

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDERSON FÁBIO LOPES DE GUSMÃO LINS

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MBBR: ASPECTOS  
CONSTRUTIVOS E OPERACIONAIS SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE**

MACEIÓ

2022

ANDERSON FÁBIO LOPES DE GUSMÃO LINS

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MBBR: ASPECTOS  
CONSTRUTIVOS E OPERACIONAIS SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Nélia Henriques Callado

MACEIÓ

2022

L759t Lins, Anderson Fábio Lopes de Gusmão.  
Tratamento de esgoto sanitário por MBBR: aspectos construtivos e operacionais sob a ótica da sustentabilidade / Anderson Fábio Lopes de Gusmão Lins. – 2022.  
75 f.: il.

Orientador: Nélia Henriques Callado.  
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 71-75.

1. Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) – Avaliação econômica e ambiental.  
2. MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor). 3. Tratamento de efluentes. I. Callado, Nélia Henriques. II. Título.

CDU: 628.31

**Folha de aprovação**

AUTOR: ANDERSON FÁBIO LOPES DE GUSMÃO LINS

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MBBR: ASPECTOS  
CONSTRUTIVOS E OPERACIONAIS SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE**

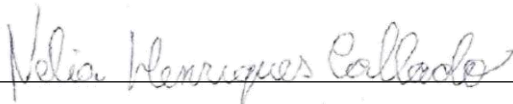
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSINATURAS:



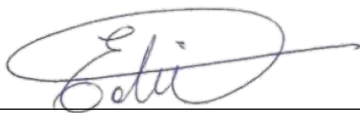
---

Anderson Fábio Lopes de Gusmão Lins (Autor)



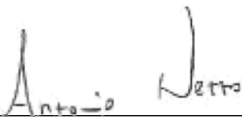
---

Profa. Dra. Nélia Henriques Callado (Orientadora) – UFAL



---

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (Membro da banca) – UFAL



---

Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto (Membro da banca) - UFAL

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é meu alicerce, tendo me guiado e dado forças durante todos os momentos.

A toda a minha família, por serem a base de tudo que sou hoje. Principalmente aos meus pais e meu irmão Daniel, que sempre me apoiaram, incentivaram e mostraram que sou capaz de realizar os meus sonhos. Sem eles eu não estaria aqui.

Um agradecimento especial a minha tia Glaucinete, que acompanhou minha trajetória desde o princípio e esteve sempre acreditando e torcendo por mim.

Aos meus primos Cleylton e Adevan, por todos os conselhos e diálogos construtivos.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Nélia Henriques Callado, pela paciência, dedicação e orientação ao longo desse percurso. Obrigado por todos os ensinamentos.

Gostaria também de agradecer a Diogo Moreira Gonçalves, gestor ambiental da empresa Aquarum Saneamento Ambiental, por todo o apoio, assistência e experiência compartilhada, sendo um grande colaborador deste trabalho.

Ao engenheiro Thiago Tauber, pelos aprendizados e pelas informações passadas durante o meu período de estágio.

A Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) e a Saneamento Maceió Ltda (SANEMA), pela cooperação, fornecendo e autorizando o uso das informações coletadas.

Agradeço as grandes amizades conquistadas durante a graduação. A Caio Lima e Camila Carvalho, que estiveram comigo desde o início do curso de Engenharia Civil, seja estudando, sofrendo (e muito!), rindo... Passamos por muitas situações, mas aqui estamos, na reta final. A Renato Ramos e Carolina Pedrosa, que também trilharam comigo essa jornada. Obrigado por tudo, de verdade!

Por fim, quero agradecer a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu desenvolvimento pessoal.

## RESUMO

A busca pela universalização do saneamento vem intensificando o desenvolvimento na área de tratamento de efluentes. Uma consequência desse aprimoramento, foi a criação da tecnologia *Moving Bed Biofilm Reactor* – MBBR, que é traduzido para o português como Reator Biológico de Leito Móvel e consiste em um sistema que utiliza biomassa aderida para tratamento de efluentes. Tal tecnologia está sendo aplicada em duas novas ETEs da cidade de Maceió, o que justifica a necessidade de se realizar uma análise do funcionamento desse sistema para as condições operacionais do município. Diante disso, este trabalho visou estudar o uso dessa tecnologia em uma dessas Estações, a ETE Caçadores, sob duas óticas: econômica – onde buscou-se analisar os aspectos construtivos de implantação, bem como analisar o consumo energético do sistema implantado – e ambiental – por meio do levantamento do fluxograma de processos do tratamento instaurado e da avaliação do corpo receptor dos efluentes tratados pela ETE. Para isso, foram realizadas entre os meses de outubro e dezembro de 2021, visitas técnicas e consultas ao corpo técnico da empresa responsável por executar e operar o empreendimento. Os resultados do estudo mostraram que o custo de implantação da tecnologia MBBR é cerca de 28% menos oneroso quando comparado a sistemas convencionais, tais como o de lodos ativados. Também evidenciaram que o consumo energético para o funcionamento do sistema é de 20 a 40% maior em comparação a esses sistemas. O levantamento do fluxograma das etapas de tratamento da ETE possibilitou identificar a destinação final do efluente tratado e os resíduos/subprodutos gerados em cada etapa operacional. Por fim, identificou-se que as águas superficiais do corpo receptor que receberá os efluentes tratados da ETE encontram-se comprometidas e que com o funcionamento da estação, o efluente tratado a ser lançado contribuirá para a melhoria da qualidade das águas desse corpo hídrico.

Palavras chave: MBBR; Avaliação econômica e ambiental de ETEs; Tratamento de efluentes.

## ABSTRACT

The search for universal sanitation has intensified development in the area of effluent treatment. The consequence of this improvement was the creation of the Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR technology, which is translated into Portuguese as Mobile Bed Biological Reactor and consists of a system that uses adhered biomass for effluent treatment. This technology is being applied in two new ETEs in the city of Maceió, which justifies the need to carry out an analysis of the functioning of this system for the operational conditions of the municipality. That said, this work aimed to study the use of this technology that is being applied in an effluent treatment plant in Maceió, ETE Caçadors, from two perspectives: economic - where we sought to analyze the constructive aspects of implantation, as well as analyze the energy consumption of the system implemented - and environmental - through the survey of the process flowchart of the treatment established and the evaluation of the receiving body of the effluents treated by the ETE. For this, between October and December 2021, technical visits and consultations with the technical staff of the company responsible for executing and operating the venture were carried out. The study results showed that the cost of deploying MBBR technology is 28% less expensive when compared to conventional systems, such as activated sludge. They also showed that the energy consumption for the operation of the system is 20 to 40% higher compared to these systems. The review of the flowchart of the ETE treatment stages made it possible to identify the final destination of the treated effluent and the residues/by-products generated in each operational stage. Finally, it was identified that the surface waters of the receiving body that will receive the treated effluents from the ETE are compromised and that with the operation of the station, the treated effluent to be released will contribute to the improvement of the water quality of this body of water.

