Além desses tipos de sólidos, existem os Sólidos Totais (ST) que representam toda a matéria remanescente após a evaporação da água.

3.5.7 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5)

Essa variável representa a medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica contida na água, mediante processos biológicos aeróbicos. A DBO_5 é convencionalmente usada, pois considera a medida após 5 dias de

incubação a 20°C, associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos.

Nesta análise é considerado o metabolismo dos microrganismos heterotróficos onde os compostos orgânicos biodegradáveis são transformados em produtos finais estáveis ou mineralizados, tais como: água, gás carbônico, entre outros. Assim, neste processo, há consumo de oxigênio da água e liberação da energia contida nas ligações químicas das moléculas decompostas.

Os maiores aumentos em termos de DBO₅, num corpo de água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir a completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2019).

3.5.8 Demanda química de oxigênio (DQO)

Esse parâmetro está relacionado à quantidade de oxigênio que é utilizada no processo de oxidação química da matéria orgânica e inorgânica presente nos efluentes, atuando como um indicador da quantidade de poluição presente no efluente e do potencial impacto ambiental da descarga de efluentes no corpo hídrico. No entanto pela DQO não é possível identificar os materiais oxidados, nem permite analisar se os materiais são compostos orgânicos biodegradáveis, compostos não biodegradáveis ou compostos inorgânicos oxidáveis (MORENO-CASILLAS et al., 2007).

Braga et al. (2012) ressalta que a análise dos valores de DQO em efluentes é uma das mais expressivas análises para determinação do seu grau de poluição. Realizadas as análises em relação à DQO, o valor obtido indica uma estimativa do consumo de oxigênio que um efluente lançado diretamente em um corpo hídrico iria requerer, caso a quantidade da matéria orgânica presente nesse efluente pudesse ser mineralizada, sendo que um maior valor do parâmetro DQO indica um maior teor de poluição do efluente em questão (LINS, 2010).

Geralmente as análises relacionadas à DQO são realizadas em um período mais curto que as de DBO₅, e também tornam possível detectar substâncias que são resistentes a degradação biológica. De uma maneira geral, pode-se afirmar que a DQO trata-se do valor da demanda total de oxigênio, sendo a soma das demandas

requeridas por substâncias não biodegradáveis juntamente com as biodegradáveis (ROCHA et al., 2004).

3.5.9 Relação DQO-DBO

A demanda química de oxigênio (DQO) indica a quantidade de oxigênio que seria consumido através de reações químicas de oxidação de diversos compostos orgânicos presentes, sem a intervenção de microrganismos, indicando de maneira indireta a quantidade de matéria orgânica presente no líquido.

A determinação da DQO é muito mais simples e rápida que a DBO, sendo assim a determinação da DQO cresce em importância, principalmente no caso de controles de efluentes ou de estações de tratamento. Pelo fato de ser uma oxidação química, na DQO todo o material existente no efluente (biodegradável ou não) é oxidado. Dessa forma os resultados de DQO são maiores ou iguais aos resultados da DBO. Para certos resíduos é possível estabelecer uma relação empírica entre estes dois parâmetros.

O ensaio da DQO se emprega tanto para águas naturais como residuárias industriais e municipais, possuindo como vantagem a rapidez e simplicidade na determinação: aproximadamente 3 horas para a DQO e no mínimo 5 dias para a DBO. Além dessas vantagens, a DQO pode ser empregada em casos onde não se pode determinar DBO com a exatidão necessária, como por exemplo, quando da presença de compostos tóxicos para os microrganismos.

O teste de DQO torna-se bastante importante para os estudos de corpos d'água, resíduos industriais e controle de esgotos sanitários.

3.6 Legislação ambiental

A fim de estabelecer normas e padrões para emissão de efluentes em corpos hídricos, bem como manter a qualidade de águas e evitar desgaste e poluição destes recursos naturais e ainda garantir proteção da saúde, são necessárias legislações que visem o controle do lançamento de poluentes no meio ambiente.

Em âmbito nacional a legislação que regulamenta o lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos é a RESOLUÇÃO CONAMA Nº357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. ela e

complementada e alterada pela RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 para aplicação em efluentes sanitários (BRASIL,2011)

O Rio Tapajós, no entorno da cidade de Santarém, foi classificado como pertencente à classe 2 de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA, por abastecer cidades que fazem tratamento convencional na água do rio e populações ribeirinhas que não utilizam qualquer tratamento.

A Tabela 1 mostra os valores máximos de emissão de efluentes determinados pela legislação nacional dos parâmetros analisados no presente trabalho, para seu lançamento em recursos hídricos.

Tabela 1- Valores dos Parâmetros de Lançamento de Efluentes em Recursos Hídricos

Parâmetros	Limite CONAMA 357/2005 – 430/2011
pH	05-09
Temperatura	>40C°
Oleo e graxos	>100 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	até 1 ml/L
DBO ₅	120 mg/L ou ≥ 60 %
NTK	2,18 mg/L
Nitrogênio Amoniacal	20,0 mg/L
Nitrito	0,1 mg/L N
Nitrato	10,0 mg/L N
Fosforo	3,7 mg/L para pH ≤7,5

Fonte: Adaptado de CONAMA 430/2011

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Estação de Tratamento de esgoto Urumari, localizada na latitude $-02^{\circ} 26'17,9304''$ e longitude $-054^{\circ} 41'18,4920''$, no bairro do Uruará na zona leste da cidade de Santarém-PA, na confluência das ruas Nossa Senhora da Conceição e Alameda Transmaica.

Figura 2- Imagem aérea da estação de tratamento de esgoto Urumari



Fonte: Maxar Technologies 2021/Google Earth

De acordo com o manual técnico operacional da ETE, o sistema é constituído fundamentalmente de duas etapas compreendendo os seguintes níveis de tratamento: tratamento preliminar, primário e secundário e terciário.

No tratamento primário ocorre a remoção dos sólidos grosseiros por meio de peneira rotativa com alimentação interna, posteriormente o afluente é direcionado para uma caixa de areia que tem como função remover os sólidos sedimentáveis de alta capacidade de sedimentação. No tratamento secundário, ocorre a remoção da matéria orgânica a partir do processo biológico anaeróbio + aeróbio integrado em um único tanque, sendo a seção anaeróbia é um reator de fluxo ascendente (UASB) e a seção aeróbia lodo ativado com ar difuso seguido de decantador lamelar complementado por unidades de coleta/queima de gás e filtro de areia.

As características fundamentais dos esgotos sanitários, consideradas no projeto da ETE – DBOX, de acordo com o manual fornecido pela Dedini S/A Indústrias de Base

Quadro 1- Parâmetros de Dimensionamento

PARÂMETROS	VALORES
Vazão diária (m ³ /dia)	3.840
Vazão média (m ³ /hora)	160 (44,44 L/s)
DQO (mg/l)	615
DBO ₅ (mg/l) (20 °C)	315
Sólidos Suspensos Totais (mg/l)	200 (Padrão)
Temperatura (°C)	18 a 30
Nitrogênio (NTK) (mg/l)	25 (Padrão)
Fósforo (P-PO ₄) (mg/l)	6 (Padrão)
pH	6,5 - 7,0

Fonte: Manual de operação ETE- Urumari Dedini

Para obtenção dos parâmetros acima, foram consideradas:

- Contribuição hidráulica: 165-192 litros/ habitante. Dia
- Contribuição orgânica: 54 gramas de DBO/ habitante. Dia

Portanto a ETE foi dimensionada considerando uma população equivalente de 20.000 - 25.000 habitantes.