Keywords: MBBR, Economic and environmental evaluation of ETES: Effluent treatment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema geral do processo de lodos ativados .....	20
Figura 2 - Comunidade microbiana de um biofilme extraído de suporte plástico em água. ....	20
Figura 3 - Biomassas aderidas a um meio suporte. ....	21
Figura 4 - Suporte plástico para biofilme típico para MBBR.....	23
Figura 5 - Princípio de funcionamento da tecnologia MBBR.....	23
Figura 6 - Bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, indicando a localização da ETE Caçadores. .....	31
Figura 7 - Visão do local onde passa o corpo d'água que receberá os efluentes tratados pela ETE.....	32
Figura 8 - Fluxo metodológico seguido.....	33
Figura 9 - Vista da EEE-FINAL.....	37
Figura 10 - Visão do prédio operacional .....	38
Figura 11 - Visão dos tanques de processo .....	38
Figura 12 - Visão do tanque de desinfecção.....	38
Figura 13 - Cronograma físico da obra - ETE Caçadores .....	39
Figura 14 - Vista dos tanques de processo da ETE Caçadores.....	40
Figura 15 - Gradeamento da EEE.....	49
Figura 16 - Bombas submersíveis .....	49
Figura 17 - PTPS. ....	50
Figura 18 - Reator Biológico. ....	51
Figura 19 - Reator Anóxico.....	51
Figura 20 - Decantador Lamelar.....	52
Figura 21 - Bomba de recirculação de lodo.....	52
Figura 22 - Adensadores mecânicos.....	53
Figura 23 - Centrífugas.....	53
Figura 24 - Preparador de polímero.....	54
Figura 25 - Visão do tanque de contato.....	54
Figura 26 - Fluxograma do processo de tratamento da ETE Caçadores. ....	55
Figura 27 - Fluxograma da ETE Caçadores – Iniciando com o Pré-Tratamento primário e finalizando com o encaminhamento do efluente até o corpo receptor. ....	56
Figura 28 - Chuva média mensal no período de 1960-2016 para o município de Maceió.....	58
Figura 29 - Variabilidade da cor verdadeira no período seco. ....	59



Figura 30 - Variabilidade da cor verdadeira no período chuvoso. ....	59
Figura 31 - Variabilidade da turbidez no período seco. ....	60
Figura 32 - Variabilidade da turbidez no período chuvoso. ....	60
Figura 33 - Valores de pH no período seco. ....	61
Figura 34 - Valores de pH no período chuvoso. ....	61
Figura 35 - Variabilidade nos valores de OD no período seco. ....	62
Figura 36 - Variabilidade nos valores de OD no período chuvoso. ....	62
Figura 37 - Variabilidade de nitrito e nitrato no período seco. ....	63
Figura 38 - Variabilidade de nitrito e nitrato no período chuvoso. ....	63
Figura 39 - Variabilidade de nitrogênio amoniacal no período seco. ....	64
Figura 40 - Variabilidade de nitrogênio amoniacal no período chuvoso. ....	64
Figura 41 - Variabilidade de fósforo no período seco. ....	65
Figura 42 - Variabilidade de fósforo no período chuvoso. ....	65
Figura 43 - Variabilidade de DBO no período seco. ....	66
Figura 44 - Variabilidade de DBO no período chuvoso. ....	66
Figura 45 - Variabilidade de DQO no período seco. ....	67
Figura 46 - Variabilidade de DQO no período chuvoso. ....	67
Figura 47 - Variabilidade de coliformes fecais no período seco. ....	68
Figura 48 - Variabilidade de coliformes fecais no período chuvoso. ....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização típica de esgotos brutos, conforme suas categorias de concentração de poluentes. ....	17
Tabela 2 - Custo de implantação para 50.000 habitantes. ....	26
Tabela 3 - Custo de implantação para 500.000 habitantes ....	26
Tabela 4 - Análise de DBO do Afluente e Efluente final do reator em escala piloto e eficiência da remoção da DBO. ....	28
Tabela 6 - Comparação entre volumes de reatores biológicos de ETEs. ....	42
Tabela 7 - Levantamentos de custos de implantação do sistema MBBR da ETE Caçadores. .	42
Tabela 8 - Comparativo de custo de implantação do sistema MBBR com outras tecnologias.	43
Tabela 9 - Estimativa do consumo de energia da ETE Caçadores. ....	46
Tabela 10 - Consumo energético conforme o sistema de tratamento adotado. ....	46
Tabela 11 - Resultados analíticos obtidos por análises físico-químicas e ensaios bacteriológicos das águas superficiais do riacho Reginaldo. ....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais microrganismos presentes no esgoto.....	18
Quadro 2 - Características de meios suporte, para reator MBBR, conforme especificado pelos fabricantes.....	24
Quadro 3 - Dados geométricos dos tanques de processo da ETE Caçadores.....	41
Quadro 4 - Levantamento de dados dos equipamentos elétricos e eletromecânicos da ETE caçadores. ....	44
Quadro 5 - Dados referentes a expectativa da qualidade do efluente tratado na ETE Caçadores. ....	57

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1. ESGOTO SANITÁRIO.....	16
3.2. COMPOSIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO .....	17
3.3. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	18
3.4. O BIOFILME NO TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	20
3.5. REATOR DE BIOFILME COM LEITO MÓVEL (MBBR) .....	22
3.5.1. Histórico do MBBR.....	22
3.5.2. Funcionamento do sistema .....	23
3.5.3. Aspectos de projeto .....	25
3.6. ETES SUSTENTÁVEIS.....	28
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2. DELINEAMENTO METODOLÓGICO .....	32
4.2.1. Análise da fase construtiva do sistema de tratamento .....	34
4.2.2. Avaliação da fase operacional do sistema de tratamento .....	35
4.2.3. Levantamento do fluxograma do processo de tratamento implantado .....	35
4.2.4. Avaliação do corpo d'água receptor.....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	37
5.2. ANÁLISE DA EXECUÇÃO DO SISTEMA IMPLANTADO DURANTE SUA FASE DE CONSTRUÇÃO.....	37
5.2.1. Etapa construtiva .....	37
5.2.2. Unidades de tratamento .....	39
5.2.3. Custo de implantação .....	42
5.3. AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE TRATAMENTO .....	43
5.4. LEVANTAMENTO DO FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO IMPLANTADO ...	49

5.5.	AVALIAÇÃO DO CORPO D'ÁGUA RECEPTOR .....	57
5.5.1.	Identificação dos meses secos e chuvosos.....	58
5.5.2.	Resultados analíticos dos parâmetros físicos.....	58
5.5.2.1.	Cor .....	58
5.5.2.2.	Turbidez.....	60
5.5.3.	Resultados analíticos dos parâmetros químicos .....	61
5.5.3.1.	Ph.....	61
5.5.3.2.	OD .....	62
5.5.3.3.	Nitrito e Nitrato .....	63
5.5.3.4.	Nitrogênio Amoniacal .....	64
5.5.3.5.	Fósforo total.....	65
5.5.3.6.	DBO <sub>5</sub> .....	66
5.5.3.7.	DQO .....	67
5.5.4.	Resultados analíticos dos parâmetros biológicos .....	68
5.5.4.1.	Coliformes fecais .....	68
5.5.5.	Compilação dos resultados das análises de qualidade do corpo receptor.....	69
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população, aliado a baixa taxa de coleta e tratamento de efluentes domésticos e industriais, apresenta-se como a principal causa da poluição do solo e dos recursos hídricos. O déficit de cobertura da zona urbana por sistemas de esgotamento sanitário, enquadra-se como problema de saúde pública, pois o contato com o esgoto pode causar diversas doenças parasitárias e infecciosas, em virtude da contaminação de recursos hídricos. Proporcionar um sistema eficiente de esgotamento sanitário significa garantir a saúde da população e o acesso à água de qualidade, além de proteger recursos naturais, tais como o solo e a água.