Tratamento Anaeróbio Reator Anaeróbio (UASB):

- Vazão Alimentação Reator 160 m³/h (vazão regularizada para cada reator)
- Volume Reator Anaeróbio 815 m³ (cada reator)
- Taxa de aplicação (TA)

$$TA = \frac{160 \times 0,615 \times 24}{815} = 2,9 \text{ Kg DQO/m}^3 \cdot \text{dia}$$

Tempo de retenção hidráulico

$$TRH = \frac{815}{160} = 5,0 \text{ h}$$

Pós-tratamento Aeróbio: Tanque de Aeração (Lodos Ativados)

- Volume Reator Aeróbio 815 m³
- Taxa de Aplicação

$$TA = \frac{160 \times 0,105 \times 24}{815} = 0,49 \text{ Kg DBO/m}^3 \cdot \text{dia}$$

-Tempo de retenção hidráulico

$$TRH = \frac{815}{160} = 5,0 \text{ h}$$

Decantador Secundário (Lamelar) dados do projeto

Decantador 24,00 x 2,4 m, Área 57,60 m²

Área total para Decantação de 57,60 m²

Carga Superficial (160 / 57,60) = 2,8 m³/m². h

Volume 150 m³

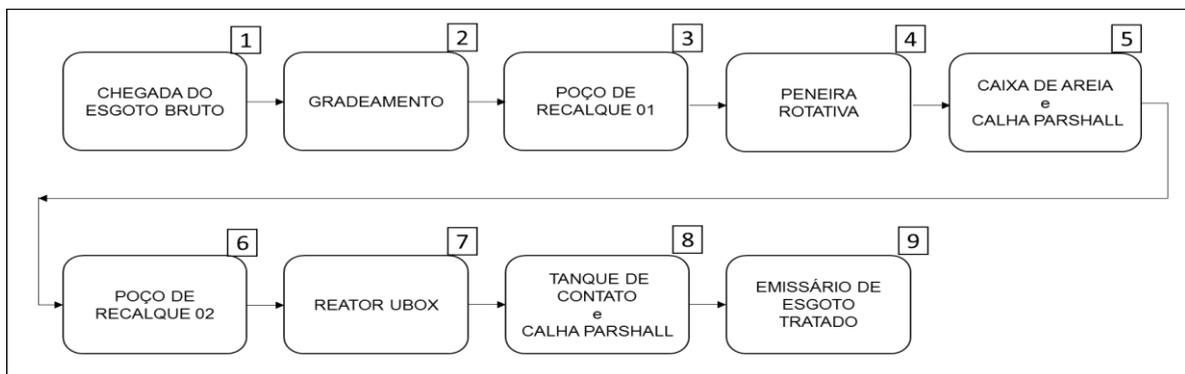
Tempo Retenção Hidráulica (150 / 160) = 0,9 h

Atualmente a ETE de acordo com a Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). Atende um total de aproximadamente 912 residências, que produzem em média um volume de 710 m³ por dia com uma vazão média de 32m³/h. Fazendo com que o tempo de retenção hidráulico (TRH) na seção Anaeróbio seja de 25h e na aeróbia também de 25h fazendo com que o tempo total de retenção hidráulica seja superior a 2 dias.

4.2 Caracterização da ETE Urumarí

Para realizar a caracterização da ETE Urumarí foram realizadas visitas no período de janeiro a dezembro de 2019. Desta forma, foi realizado um registro fotográfico de todas as etapas de tratamento existentes na ETE (figura 03), sendo também realizada uma descrição destas unidades e eventuais problemas construtivos ou operacionais.

Figura 3 - Fluxograma dos processos de tratamento de esgoto doméstico da ETE Urumarí.



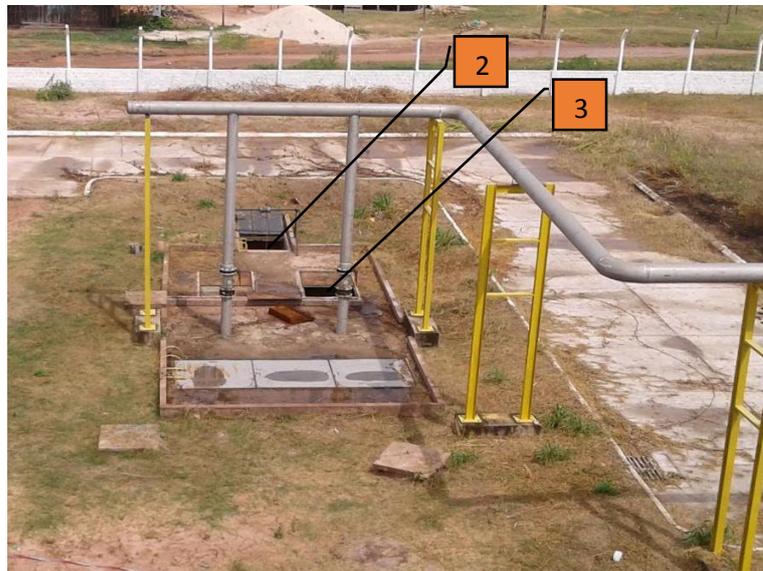
Fonte: Elaborado pelo próprio Autor.

1 O esgoto sanitário gerado na área da bacia Urumarí: é conduzido à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por meio de um coletor tronco de profundidade de chegada de 4m na estação.

2 Gradeamento: Encontra-se no poço de chegada (Figura 4) numa profundidade de 4m, com espaçamento ente grades de 2 cm.

3 Poço de recalque 01 (Figura 4): Recebe o esgoto após passar pelo gradeamento, possui duas bombas Submersível/Vertical de vazão de 180m³/h usadas para enviar o efluente da elevatória inicial para as peneiras rotativa

Figura 4 - Poço de chegada do efluente e Poço de Recalque 01



Fonte: Próprio Autor

4 Peneira Rotativa de fluxo interno (Figura 5): Com abertura de malha contínua de 1mm². Sua função é remover materiais sólidos de pequenas dimensões, que venham a prejudicar o processo de tratamento, bem como promover a “lavagem” dos resíduos, isto é, a desagregação de materiais orgânicos pastosos ou semissólidos putrescíveis, reduzindo o problema de exalação de odores desagradáveis provenientes do acondicionamento destes resíduos.

Figura 5 - Peneira Rotativa de capacidade hidráulica: 240m³/h



Fonte: Próprio Autor

5 Caixa de Areia e Calha Parshall (Figura 6): Na etapa final do tratamento preliminar o esgoto peneirado passa por operação de desarenação, onde os resíduos com densidade superior a 2,65 g/cm³ (praticamente areia, dentre outros inertes) são removidos, proporcionando condições adequadas para a etapa subsequente de tratamento biológico. Um dos canais da caixa de areia irá atuar sempre em regime de stand-by. No final do canal da caixa de areia foi instalada uma Calha Parshall para realização de meda da vazão do afluente

Figura 6 - Caixa de Areia e Calha Parshall



Fonte: Próprio Autor

6 Poço de Recalque 2: Recebe o esgoto após passar pela caixa de areia, que será enviado ao reator (UBOX) através de bombas centrífugas autoescorvantes, o poço funciona com duas bombas de vazão de 180 m³/h, sendo uma de reserva (Figura 7)

Figura 7 - Poço de recalque 2 e Bombas auto-escorvante



Fonte: Próprio Autor

7 Reator UBOX: Reator UBOX (Figura 8) de fluxo ascendente é baseada na integração de quatro processos (anaeróbio, aeróbio, decantação e tratamento do biogás) em um único reator. Este reator foi desenvolvido pela empresa holandesa Paques BV, líder em processos de tratamento biológico de efluentes. O reator da ETE Urumarí foi dimensionado para uma população de 20.000 - 25.000 habitantes, com contribuição hidráulica de 165-192 litros/habitante/dia.

Figura 8 - Reator UBOX de fluxo ascendente



Fonte: Próprio Autor

No reator UBOX, cerca de 70% a 75%, em média, da carga orgânica presente no esgoto, é degradada por processo biológico anaeróbico. O processo aeróbico é utilizado somente para complementar o processo de tratamento, visando degradar a matéria orgânica remanescente, cerca de 25% a 35% da carga orgânica total afluyente, razão pela qual o seu consumo de energia é muito inferior ao de um processo totalmente aeróbico (Melo 2016).

O fornecimento de ar é feito por meio de dois sopradores de ar tipos “roots”, sendo que um deles irá operar em regime stand-by. (Figura 9).