Apesar dessas informações, os dados correspondentes ao déficit de saneamento no Brasil são preocupantes. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento, em 2010 aproximadamente 50% da população brasileira possuía atendimento insatisfatório, relacionado a esgotamento sanitário. Ademais, cerca de 9,6% eram sequer gratificados com esse serviço, o que representa milhões de habitantes expostos aos inúmeros riscos à saúde (HELLER, 2015). Por essa razão, as companhias estaduais e municipais de saneamento e empresas concessionárias brasileiras do ramo de coleta e tratamento de esgoto sanitário são cobradas para investir tanto na instalação quanto na manutenção desses sistemas.

Diante desses fatos, fica clara a importância dos sistemas de esgotamento sanitário para a sociedade, visto que visam conservar ou transformar as circunstâncias ambientais, com o intuito de oferecer saúde para a população, proporcionando qualidade de vida individual e coletiva. Além disso, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), tal atividade colabora com a redução de gastos em saúde, dado que para cada R\$ 1,00 investido em saneamento, gera-se uma economia de R\$ 9,00 com gastos em saúde pública (FUNASA, 2017).

Até 2013, a cidade de Maceió contava com cerca de 40.656 ligações ativas de esgoto e 266 km de rede coletora do tipo separador absoluto implantada no município, com um sistema de disposição oceânica que atendia cerca de 16% da população (SNIS, 2013). Em 2015, após obras de ampliação em uma das bacias de esgotamento da cidade, o atendimento passou para 35%. Em 2019, foi inaugurada a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Benedito Bentes, essa, com capacidade para tratar cerca de 1300m<sup>3</sup>/h no final de plano e em outubro de 2018 iniciou-se as obras de implantação da ETE Caçadores, ambas localizadas na área urbana de Maceió, atendendo bairros da parte alta da cidade (BARROS, 2019).

A setorização das bacias de esgotamento com ETEs dentro do espaço urbano - com áreas restritas, complexidade de terreno e qualidade do corpo receptor - leva a evidente necessidade em buscar soluções de tratamento de esgotos mais compactas, flexíveis e eficientes (OLIVEIRA, 2019). A partir disso, a tecnologia Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR (traduzida como Reator Biológico de Leito Móvel) criada na Noruega, vem ganhando espaço por sua estabilidade, bem como por sua versatilidade em otimizar as estações de lodos ativados existentes (ODEGAARD, 2006).

Esse sistema é composto por reatores de mistura completa com leito móvel, dotados de pequenas peças plásticas de alta motricidade, intituladas biomídias (OLIVEIRA, 2019). Esses suportes ajudam no aumento de biomassa no reator com retenção de bactérias nitrificantes. Assim, o sistema consegue tratar um maior volume de efluentes em comparação com o processo de Lodos Ativados (L.A) (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Outrossim, de acordo com Metcalf & Eddy (2016), o sistema possui eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 85%.

Ademais, do ponto de vista construtivo, a utilização do MBBR permite trabalhar com reatores de menor volume, influenciando diretamente na redução dos custos com as obras civis, em comparação com os sistemas convencionais (FUJJI, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Em contrapartida, o MBBR apresenta como desvantagem, quando comparado ao sistema de L.A, o maior consumo de energia, visto que a demanda de oxigênio dissolvido para aeração do sistema é substancialmente maior, além de apresentar custos iniciais com a compra das biomídias, já que essas peças são patenteadas (BASSIN, 2011).

A tecnologia MBBR está sendo aplicada nas duas novas ETEs da capital alagoana, e ainda que a eficiência de remoção de poluentes dessa tecnologia seja comprovada por várias pesquisas no país, ainda não há estudos mostrando a competência do processo para as condições climatológicas e operacionais de Maceió.

Dessa forma, o problema científico deste trabalho consiste na análise teórica e prática, com base em métodos que possibilitem avaliar o uso da tecnologia MBBR aliada as peculiaridades de Maceió, além de analisar os aspectos construtivos, operacionais e eficiência do sistema implantado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GERAL**

Estudar a sustentabilidade do uso da tecnologia MBBR no que diz respeito aos aspectos construtivos, operacionais e eficiência do sistema, implantado em uma cidade tropical do nordeste brasileiro, sob a ótica econômica e ambiental.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

i) Sob a ótica econômica objetiva-se:

Analisar aspectos construtivos de implantação da tecnologia MBBR;

Avaliar o consumo energético da operação do sistema de tratamento.

ii) Sob a ótica ambiental objetiva-se

Levantar o fluxograma do processo de tratamento implantado;

Avaliar a qualidade do corpo d'água que receberá os efluentes tratados pela ETE.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com Jordão e Pessoa (2011), os esgotos sanitários podem ser compreendidos como os efluentes formados particularmente por despejos domésticos advindos de residências, instituições e edifícios comerciais, em geral –, uma fração de águas pluviais, águas de infiltração, e ocasionalmente um fragmento não relevante de despejos industriais.

Eles são compostos predominantemente por água – aproximadamente 99,9% –, sendo a fração restante de 0,1% constituída por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como nutrientes (em especial nitrogênio e fósforo) e microrganismos (SPERLING, 2005). Quando lançados sem o devido tratamento em corpos receptores, os esgotos sanitários atuam como fonte de alimento para microrganismos, que irão ingerir grandes quantias de oxigênio dissolvido (OD) para consolidação da matéria orgânica e outros poluentes, tendo potencial de levar a água a um estado anóxico ou anaeróbio (sem oxigênio), letal para diversas espécies aquáticas, (WANG *et al.*, 2005).

Isto posto, com o intuito de mensurar a quantidade de matéria orgânica presente - identificando o grau de poluição de uma água residuária para realizar o dimensionamento de ETEs e medir a eficiência delas - é calculada por meio de ensaios a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Por conseguinte, para identificar a quantidade de OD necessária para que ocorra a oxidação da matéria orgânica de uma amostra por intermédio de um agente químico - tal como o dicromato de potássio - realiza-se um ensaio para determinar a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Segundo Jordão e Pessoa (2011), a DQO de esgotos tem valores que variam entre 200 e 800 mgO<sub>2</sub>/L, sendo característicos valores da ordem de 600 mgO<sub>2</sub>/L, já no caso da DBO, no intervalo de 100 a 400 mgO<sub>2</sub>/L, com 300mgO<sub>2</sub>/L representando um valor expressivo. No tocante a relação DQO/DBO, que expõe a biodegradabilidade do efluente, encontra-se comumente entre 1,7 e 2,4 (SPERLING, 2005).

No que se refere a nutrientes, o nitrogênio demanda uma maior atenção, pois sua presença em excesso pode ocasionar o processo de eutrofização de corpos receptores, especialmente em corpos lênticos (águas paradas e sem corrente), o que resultaria num alto consumo e conseqüentemente esgotamento de OD, prejudicando toda a fauna aquática (SIAAP, 2013). Outrossim, conforme destacado por METCALF & EDDY (1991), em águas residuárias brutas, ele pode apresentar-se nas formas orgânica e inorgânica (nitrogênio amoniacal) e sua oxidação também exige OD, além do fato de a amônia livre ser tóxica ao ecossistema aquático.

Diante desses fatos, é evidente que o lançamento de esgotos *in natura* traz impactos severos para o meio ambiente e conseqüentemente para a sociedade. Dessa forma, para que ocorra a remoção dos compostos contaminantes, ou de parte deles, de modo a tornar o efluente adequado ao lançamento no corpo receptor, é indispensável a coleta e o encaminhamento destes às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), que são unidades ou estruturas projetadas para realizar o correto tratamento de esgoto, diminuindo as porções contaminadoras dos compostos de interesse, em especial a matéria orgânica, sólidos em suspensão e nitrogênio amoniacal (FONSECA, 2016).

### 3.2.COMPOSIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

A composição dos esgotos sanitários comuta em razão do uso ao qual a água foi submetida (GARCIA 2017). Ademais, segundo Metcalf e Eddy (2013), cerca de 70% dos sólidos presentes neles são de fontes orgânicas, sendo estes constituídos maiormente por proteínas (40 a 60 %), carboidratos (12 a 50%), gordura e óleos (8 a 12%). Apesar disso, não é necessário realizar uma separação da matéria orgânica em cada um desses elementos para dimensionar os sistemas de tratamento. Dessa forma, por vezes é preferível utilizar parâmetros indiretos para retratar a qualidade do esgoto estudado. Tais parâmetros são divididos em: físicos, químicos e biológicos. A tabela 1 apresenta os valores representativos das principais características físico-químicas de esgotos brutos, dividindo-os em três grupos, de acordo com a concentração de poluentes. Já o Quadro1 mostra os principais parâmetros biológicos.

**Tabela 1 - Caracterização típica de esgotos brutos, conforme suas categorias de concentração de poluentes.**

Parâmetro	Unid.	Esgoto Fraco	Esgoto médio	Esgoto Forte
Sólidos totais	mg/L	350	720	1200
Sólidos em Suspensão	mg/L	100	220	350
DQO	mg/L	250	500	800
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	100	200	400
Carbono Orgânico Total	mg/L	80	160	290
Nitrogênio Orgânico	mgN/L	10	20	35
Nitrogênio Amoniacal	mgN/L	10	25	50
Nitrito + Nitrato	mgN/L	-	~0	-
Fósforo Total	mgP/L	5	10	20
pH			6,7 a 8,0	

Fonte: Adaptado de JORDÃO & PESSÔA (2011).

**Quadro 1 - Principais microrganismos presentes no esgoto.**

Microrganismo	Descrição
Algas	Organismos autotróficos, contêm clorofila; importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento, em lagos e reservatórios.
Arqueas/Archaeas	Semelhantes as bactérias em tamanho e composição celular básica; diferentes das bactérias nos quesitos parede celular, material celular e composição do RNA; importantes em processos anaeróbios.
Bactérias	Organismos unicelulares; presentes em diversas formas e tamanhos; principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica; algumas bactérias são patogênicas.
Fungos	Organismos predominantemente aeróbios; importantes na decomposição da matéria orgânica; podem crescer sob condições de baixo pH.
Protozoários	Organismos unicelulares, geralmente sem parede celular; majoritariamente aeróbios ou facultativos; se alimentam de bactérias, algas e outro microrganismos; essenciais no tratamento biológico para manter o equilíbrio entre os diversos grupos; alguns são patogênicos.
Helmintos	Animais superiores; ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.
Vírus	Organismos parasitas formados por uma associação de material genético e estrutura proteica; patógenos e frequentemente de difícil remoção no tratamento de esgotos.

**Fonte: Adaptado de Sperling (2005).**

De forma geral, Sperling (2016) afirma que o tipo de tratamento de esgotos a ser empregado, depende diretamente dos parâmetros já citados.

### 3.3. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO SANITÁRIO

O tratamento biológico é originado da investigação de processos naturais vindos do desenvolvimento tecnológico ocasionado pela evolução dos seres humanos (OLIVEIRA, 2019). Nesses sistemas, o mecanismo de remoção da parcela poluente é similar ao fenômeno de autodepuração - busca pelo estágio inicial antes do lançamento de efluentes - dos ambientes aquáticos. Dessa forma, os elementos orgânicos e inorgânicos contaminantes serão transformados por meio do metabolismo microbiológico, originando produtos inertes e com pequeno potencial poluidor (SPERLING, 2016). Durante o processo, os microrganismos fazem uso dos poluentes como fonte de energia (ESPOSITO, 1995).

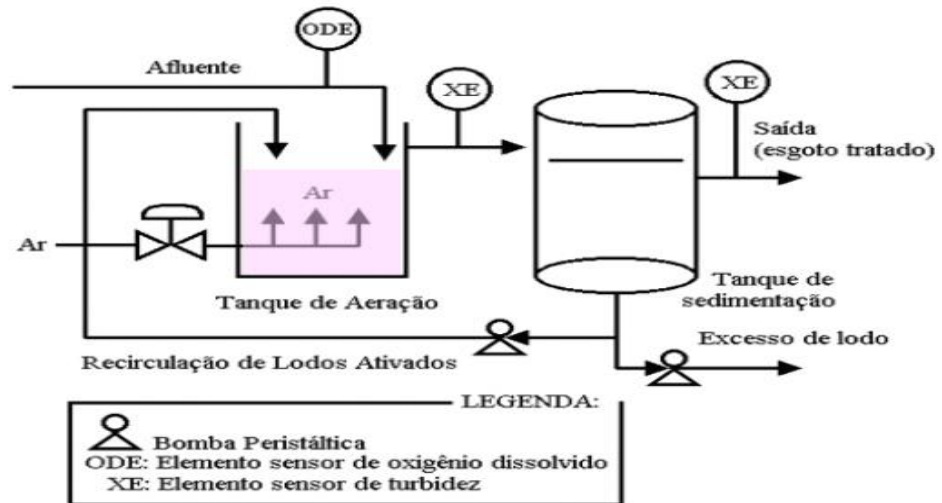
A atividade de degradação dos poluentes se dá por vias aeróbias, anaeróbias ou anóxicas. Segundo Sperling (2016), ocorrerá de modo aeróbio quando existir uma alta concentração de gás oxigênio (O<sub>2</sub>) no corpo líquido, facilitando o uso das moléculas de O<sub>2</sub> como

receptores de elétrons na respiração biológica. Por outro lado, caso haja acúmulo de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no corpo líquido, o mesmo poderá ser utilizado como aceptor final de elétrons no procedimento de respiração, o que desencadeará por consequência a formação de nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ) como produto final (desnitrificação). O processo realizado em tais circunstâncias é então por vias anóxicas (OLIVEIRA, 2008). Por fim, para as situações em que há ausência de  $\text{O}_2$  e  $\text{NO}_3^-$ , o metabolismo será dado tão somente por via anaeróbia, onde ocorrerão reações de oxirredução, através da conversão de carbono orgânico em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (CHERNICHARO, 1997).