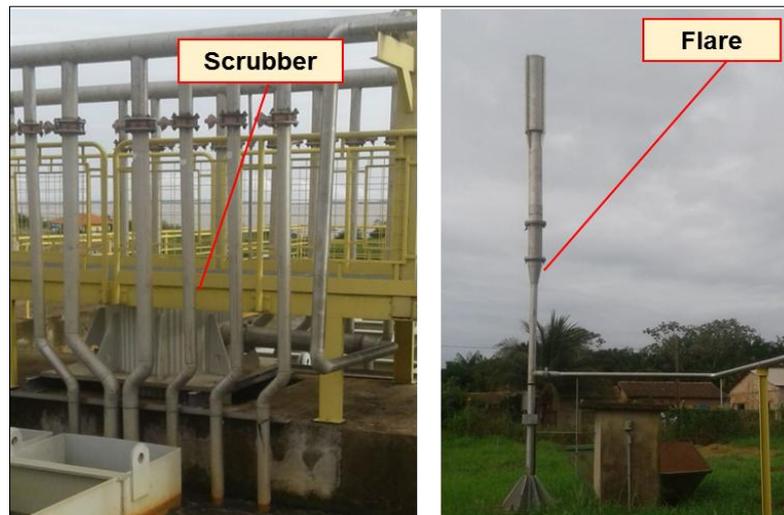
Figura 9 - Sopradores de ar tipos “roots”



Fonte: Próprio Autor

O biogás produzido no reator anaeróbico é canalizado e conduzido ao scrubber localizado no tanque de aeração. O tratamento do biogás visa principalmente à oxidação do gás sulfídrico, por via biológica, sem adição de insumos de qualquer natureza, para que este permaneça na fase líquida. Este dispositivo atua também como selo hídrico regulando a pressão e permitindo somente a passagem do biogás ao flare (Figura 10), onde este poderá ser queimado sem acarretar problemas de odores desagradáveis. O scrubber foi projetado de modo que haja regeneração constante do lodo biológico no interior de sua câmara de contato.

Figura 10 - Scrubber de onde o biogás é em caminhado ao flare



Fonte: Próprio Autor

8 Tanque de Contato: A cloração tem por finalidade a destruição de microrganismos patogênicos, sendo que sua eficiência será avaliada por meio dos parâmetros Coliformes totais e Coliformes termotolerantes. Na saída do tanque de contato foi instalada uma Calha Parshall com garganta de 9", para medição da vazão de esgoto tratado (Figura 11).

Figura 11 - Tanque de Contato e Calha *Parshall* com garganta de 9"



Fonte: Próprio Autor

9 Emissário: Tubulação destinada ao lançamento do esgoto tratado até Rio Tapajós, tem aproximadamente 300m de comprimento, durante o período de seca fica exposto as margens do rio (Figura 12) na cheia fica submerso.

Figura 12 - Emissário



Fonte: Próprio Autor

Durante as visitas em loco foram observados em determinadas pontos problemas que interferem diretamente no funcionamento da ETE como:

- A estrutura do gradeamento de entrada localizada no poço de chegada do efluente que não possibilita a limpeza dos resíduos que deveriam ficar retidos neste local, segundo o que interfere diretamente no bombeamento do poço de recalque 01, causando danos nas bombas submersíveis e eventuais paralização do sistema o que interfere diretamente na alimentação do Reator DBOX e na sua eficiência.
- Desnível do terreno da ETE em relação aos logradouros adjacentes causando pontos alagamento no interior da instalação, por sua vez ocorre o carreamento de material arenoso para dentro do tanque de recalque devido a borda do tanque ter altura inferior a lâmina d'água acumulada devido chuva (figura 13).

Figura 13 - Poço de recalque em dia de chuva intensa



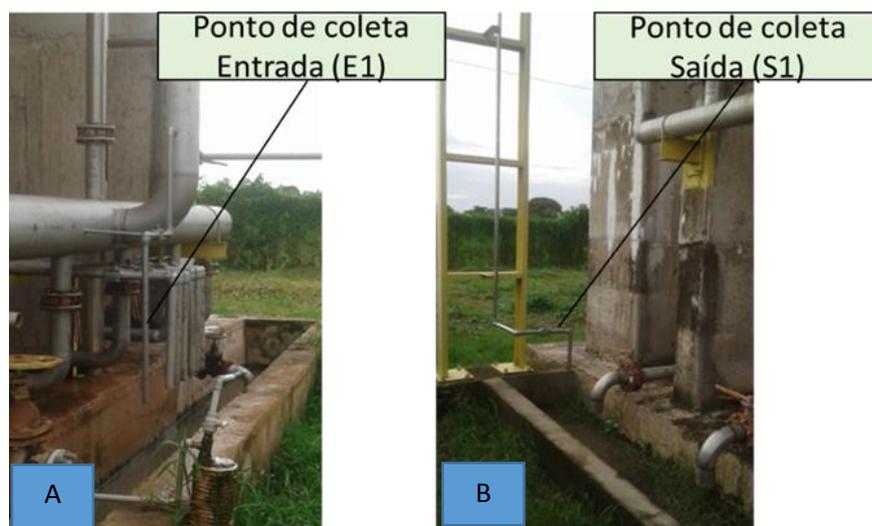
Fonte: Autor da pesquisa

- Paralisação do Sistema por falta de manutenção preventiva: A manutenção preventiva é essencial para garantir maior confiabilidade e eficiência em operações, evitando riscos e prevenindo possíveis desgastes em equipamentos. De acordo com a norma NBR-5462, essa modalidade de manutenção tem o objetivo de minimizar a possibilidade de falhas e danos em uma máquina. Ignorar a necessidade de um planejamento de manutenção é um erro que pode comprometer a eficiência da ETE e também a segurança dos operadores. Além disso, traz gastos desnecessários com peças de reposição e a depreciação do patrimônio. Na ETE ocorre apenas manutenção corretiva é claro que ela será necessária em alguns momentos, mas, como regra geral, não deve se transformar no principal tipo de intervenção pois além dos gastos serem mais altos é difícil saber o tempo de paralisação do sistema.

4.3 Coleta e Análise dos Efluentes

As coletas foram realizadas no período de julho a dezembro de 2019, sempre pelo horário da manhã com frequência de amostragem semanal com um total de 20 amostras, os pontos de coletas escolhidos estão localizados na entrada do efluente para o reator UBOX (Figura 14A) e o outro na saída do reato (Figuras14B). As amostras eram acondicionadas em garrafas plásticas individuais com capacidade para 1 litros. Sendo empregada amostragem pontual do tipo simples.

Figura 14 - A e B Pontos de coletas



Fonte: Autor da pesquisa

Após as coletas as amostras foram levadas para o Laboratório de Tratamento de Água Residuais (LabTAR) da Universidade Federal do Oeste do Pará no qual foram

realizadas as análises de pH, DQO, Nitrogênio total *Kjeldahl* (NTK), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo total, Alcalinidade total, Ácidos Graxos Voláteis, Sólidos totais e voláteis, Sólidos suspensos totais e voláteis, todos os procedimentos (Quadro 2) e recomendações descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA) de 2012.

Quadro 2 - Parâmetros físico - Químico e respectivos métodos utilizados

PARÂMETROS FÍSICO - QUIMICO	MÉTODOS ANALÍTICOS DE REFERENCIA
Temperatura	2550 / APHA,2012
PH	Potenciométrico (4500/APHA,2012)
Alcalinidade(mg/LCaCO ₃)	Kapp (BUCHAUER,1998)
Ácidos Grassos voláteis (mg Hac L ⁻¹)	Kapp (BUCHAUER,1998)
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)	Semi micro Kjeldahl (4500-NH ₃ / APHA,2012)
Nitrito (mg/L N-NH ₂ ⁻)	Colorimétrico Diazoanização (4500-NO ₂ B/APHA,2012)
Nitrato (mg/L N-NH ₃ ⁻)	Salicilato de Sódio (Rodier,1975)
Fosforo e Ortofosfato (mg P L ⁻¹)	Acido Ascórbico 4500-PE./ APHA,2012)
Sólidos totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos suspensos totais, Sólidos suspensos volantes (mg.L ¹)	Gravimétrico (4540 D./ APHA,2012)
DQO Total e Filtrado (mg O ₂ L ⁻¹)	Titulométrico Refluxação Fechada (5220C./APHA,2012)
NTK (mg NTK L ⁻¹)	Semi micro Kjeldahl (4500-NTK/ APHA,2012)

Fonte :Elaborado pelo próprio Autor.