Dessa forma, fazendo uso de dispositivos tecnológicos projetados junto as reações bioquímicas naturais de depuração, torna-se possível gerar ambientes com condições controladas e eficientes no quesito de retirada de poluentes (JORDÃO, 1995). Tais tecnologias vêm sendo estudadas ao desenrolar-se da história humana, tendo um maior aprofundamento no final do século XIX, no momento em que o estudo do tratamento biológico começou a ser alavancado, com destaque para os processos de filtração biológica (SPERLING, 2016).

Mediante a isso, em 1914 foi desenvolvido o sistema de lodos ativados, no qual era empregado biomassa suspensa para o tratamento dos efluentes. Durante esse processo, o resíduo orgânico é inserido em um reator onde há uma massa bacteriana mantida em suspensão. O ambiente aeróbio é mantido no interior por meio de aeradores mecânicos que promovem a mistura. Dessa forma, passado um determinado tempo, o esgoto é encaminhado a um tanque de decantação, onde os flocos se separam da água residuária. Assim, uma parte do lodo sedimentado é recirculada - com o intuito de manter sob controle a concentração de organismos no reator - e a outra é removida do sistema. A Figura 1 apresenta um esquema do processo de lodos ativados.

**Figura 1 - Esquema geral do processo de lodos ativados**



Fonte: Acervo da UFPR (s.d).

### 3.4.O BIOFILME NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Segundo Lima (2015, pag.22), biofilmes são definidos como: “uma matriz biológica complexa composta principalmente por células e produtos celulares, que podem ter a forma de grânulos densos ou crescer aderidas a uma superfície”. Eles são constituídos por elementos como água, produtos microbianos solúveis, material inerte e substâncias poliméricas extracelulares (WEF, MOP no.8, 2009). Ademais, Briones & Raskin (2003) dizem que: “Os biofilmes abrigam, em geral, uma comunidade microbiana complexa, com múltiplas espécies, tais como algas, fungos, protozoários, nematoides e grande variedade de bactérias”. A Figura 2 exemplifica uma comunidade microbiana encontrada em biofilme de um suporte retirado de um reator tratando esgotos sanitários.

**Figura 2 - Comunidade microbiana de um biofilme extraído de suporte plástico em água.**



Obs: Flechas indicando nematoides, bactérias e protozoários.

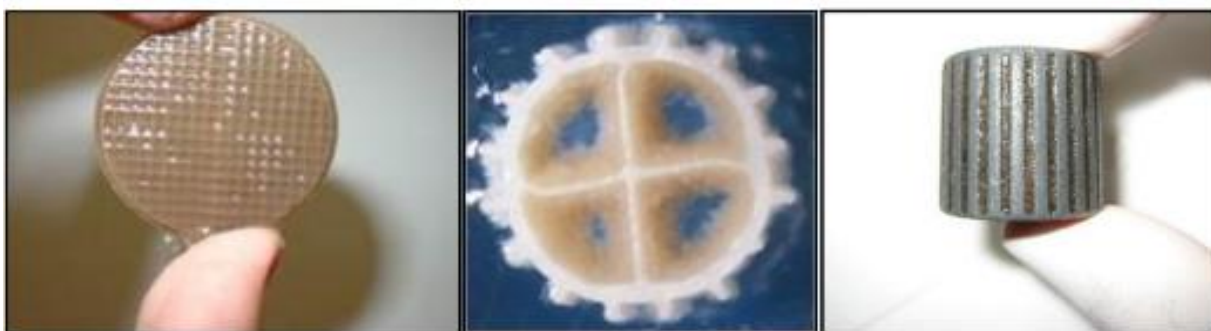
Fonte: Fonseca (2016).

Nos reatores de biomassa em suspensão - como nos processos de lodo ativado -, o acúmulo de microrganismos usados pra realizar a metabolização das substâncias poluidoras é adquirido por meio do retorno de biomassa retida nas unidades de separação de sólidos, por outro lado, os reatores de biofilme retêm as células bacterianas na proporção requisitada para o processo, em biofilmes aderidos a suportes fixos ou móveis. (FUJII, 2011). No primeiro, os suportes são imóveis nos reatores e as reações biológicas acontecem no biofilme desenvolvido no material com superfície de contato e aderência para colônias de bactérias (mídias). Fazem parte desse sistema reatores anaeróbios e reatores biológicos aerados.

Por outro lado, os sistemas de meio móvel possuem contadores biológicos rotativos, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), reatores de biofilme em movimento vertical, bem como reatores de leito fluidizado, por onde os meios de biofilme são preservados constantemente em movimento por influência de forças mecânicas e hidráulicas (RODGER & ZHAN, 2003). Entre os tipos de reatores, o MBBR ganha destaque por suas qualidades que serão abordadas a seguir, no decorrer do trabalho, no subcapítulo 3.5.2.

De toda forma, para que o crescimento aderido ocorra, é necessário que haja um meio suporte sólido, onde as bactérias irão se firmar. A Figura 3 mostra exemplos de biomassas aderidas a esse elemento.

**Figura 3 - Biomassas aderidas a um meio suporte.**



**Fonte: Oliveira (2015).**

### 3.5. REATOR DE BIOFILME COM LEITO MÓVEL (MBBR)

#### 3.5.1. Histórico do MBBR

No ano de 1987, a capital da Inglaterra, Londres, foi o palco da Segunda Conferência Internacional do Mar do Norte. O evento reuniu representantes da Alemanha, Bélgica, Dinamarca, França, Noruega e Países Baixos, com o intuito de debater soluções para manter a qualidade do Mar do Norte. Em decorrência do acordo realizado, foi definido que algumas estações de tratamento de efluentes de pequeno porte da Noruega, deveriam ampliar sua capacidade, bem como adicionar as etapas de remoção de nitrogênio e fósforo (RUSTEN *et al.*, 1994; ODEGAARD *et al.*, 1993, 1994)

Diante disso, em 1988 as autoridades norueguesas responsáveis pelo controle da poluição promoveram o desenvolvimento de projetos de ETEs com dimensões compactas e elevada capacidade de tratamento. Dessa forma, em 1990, a empresa norueguesa *Kaldnes Miljoteknologi A/S*, em parceria com a Universidade da Noruega, incentivada pela possibilidade de ampliação da capacidade das estações de tratamento de esgoto existentes, por meio da combinação entre processos de biomassa aderida e em suspensão, iniciou o desenvolvimento do processo MBBR, (RUSTEN *et al.*, 1995; 1997; ODEGAARD *et al.*, 2006).

Logo, no outono de 1992, ODEGAARD *et al.* (1993) realizaram em duas ETEs, os primeiros trabalhos empregando a tecnologia, cujos produtos apresentaram-se satisfatórios, especialmente em razão da otimização da capacidade do reator por meio do aproveitamento dos volumes presentes.

Assim, essa técnica ganhou notabilidade mundial, sendo estendida para outras nações. Nos Estados Unidos por exemplo, foi inaugurada em 1995 a primeira estação com essa tecnologia, tendo em 2012 mais de 36 instalações na América do Norte (QIQI; QUIANG; IBRAHIM, 2012). Já na França, a primeira estação desse tipo foi inaugurada em 2006, com mais de 20 instalações até 2012. (CANLER, PERRET & CHOUBERT, 2013).