4.5 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados obtidos, foi utilizada a ferramenta box-plot. Este recurso resume os dados, exibindo sua mediana, quartis e extremos máximos e mínimos. Dessa forma, permite apresentar valores centrais, dispersões e existência ou não de outliers, que são valores atípicos que podem subestimar ou superestimar a análise (VALLADARES NETO et al., 2017).

O gráfico é elaborado com base no valor mínimo, 1º quartil (Q1), mediana, terceiro quartil (Q3) e valor máximo. Os outliers são representados com base na amplitude interquartil que significa a diferença entre Q3 e Q1. Logo, pode-se utilizar essa estimativa de variabilidade para calcular o limite superior e limite inferior para

identificação de outliers. Isto é, quaisquer valores abaixo do limite inferior ou acima do limite superior são considerados outliers.

Esta técnica foi utilizada para calcular a média, desconsiderando os outliers para seu cálculo, dos parâmetros: DQO, sólidos totais e voláteis, sólidos suspensos totais e voláteis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

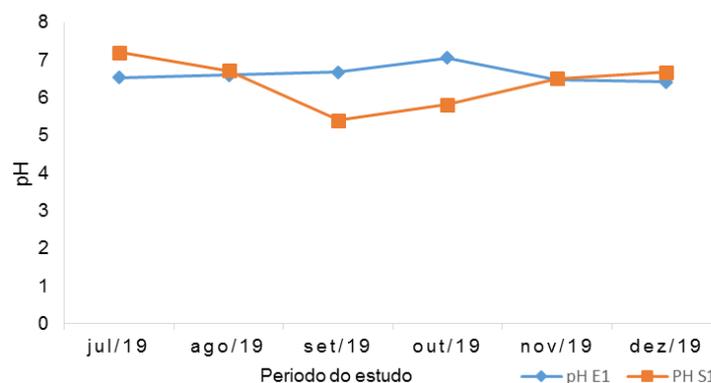
5.1 Temperatura

Nos sistemas biológicos a influência da temperatura é importante, pois as velocidades das reações bioquímicas são diretamente afetadas por elas. Durante os meses de monitoramento, a variação média de temperatura no Reator UBox esteve entre 24,4° e 32°C.

5.2 pH

Os valores de pH obtidos na ETE - Urumarí como representados na figura 15, mostra oscilações no E1 de 6,64 a 7,06 e no S1 de 5,7 a 7,2, Observa-se para os meses de setembro e outubro de 2019, no efluente tratado resultados de pH ligeiramente ácidos sendo iguais a 5,28 e 5,70, respectivamente. Tal fato pode ter sido causado por uma paralização sistema neste período que causou falhas na alimentação do reator. Observa-se que o pH influencia a eficiência de reatores anaeróbios e também pode ser um indício de falhas operacionais do sistema (CHERNICHARO, 2007).

Figura 15 - Gráfico da Média pH do efluente bruto e tratado ao longo das coletas

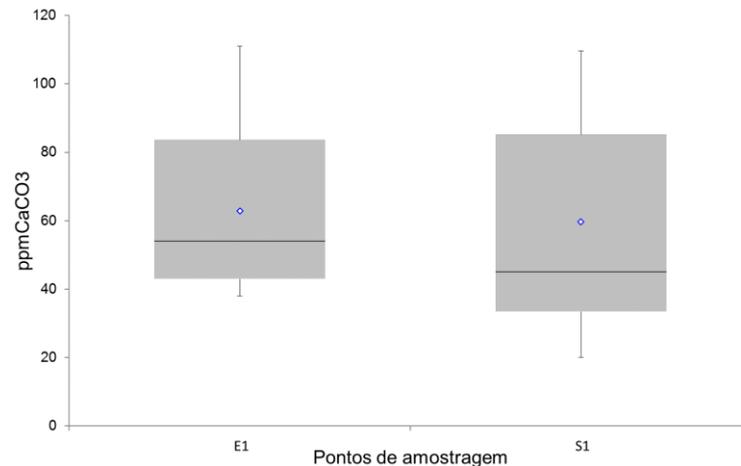


Fonte: Autor da pesquisa

5.3 Alcalinidade

A alcalinidade representada na Figura 16 o esgoto tratado S1 variou de 32 ppmCaCO₃ a 85,0 ppmCaCO₃, valores próximos a faixa de alcalinidade do esgoto bruto E1, que variou de 42 ppmCaCO₃ a 84 ppmCaCO₃. O aumento da alcalinidade é característica do processo de digestão anaeróbia em condições normais, pois ocorre a geração de alcalinidade devido a remoção de ácidos graxos e a amonificação. Mas quando comparamos as médias de E1 (62,3 ppmCaCO₃) e S1 (60 ppmCaCO₃) percebemos uma diminuição da alcalinidade. Possivelmente provocada pela sequência de paralizações do sistema somado ao elevado tempo de tenção e a baixa vazão.

Figura 16 - Gráfico da Alcalinidade do efluente bruto e tratado.

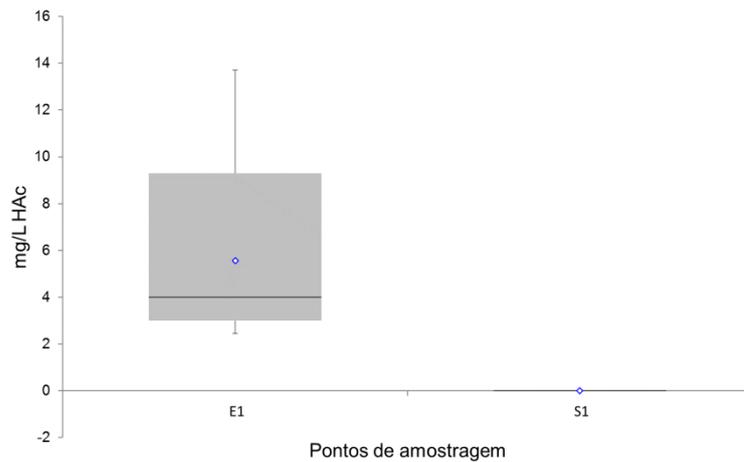


Fonte: Autor da pesquisa

5.4 Ácidos Graxos Voláteis AGV

A concentração de ácidos voláteis no esgoto bruto E1 teve uma variabilidade de 3 mg/L HAc a 9,5 mg/L HAc sendo que no efluente estes valores foram reduzidos para zero (Figura 17), dentro do comportamento desejado na digestão anaeróbia já que o tempo de detenção hídrica é muito alto.

Figura 17 - Ácidos Graxos Voláteis esgotos bruto e tratado da ETE Urumarí

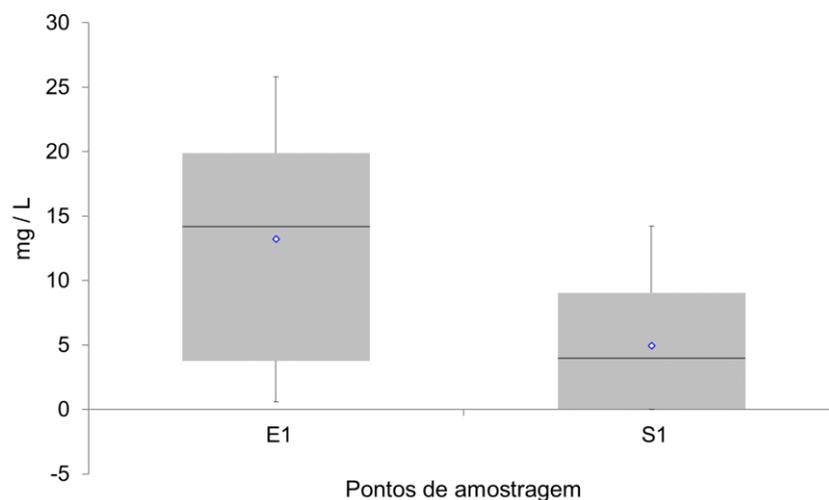


Fonte: Autor da pesquisa

5.5 Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal Nitrito e Nitrato

O nitrogênio total está evidenciado através do NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl), o gráfico 18 mostra uma assimetria dos dados, sendo o esgoto bruto (E1) assimétricos negativo e o esgota tratado (S1) assimétricos positivos, comparando as médias do NTK entrada (E1= 13,22 mg/L) e saída (S1= 4,95 mg/L) obtemos uma eficiência média de 62,56%. A variabilidade da amostra E1 é dada pela amplitude do intervalo interquartil (19,89 – 3,77 = 16,12) e variabilidade S1 (9,05 – 0 = 9,05 mg/L) mostrando que na saída do efluente houve uma menor variação dos dados.

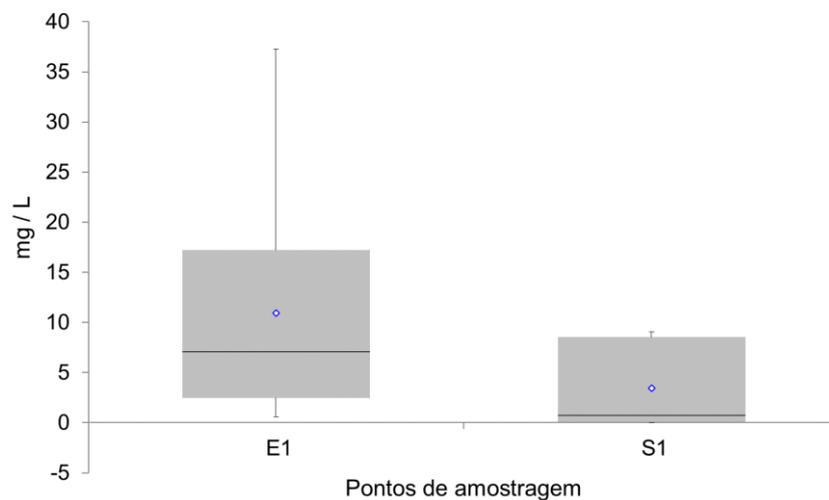
Figura 18 - Resultados das análises de NTK dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.



Fonte: Autor da pesquisa

As concentrações de nitrogênio amoniacal apresentadas no gráfico 19 e possível observar uma assimetria positiva tanto no esgoto bruto quanto no tratado, comparando as médias de E1 (11,2 mg/L) e S1(3,44mg/L) temos uma eficiência de remoção de 69,3%. A variabilidade da amostra E1 é dada pela amplitude do intervalo interquartil ($17,21 - 2,47 = 14,74\text{mg/L}$) e variabilidade S1 ($8,52 - 0 = 8,52 \text{ mg/L}$) mostrando que na saída do efluente houve uma menor variação dos dados.

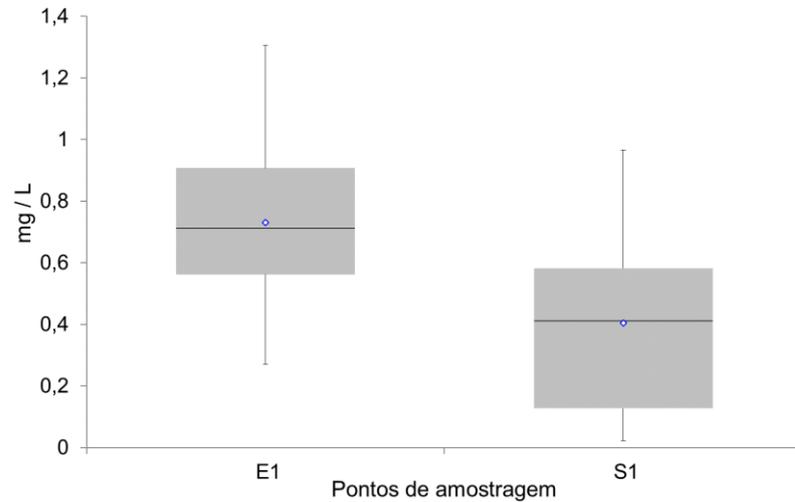
Figura 19 - Resultados das análises de Nitrogênio Amoniacal dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí



Fonte: Autor da pesquisa

Com os resultados representados na Figura 20 e possível perceber que a concentração média de nitrito no ponto E1 é 0,72 mg/L e os dados possuem uma assimétricos positiva e no esgoto tratado S1 concentração média de 0,4 mg/L e uma assimétricos negativa, que indica a maior frequência dos dados com valores abaixo da média. Ao comparamos as medias de E1 e S1 encontramos uma eficiência de 44,5 %. A variabilidade da amostra E1 e S1 é dada pela amplitude do intervalo interquartil sendo de respectivamente 0,91 mg/L N-NO₂ a 0,56 mg/L N-NO₂ e variabilidade S1 0,58 mg/L N-NO₂ a 0,13 mg/L N-NO₂ mostrando que na saída do efluente houve uma maior variação dos dados.

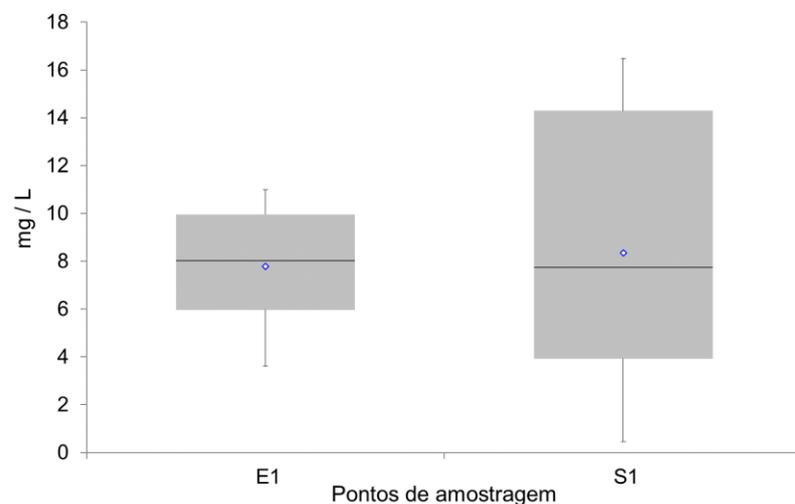
Figura 20 - Resultados das análises de nitrito dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.



Fonte: Autor da pesquisa

As concentrações de nitrato observadas na figura 21, os dados de E1 apresentam uma simetria e em S1 uma assimétricos positiva. Comparando as concentrações medias de E1(7,79 mg/L) e S1(8,34 mg/L) observamos uma pequena elevação de concentração. Variabilidade da amostra E1 é dada pela amplitude do intervalo interquartil ($9,96 - 5,97 = 3,99$) e variabilidade S1 ($14,29 - 3,92 = 10,37$) mostrando que na saída do efluente possui um limite superior maior que na entrada também uma maior variação dos dados e valores de concentração maiores que na entrada. O nitrato é encontrado naturalmente em águas subterrâneas em baixas concentrações (BARTUCCA et al., 2016), o que explica a presença do nitrato em E1

Figura 21 - Resultados das análises de nitrato dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.