No Brasil, o sistema MBBR está em etapa de expansão. De acordo com dados da Agência Nacional de Águas (ANA), existem ao todo seis estações municipais fazendo uso de tal sistema no núcleo sul-sudeste (Rio de Janeiro, Santa Catarina e São Paulo) (FONSECA, 2016). Em 2018, foram inauguradas duas ETEs com essa tecnologia no estado do Amazonas (OLIVEIRA, 2019). Por conseguinte, em novembro de 2019, foi inaugurada na cidade de Maceió, a primeira ETE com sistema MBBR no estado de Alagoas (Companhia de Saneamento de Alagoas, 2019). Ademais, na capital alagoana, as obras para implantação de uma segunda

estação de tratamento de esgotos vêm sendo executadas. Esta, possui previsão de inauguração até 2022.

### 3.5.2. Funcionamento do sistema

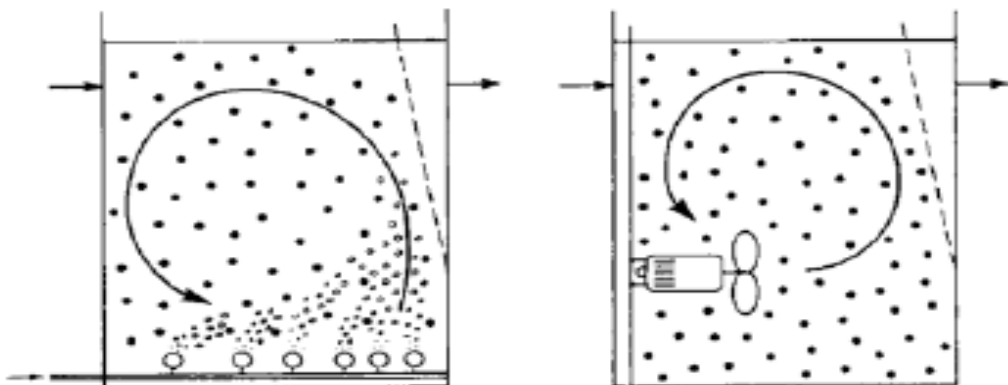
O Reator Biológico com leito móvel, pode ser executado tanto para o caso de novas ETEs, bem como para situações de adaptação ao processo de lodos ativados existentes (OLIVEIRA, 2008). No interior do reator, meios suportes plásticos de baixa densidade são mantidos em suspensão e ao serem agitados por sistemas de aeração ou de mistura, ostentam elevada locomobilidade, exposição e contato com a massa líquida em suspensão. Essas peças responsáveis pela adesão das bactérias recebem o nome de biomédias. Tais elementos (Figura 4) consistem em pequenas peças construídas em polietileno, com densidade específica menor que a da água. Logo, devido a turbulência ocasionada pela aeração difusa, as biomédias encontram-se em movimento contínuo. Modelo de funcionamento das biomédias é apresentado na Figura 5.

**Figura 4 - Suporte plástico para biofilme típico para MBBR.**



Fonte: Registrado pelo autor (2021).

**Figura 5 - Princípio de funcionamento da tecnologia MBBR.**


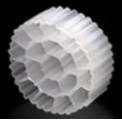






Fonte: Oliveira (2015).



As peças utilizadas nesse sistema têm uma grande área de superfície e densidade geralmente entre 0,92 e 0,98g/cm<sup>3</sup> (ZILLI, 2013). O quadro 2 apresenta os produtos oferecidos pelos principais fabricantes de meio suporte no mercado.

**Quadro 2 - Características de meios suporte, para reator MBBR, conforme especificado pelos fabricantes. Fonte: Elaborado pelo autor, com base em catálogos da BioCell, B&FDIAS e Biowater Technology (2021).**

Fabricante	Nome	Área Superficial Protegida (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Dimensões (Diâmetro; Profundidade) mm	Imagem do Meio Suporte
BioCell	B1-10-8	800	10; 8	
BioCell	B3-25-10	500	25; 10	
BioCell	B5-25-8	650	25; 8	
BioCell	B7-25-4	1200	25; 4	
B&FDIAS	PZE 500	500	26; 16	
Biowater Technology	BWTX	640	14,5; 18,5; 7,3 (comprimento; largura; altura)	

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em catálogos da BioCell, B&FDIAS e Biowater Technology (2021).

O emprego de meios suportes no reator biológico traduz-se na criação de área superficial para o crescimento de biomassa e elevação do tempo de retenção celular, que irá disponibilizar uma comunidade microbiana mais diversificada e ativa no interior destes reatores (OLIVEIRA, 2019), possibilitando instalações mais compactas e estáveis, sob a ótica orgânica e hidráulica (BASSIN, 2012). Dessa forma, a maior concentração de sólidos sustentada de forma aderida e em suspensão no reator, permite o aumento da decomposição da matéria orgânica carbonácea, além da conversão de elementos nitrogenados, resultando em menores volumes de reator biológico (FONSECA, 2016).

É válido destacar que biofilme será formado e desprendido do corpo das peças por forças cisalhantes geradas pelo fluxo turbulento. Por conta disso, é imprescindível que haja uma

unidade de decantação após o reator aeróbio, para evitar que o material que foi solto dos meios suportes seja transportado ao corpo receptor junto com o efluente tratado.

Fujii (2011) afirmou que: “As primeiras plantas instaladas na Noruega não apresentaram sinais de desgaste em mais de 15 anos de operação contínua”. Diante disso, como vantagens do uso de reatores MBBR, especialmente em relação aos sistemas de lodo ativado, tem-se:

- i) Menor volume de reatores biológicos (ODEGAARD, 2006; FUJII, 2011; OLIVEIRA et al., 2013);
- ii) Menores taxas de aplicação de sólidos para as unidades de separação (FONSECA, 2016);
- iii) Alternativa com reduzida quantidade de intervenções para a adequação de plantas existentes de tratamento de esgotos domésticos (METCALF & EDDY, 2016).

Por outro lado, é importante destacar que o sistema de aeração empregado no MBBR deve levar em consideração a adição de oxigênio, que é necessário para atender a demanda de biomassa extra para a remoção de matéria orgânica e nitrificação do esgoto (OLIVEIRA et.al., 2013). Com isso, o consumo de oxigênio e conseqüentemente o de energia empregado no processo MBBR é superior ao de sistemas convencionais, como o de lodos ativados.

### 3.5.3. Aspectos de projeto

Um MBBR pode se apresentar como um reator individual ou esquematizado na forma de diversos reatores em série, de maneira tal que as concentrações de substrato diminuirão, na proporção que o efluente avança através dos reatores. Essa prática também visa otimizar a utilização do volume dos tanques de processo, mantendo os reatores biológicos iniciais dedicados preferentemente à remoção de matéria orgânica. (GARCIA, 2017).

Além disso, para a concepção de sistemas que fazem uso dessa tecnologia, devem ser levados em conta as seguintes questões: Objetivos específicos do tratamento, características do esgoto afluente e geometria da área de implantação. Ademais, em casos de adaptações de sistemas existentes, devem ser realizados os seguintes levantamentos: Configuração dos tanques de processo existentes, esquema de tratamento, aeração, tipo de difusor, a hidráulica do sistema, bem como o potencial para adaptação dos tanques (FUJII, 2011).

Com relação aos custos de implantação, Oliveira *et al.* (2013), realizaram uma análise comparativa entre os custos de implantação de uma unidade MBBR para o atendimento de populações equivalentes de 50.000 habitantes, com vazão média de esgoto de 8.000m<sup>3</sup>/dia – comparando MBBR com aeração prolongada – e 500.000 habitantes, com vazão média de

80.000m<sup>3</sup>/dia – confrontando custos entre MBBR e lodo ativado convencional. No estudo foram levados em conta os custos da obra de concreto armado e do sistema de aeração, onde foi utilizado o aplicativo SIENGE, um software específico para a indústria da construção civil para fazer o levantamento. A existência de câmaras anóxicas para pré-desnitrificação foram desconsideradas, com o intuito de reproduzir o cenário de diversos sistemas de lodos ativados no Brasil. Os valores obtidos por eles para as populações de 50.000 e 500.000 habitantes estão dispostos nas tabelas 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 2 - Custo de implantação para 50.000 habitantes.**

Processo	Custos Específicos em 2013(R\$)		Custos Específicos em 2021*(R\$)	
	Constr. Civil	Aeração	Constr. Civil	Aeração
Aeração prolongada	950.056	274.430	1.533.459	442.950
MBBR	460.918	303.290	743.955	489.532

**Legenda:** \*Valores atualizados pelo Índice Nacional de Construção Civil (INCC).

**Fonte:** Adaptado de Oliveira *et al.* (2013).

**Tabela 3 - Custo de implantação para 500.000 habitantes**

Processo	Custos Específicos em 2013 (R\$)		Custos Específicos em 2021*(R\$)	
	Constr. Civil	Aeração	Constr. Civil	Aeração
Lodo ativado convencional	3.168.366	762.538	5.113.970	1.230.791
MBR	1.292.964	609.881	1.533.459	984.391

**Legenda:** \*Valores atualizados pelo Índice Nacional de Construção Civil (INCC).

**Fonte:** Adaptado de Oliveira *et al.* (2013).

Como pode ser visto na tabela 2, Oliveira *et al.* (2013), sob as condições impostas para uma população de 50.000 habitantes, encontraram que os custos de implantação do sistema MBBR - no que se diz respeito a construção civil - foram inferiores aos de lodo ativado com aeração prolongada. Em contrapartida, os gastos para a implantação do sistema de aeração foram superiores no MBBR. Já na tabela 3, que corresponde aos resultados do estudo feito para uma população de 500.000 habitantes, o sistema MBBR foi mais vantajoso economicamente. Tais aspectos são importantes durante a escolha do sistema adotado para uma estação de tratamento de efluentes.

Outrossim, para se trabalhar com sistemas MBBR, é necessário que sejam levados em consideração alguns aspectos operacionais, com o intuito de garantir um bom desempenho do sistema (LIMA, 2015), tais como:

- Razão de Recheio ( $V_s/V_r$ )

Também chamado de fração de enchimento, esse parâmetro é definido como sendo a razão entre o volume preenchido pelos meio suportes e o volume total do reator. Através dele é possível identificar o número necessário de biomédias para ocupar tal reator (BASSIN, 2011). Normalmente ele pode ser definido conforme o projetista deseja, todavia, aconselha-se adotar um valor inferior a 70%, de maneira a garantir a movimentação apropriada dos suportes. (ODEGAARD, 2006; RUSTEN *et al.*, 2006).

- Hidrodinâmica do reator

O aspecto hidrodinâmico trata assuntos como o campo de velocidade interno no reator, além da probabilidade de ocorrência de zonas estagnadas. Ele pode ser afetado caso a razão de recheio tenha sido superior aos valores estabelecidos como ideais a estes sistemas, gerando regiões com acúmulo de suportes no reator (ALMADA, 2012)

Dessa forma, manter boas condições hidrodinâmicas acaba por contribuir com a preservação do biofilme. Ademais, a turbulência, aliada as forças cisalhantes desempenham um papel importante na manutenção de uma espessura adequada dessa camada protetora, o que ajudará a impedir a formação de regiões de estagnação. Estas zonas, podem ser resolvidas através da alteração do direcionamento do fluxo do ar (ALMADA, 2012; RUSTEN *et al.*, 2006).

- Tempo de Detenção Hidráulico (TDH)

Tal parâmetro corresponde a razão entre o volume do reator e a vazão de alimentação. Ao trabalhar-se com reatores de leito móvel, o valor de TDH é relativamente pequeno, contudo, ele está sujeito a variações dependendo do efluente em questão (ODEGAARD, 2006).

- Oxigênio Dissolvido (OD)

É o parâmetro que garante a concentração de oxigênio obrigatória para a biodegradação dos poluentes, assegurando a movimentação adequada dos suportes. O valor mínimo geralmente aplicado de OD é de  $2 \text{ mg. L}^{-1}$ . Contudo, podem ser usadas concentrações maiores, com o intuito de evitar a limitação desse componente. (BASSIN, 2011). Tal fato implica em custos operacionais mais elevados ao utilizar um MBBR, especialmente em termos energéticos, visto que é necessário atender a demanda de biomassa extra para a remoção de matéria orgânica e nitrificação do esgoto (BASSIN, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Teran *et al.* (2019) atestaram a eficiência do sistema MBBR em gerar efluentes dentro dos padrões indicados de lançamento em corpos. Eles fizeram uso de um reator em escala piloto para realizar a coleta de amostras de esgoto bruto e tratado e posteriormente fizeram análise de DBO e eficiência de remoção de DBO. Os resultados encontrados por eles estão dispostos na Tabela 4.

**Tabela 4 - Análise de DBO do Afluente e Efluente final do reator em escala piloto e eficiência da remoção da DBO.**

Data de análise	DBO Afluente (mg/L)	DBO Efluente (mg/L)	Eficiência de remoção da DBO (%)
26/10/2018	377	80	78,78
16/11/2018	230	113	50,87
22/11/2018	202	38	81,19
28/11/2018	171	26	84,80
07/02/2019	52	9	82,69
23/03/2019	159	18	88,87

**Fonte: Adaptado de Teran et al. (2019).**

A resolução CONAMA 430/2011 deixa estabelecido que a condição ideal para o despejo no corpo d'água de DBO seja de 60%. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, o reator comprovou sua capacidade de remoção de matéria orgânica, além de apresentar aumento em sua eficiência com o tempo.

### 3.6.ETES SUSTENTÁVEIS

Os sistemas de esgotamento sanitário são usuários massivos de energia elétrica e responsáveis por 2,5% do consumo total nacional, sendo seu custo energético mais acentuado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e nas estações elevatórias (JORDÃO, 2008). Dados oficiais do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) mostram que no ano de 2017, as ETEs brasileiras gastaram cerca de 5 bilhões de reais para custeio de despesas com energia elétrica.

Os principais gastos com energia nessas ETEs se concentram em sistemas biológicos aerados ou aeração forçada, o que fortalece a necessidade de se ter um cuidado na escolha do processo de tratamento, bem como dos equipamentos e condições operacionais da fase biológica (JORDÃO, 2014).