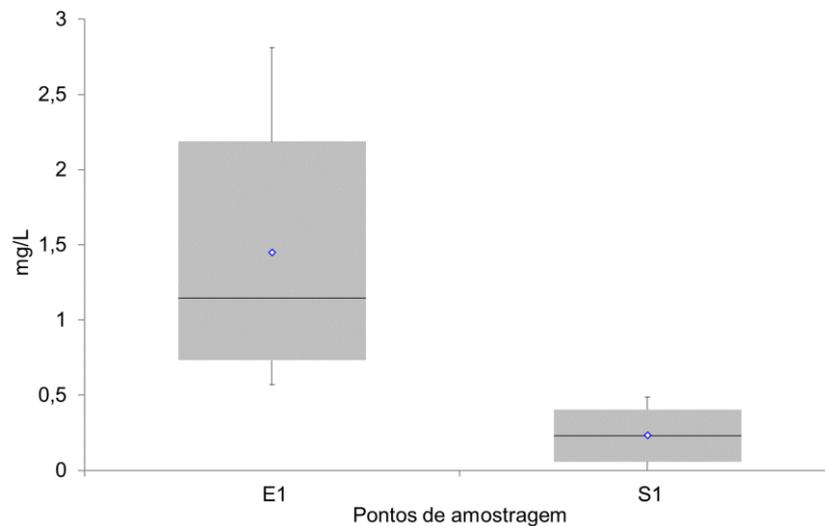


Fonte: Autor da pesquisa

5.6 Fósforo Total (P-Total) e Ortofosfato

De acordo com o gráfico 22 o esgoto bruto (E1) apresenta dados assimétricos negativos já o esgoto tratado (S1) possui valores simétricos o que permite dizer que são dados regulares. Comparando as médias de E1 e S1 temos uma eficiência média de 84,14% em remoção de fósforo – Total. Os esgotos sanitários brasileiros apresentam concentração típica de fósforo total na faixa de 6 a 10 mg/L, e portanto não exercem efeito limitante sobre os tratamentos biológicos (CETESB, 2014). Através dessa avaliação, pode-se concluir que a concentração obtida de fósforo no efluente bruto (E1), tem média de 1,45mg/L está abaixo dos limites usuais encontrados e no efluente tratado (S1) de 0,23 mg/L (Figura 22)

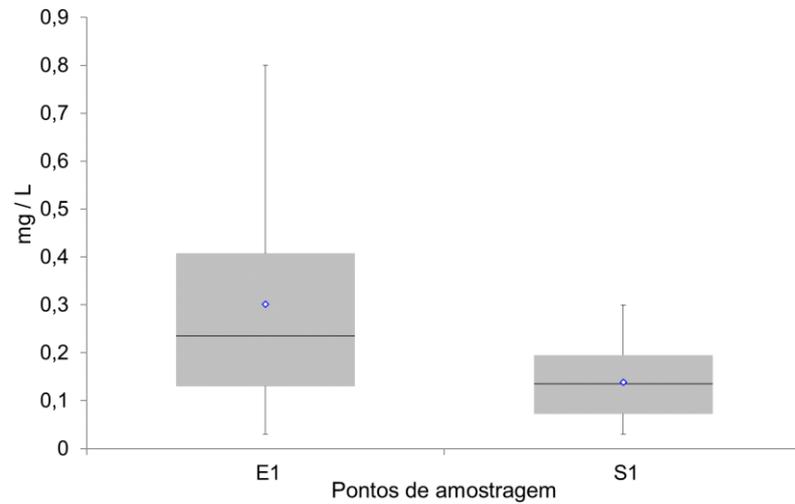
Figura 22: Resultados das análises de fósforo total dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.



Fonte: Autor da pesquisa

No gráfico 23 está representado as concentrações de ortofosfato encontrados nas amostras da ETE, que apresentam uma assimétricos positiva em E1 e simetria em S1, comparando as médias de concentração do esgoto bruto E1(0,32mg/L) e do esgoto tratado S1(0,14mg/L) temos uma eficiência de remoção de 56,25%.

Figura 23 - Resultados das análises de ortofosfato esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.

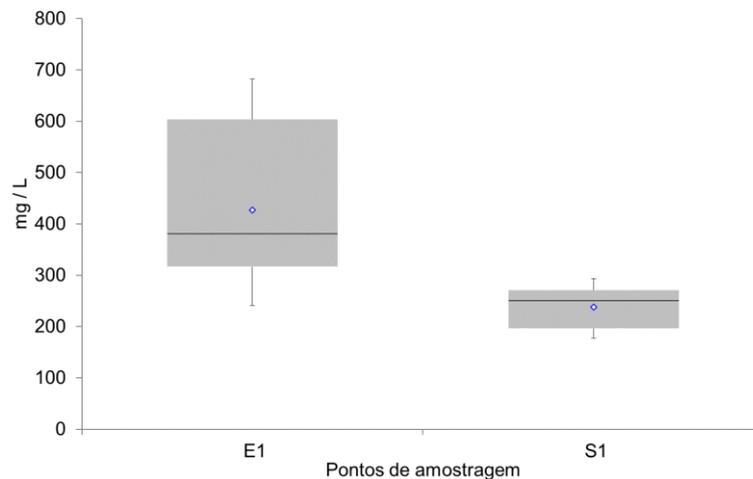


Fonte: Autor da pesquisa

5.7 Análise dos sólidos

Os resultados para os sólidos totais (gráfico 24), mostra uma assimetria dos dados, sendo o esgoto bruto (E1) assimétricos positivos e o esgota tratado (S1) assimétricos negativos comparando as médias do ST entrada (E1= 427 mg/L) e ST saída (S1= 230 mg/L) obtemos uma eficiência média de 46,13%, uma explicação para essa baixa remoção é que as maiores frações dos sólidos de efluentes anaeróbios correspondem a sólidos fixos. A variabilidade da amostra E1 é dada pela amplitude do intervalo interquartílico ($519 - 329 = 190$ mg/L) e variabilidade S1 ($266 - 206 = 60$ mg/L) mostrando que na saída do efluente houve uma menor variação dos dados.

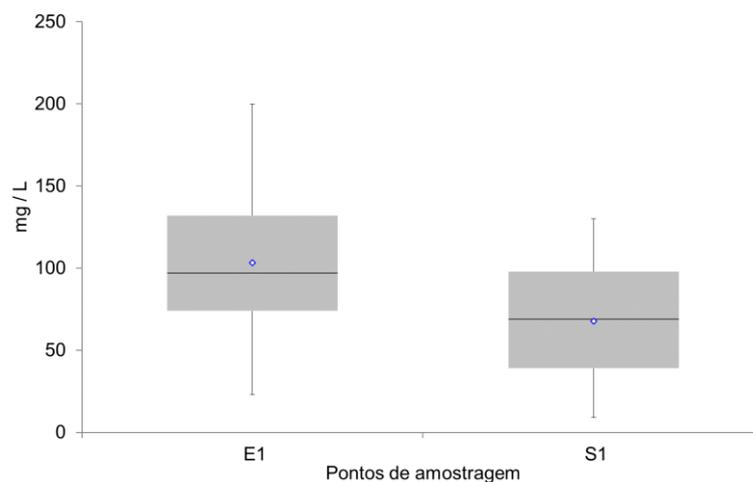
Figura 24 - Resultados das análises de sólidos totais dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.



Fonte: Autor da pesquisa

No SVT (sólidos Voláteis totais), o gráfico 25 mostra uma assimétricos positiva em E1, e simetria em S1 mostrando uma uniformidade dos dados de saída (S1), comparando as médias do SVT entrada (E1= 106,46 mg/L) e SVT saída (S1= 67,82 mg/L) obtemos uma eficiência média de 36,3%, Variabilidade da amostra E1 (130 – 74 = 56 mg/L) e variabilidade S1 (98 – 39 = 59 mg/L) mostrando que na saída do efluente houve uma maior variação dos dados mais de forma uniforme.

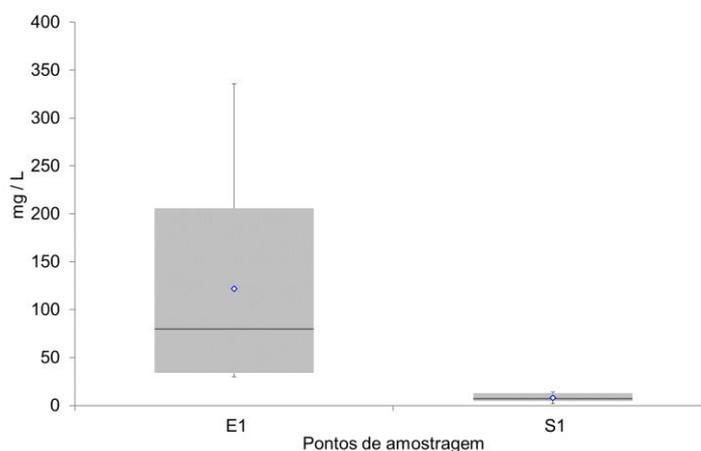
Figura 25 - Resultados das análises de SVT dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.



Fonte: Autor da pesquisa

As concentrações médias de sólidos suspensos totais (Figura 26) apresentaram assimetria positiva, os dados de E1 possuem variabilidade de 210 mg/L a 34 mg/L e em S1 de 7,78 mg/L a 15 mg/L. Sendo que E1 possui variabilidade superior a S1, comparando as médias do SST entrada (E1= 121,64 mg/L) e SST saída (S1= 7,82 mg/L) obtemos uma eficiência média de 93,57%.

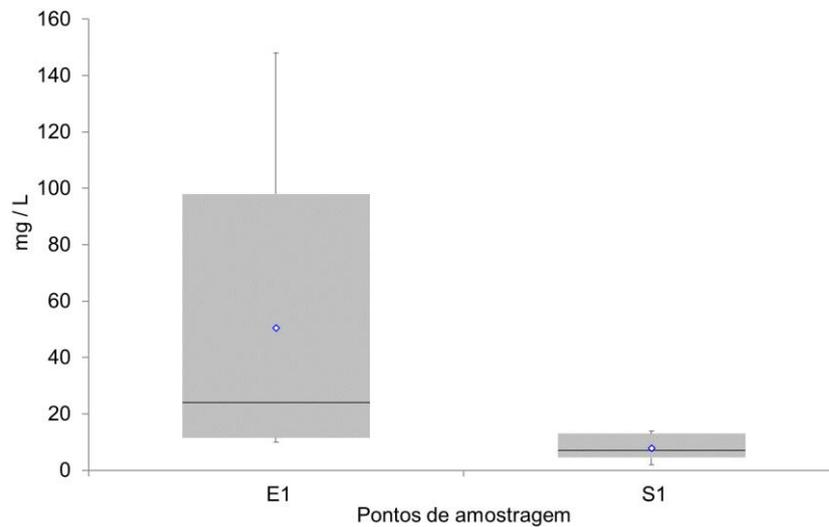
Figura 26 - Resultados das análises de SST dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí



Fonte: Autor da pesquisa

Nos sólidos suspensos voláteis (SSV) os dados de E1 e S1 são assimétricos positivos, sendo que E1 possui maior variabilidade que S1 e comparando as médias do SSV entrada (E1= 50,5 mg/L) e SSV saída (S1= 7,82 mg/L) obtemos uma eficiência média de 84,52% (Figura 24).

Figura 27 - Resultados das análises de SSV dos esgotos bruto e tratado ETE Urumarí.

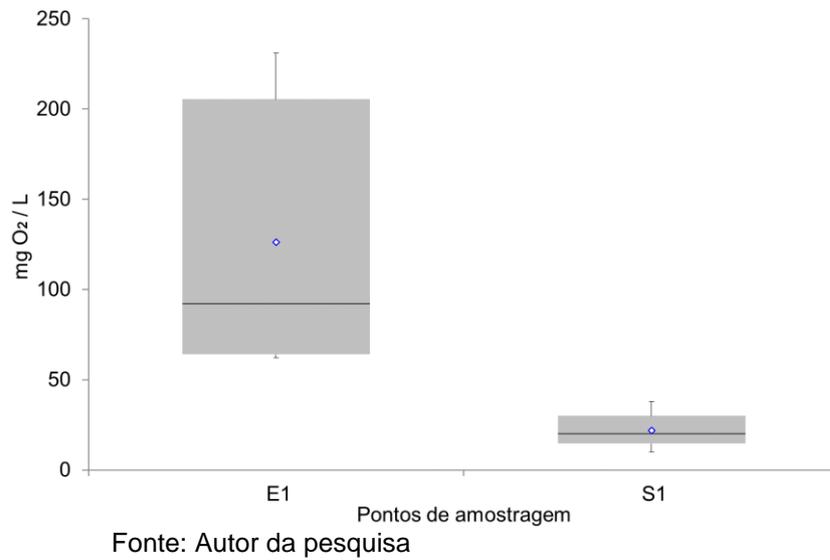


Fonte: Autor da pesquisa

5.8 DQOT e DQO filtrado

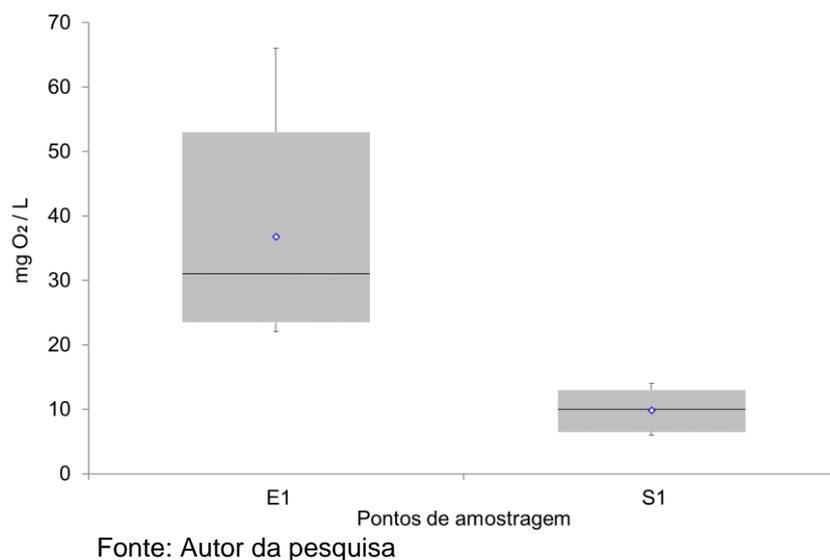
Na demanda química de oxigênio total (DQOT), de acordo com o gráfico 25, nota-se uma assimétricos positiva no esgoto bruto (E1) e no esgota tratado (S1) uma simetria com a média coincidindo com a mediana, comparando as médias do DQO entrada (E1= 127,4 mg O₂/L) e DQO saída (S1=19,8 mgO₂/L) obtemos uma eficiência média de 84,5%. A variabilidade da amostra E1 é dada pelo intervalo interquartil (205,5 – 67 = 138,5) e variabilidade S1 (25 – 14,5 = 10,5) mostrando que na saída do efluente houve uma menor variação dos dados indicando um comportamento uniforme.

Figura 28 - Resultados das análises de DQOT dos esgotos bruto e tratado ETE Urumari.



O gráfico da DQOf (Figura: 29) mostra uma alta redução de concentração das amostras em relação a DQOT, observamos também uma assimétricos positiva no esgoto bruto (E1) e o esgota tratado (S1) uma simetria com a média coincidindo com a mediana semelhante ao DQOT. Comparando as médias do DQOf entrada (E1= 36,8 mg O₂/L) e DQOf saída (S1=10,2 mgO₂/L) obtemos uma eficiência média de 72,2%. A variabilidade da amostra E1 é dada pela amplitude do intervalo interquartílico (53 – 23,5 = 29,5 mg/L) e variabilidade S1 (14,5 - 6 = 8,5 mg/L) mostrando que na saída do efluente ouve uma menor variação dos dados indicando e como os mesmos são simétricos temos um comportamento uniforme.

Figura 29 - Resultados das análises de DQOf dos esgotos bruto e tratado ETE Urumari.



Os valores de concentrações médias obtidas de DQOT e DQOf para o esgoto tratado foram de $S_1=19,8 \text{ mgO}_2$ e $S_1=10,2 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Estes resultados indicaram concentrações médias abaixo das típicas estabelecida de 600 mg/L de DQO para esgotos sanitários (VON SPERLING, 2014).

5.9 Comparação com a legislação

Conforme os resultados das análises foi possível produzir a Tabela 2 que faz um comparativo dos valores encontrados nas análise laboratoriais com a legislação CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011 que dispõe sobre os padrões de lançamento de efluente em recursos hídricos.

Tabela 2- Valores dos Parâmetros de Lançamento de Efluentes em Recursos Hídricos

Parâmetros	Limite CONAMA 357/2005-430/2011	Valores encontrados nas análises	Atende legislação vigente?
Temperatura	>40°C	24°C -32°C	Atende
pH	05-09	5,7 a 7,2	Atende
Óleo e graxos	>100 mg/L	Zero	Atende
DBO₅	120mg/L O ₂	Não Determinado	*Atende
DQO t	Não especificado	19,8mg/L	Não especificado
DQO f	Não especificado	10,2mg/L	Não especificado
Sólidos Sedimentáveis	até 100 mg/L	7,82 mg/L	Atende
Nitrito	1,0mg/L N	0,4 mg/L	Atende
Nitrato	10,0 mg/L N	8,34 mg/L	Atende
Fosforo	0,1mg/L N	0,23 mg/L	Não Atende

*DBO₅: O DQO corresponde ao consumo total de oxigênio no efluente, sendo que o DBO e a fração menor ou igual ao DQO, logo o DBO atende os parâmetros pois os valores de amostragem DQO foram inferiores a 120 mg/L O_2 .

Fonte: Adaptado de CONAMA 430/2011

O reator Ubox se mostrou eficiente em relação aos parâmetros estabelecidos pela legislação com exceção do Fosforo total, que apesar de demonstrar uma boa remoção não atendeu o critério de lançamento estipulado no CONAMA 357/2005.

6 CONCLUSÃO

Através deste estudo, realizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Uruará do município de Santarém – PA, foi observado que existe algumas falhas estruturais em determinadas etapas, que por sua vez, podem causar interferência na qualidade do tratamento do efluente, para o melhor desempenho sugere-se o reparo dessas imperfeições (estrutura do gradeamento, Desnível do terreno da ETE em relação aos logradouros adjacentes, sistema de drenagem mais eficiente, elevação da borda do 2º tanque de recalque), além disso, tornasse necessário a manutenção preventiva para evitar paralisações.

Comparando os resultados das análises de entrada e saída do reator, mostra uma remoção de matéria orgânica eficiente, os ácidos graxos voláteis foram removidos completamente do efluente, enquanto o NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) obtivemos uma boa eficiência. Com relação as análises de sólidos (ST, SVT, SST e SSV), levando em consideração que as amostras foram coletadas após o tratamento primário, o reator UBox, apresenta remoção significativa.

Os parâmetros analisados estão atendendo a resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011. Com exceção do parâmetro fosforo total, que apesar de demonstrar uma boa remoção não atendeu o critério de lançamento estipulado na Resolução CONAMA 357/2005. A ETE Uruará está trabalhando com a vazão abaixo do projeto, que implica na baixa contribuição de carga orgânica. Será necessária uma nova avaliação quando a mesma atingir a vazão de projeto.

REFERÊNCIAS

- ARCHELA, E. et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **Geografia, Londrina (PR)**, v. 12, n. 1, p. 517-526, jan./jun. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 9648**: Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986
- APARECIDA, M et al. **Apostila de Química Sanitária e Laboratório de Saneamento II**, CESET/UNICAMP, 2006.
- BARBOSA, Taísa Andrade. **Produção de energia renovável a partir do biogás em empreendimentos habitacionais: análise técnica, econômica e ambiental visando o desenvolvimento urbano sustentável**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2019. BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BARBOSA, Julmar Nunes. **Estudo da aplicação de estações de tratamento de esgoto compactas em pequenos municípios de Minas Gerais**. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- BARROS, R. T. V. et al. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios: Saneamento**. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1995.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 17 de Março de 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 11 Dez. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA. 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 Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, 13 de Maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 11 Dez. 2019.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. Apêndice E. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2019.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais: reatores anaeróbios**. 2ª Ed, 379 p, 2007.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Influência da alteração e da distribuição do tamanho de partículas no desempenho de reator UASB no tratando esgoto doméstico**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 159-166, abr./jun. 2009.

Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Santarém, Pará. b&b engenharia**, , 2012. 248 p. Disponível em:http://www.agenciasantarem.com.br/midias/anexos/678_anexo_4_plano_municipal_de_saneamento_basico_de_santarem_2_1.pdf. Acesso em jun. 2020.

FERRAZ, D. L.M. **Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado** / Danillo Luiz de Magalhães Ferraz. – Natal, RN, 2014. 78 f.

FREITAS, M.B.; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L.M. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio**. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 3, p. 651-60, 2001.

LETTINGA, G; HULSHOFF POL L.W. **Anaerobic wastewater treatment technology with emphasis to upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor Systems**. In INTERNACIONAL COURSE ON ANAEROBIC TREATMENT, 1995, Wageningen. Trabalho apresentado em curso. Department of Water Pollution Control, Agricultural University of Wageningen, Bomenweg 17-28 jul. 1995. Cap. 03, p. 23-41.

LIMBERGER, L.; CORRÊA, G. T. **Diagnóstico ambiental do Ribeirão Lindóia (Londrina-PR): aspectos físico-químico e bacteriológico**. Revista Eletrônica AGB/TL, Três Lagoas (MS), v. 2, p. 43-66, 2005.

LINS, G. A. **Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs)**. 2010. 236 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>. Acesso em: 10 jan..2020.

Mello Azevedo S/A. Manual Técnico Dbox, Sistema Integrado de Tratamento de Esgotos Sanitários: Operação, manutenção, equipamentos, instrumentos e desenhos. **Construtora Mello Azevedo S/A**, Santarém, 2016.

MORAES, S. F.; FERREIRA, O. M. **Tratamento anaeróbio: avaliação do conjunto reator e filtro biológico – Estudo de caso CEASA/GO**. Disponível em: <http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>. Acesso em: 10 jan.2020.

MORENO-CASILLAS, H. A.; COCKE, D. L.; GOMES, J. A.; MORKOVSKY, P.; MOUNTEER, Ann H. et al. **Avaliação ecotoxicológica de águas residuárias e seus respectivos corpos receptores**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2 a 7 de setembro de 2007.

NAVAL, L. P; COUTO, T. C. **Remoção de nitrogênio amoniacal em sistemas anaeróbios**. In: AIDIS Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. 2005, Assunción. Avanzando hacia lós objetivos del milênio em el marco de la ingeneri sanitaria ambiental. Congreso Regional. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIAS01.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário : Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 2ª Edição Revista, Atualizada e Ampliada. 2011.

PELEGRIN, D. C. **Microfiltração tangencial de efluente sanitário após tratamento biológico**. 2004. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. PROSAB. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/UASB.swf>>. Acesso em 07 dez. 2019.

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**. Santa Maria: UFSM, 2002.

PONTES, P; CHERNICHARO, Carlos A. de L. **Efeito do retorno de lodo aeróbio sobre as características da biomassa em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 223-234, abr./jun. 2009.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). **Operação de Estação de Tratamento de Esgoto, Tratamento biológico anaeróbio**; Manual de Treinamento. Curitiba, 2005.

SCÓTTA, J. **Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da serra gaúcha**. Lajeado: 2015.

SILVA, A. L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (Coffea arabica L.) no Brasil**. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração: Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

TONETTI, A L et al.: **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VALLADARES NETO, José et al. **Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos**. Revista Odontológica do Brasil, p. 6, 2017.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 240 p., 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING M. (2002) **Lodos ativados**. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. London UK: IWA Publishing e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005, v.1, 810 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Vol. 1, 4ª Ed., p 315- 325, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018. a. v. 1.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos domésticos.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018. b. v. 2.

ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. **The Role of Anaerobic Digestion of Domestic Sewage in Closing The Water and Nutrient Cycle at Community Level.** Water Science Technologic, v. 39, n. 5, p. 187- 194, 1999.