Queiroz (2017), destaca que para reduzir o consumo de energia existem duas opções: diminuir a potência – por meio de equipamentos ou processos mais eficientes – ou diminuir o período de funcionamento dos equipamentos – atuando na mudança de hábitos ou processos. Cita também a importância de realizar reparos e manutenção nas bombas e motores elétricos, visto que o envelhecimento deles, sem os devidos cuidados, pode acarretar no incremento do consumo energético.

Paralelo a isso, tem-se como outra problemática o gerenciamento ou gestão de resíduos sólidos por parte das concessionárias responsáveis pelo tratamento de esgoto, sendo agregado a este recurso, aproveitamento, redução, recuperação e impactos ambientais dos sólidos que são removidos no sistema de tratamento de lodo e dispostos em aterros (BORGES *et al.*, 2019), idem para o efluente tratado, que é descartado no corpo receptor, quando poderia ser direcionado a outras aplicações (GIORDANO, 2016).

Diante dessas questões, surge o novo conceito de ETEs sustentáveis, que envolve não só a eficiência do processo de tratamento, mas a relação entre a tecnologia de tratamento e o seu custo de operação e manutenção, assim como também do potencial de recuperação dos subprodutos gerados, visando contemplar os três pilares do desenvolvimento sustentável: o pilar econômico, o pilar social e o pilar ambiental. Seguindo essa linha de pensamento, o Instituto Nacional de Tecnologia (INCT) diz que a visão de rejeito é uma ideia já ultrapassada, que pesquisas nacionais e internacionais mostram que é possível recuperar recursos em ETEs, tornando o processo de tratamento mais sustentável, e que alguns países desenvolvidos já consideram as ETEs como Estações de Recuperação de Recursos. Além disso, o conceito de desenvolvimento sustentável nesses empreendimentos engloba não só a reutilização de produtos, mas também o combate ao desperdício – sobretudo com energia –, visando usufruir dos serviços prestados, diminuindo os custos, sem renunciar da qualidade dos sistemas e dos equipamentos (QUEIROZ, 2017).

Ademais, Silva Júnior & Obraczka (2020) realizaram um estudo de caso analisando os efluentes tratados de uma ETE no Rio de Janeiro e constataram que o efluente apresentou requisitos de qualidade preconizados por normas estrangeiras e nacionais, podendo ser utilizado como água de amassamento de concreto. Por conseguinte, do ponto de vista sustentável, eles identificaram que a implementação de um sistema de reuso na ETE, reduziria o lançamento de matéria orgânica e nutrientes no corpo receptor, impactando na melhoria da qualidade do sistema estuário local.

Além disso, Oliveira *et al.* (2018), através de um trabalho, exemplificaram alternativas, com base em revisões bibliográficas da utilização de resíduos sólidos de ETEs. Entre os usos, foram destacados os fertilizantes oriundos do tratamento de lodo - que é rico em nutrientes, além de possuir alta carga orgânica, sendo benéfico para as plantações -, além do uso em agregados leves e materiais cimentícios.

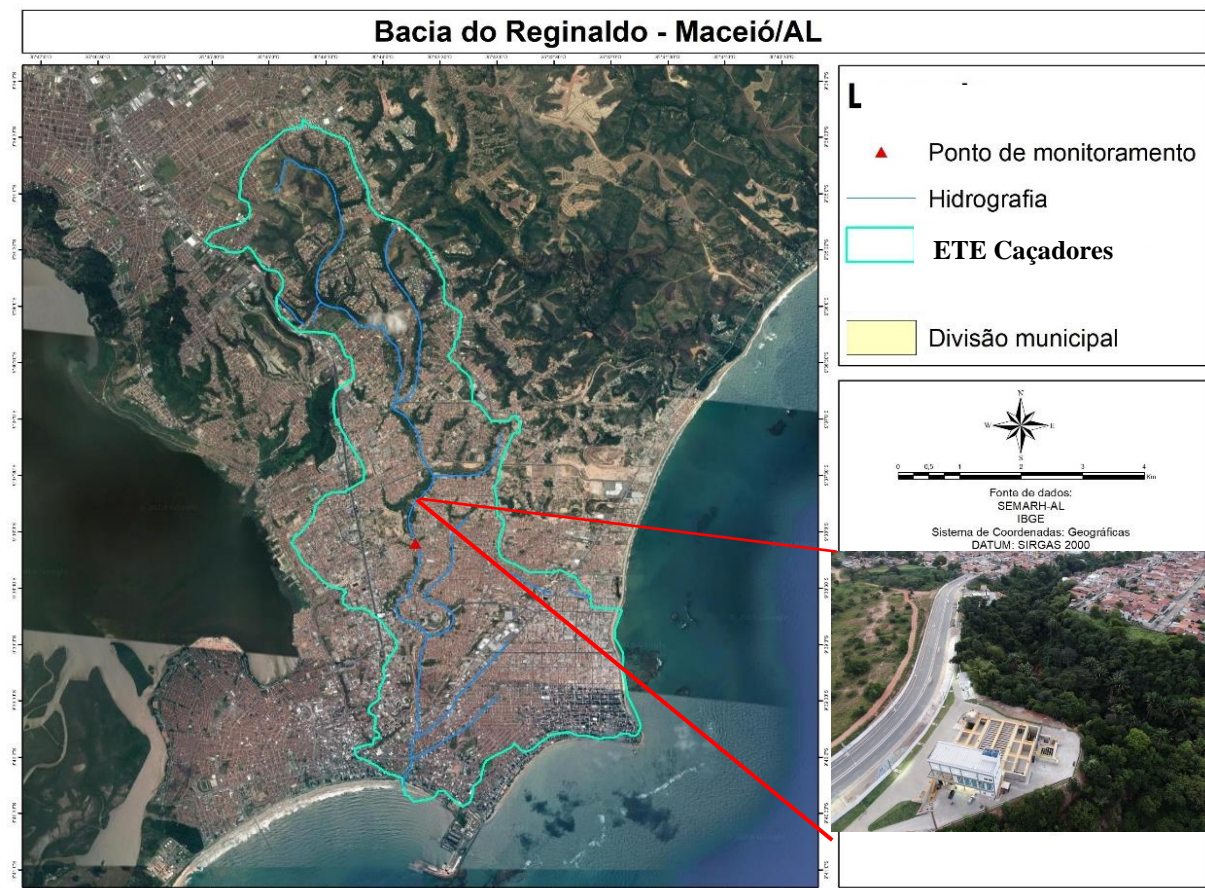
Diante desses fatos, torna-se evidente a possibilidade de reuso de efluentes e de lodo, ambos tratados em ETEs, além de ser possível trabalhar para reduzir os gastos com energia elétrica, principalmente através de um programa de gestão de energia que busque a eficiência energética. Tais soluções, se adotadas, sem dúvida contribuirão com o desenvolvimento de ETEs mais sustentáveis e como consequência, a redução de custos operacionais, recursos hídricos e descarte de resíduos em aterros.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

O objeto deste estudo, a ETE Caçadores, localiza-se na cidade de Maceió, no bairro da Pitanguinha, na bacia hidrográfica urbana do riacho Reginaldo, em área situada aos fundos do 59º Batalhão de Infantaria Motorizado do Exército, sob as seguintes coordenadas geográficas (sistema UTM, datum WGS84): longitude 200274.00 m E e latitude 8934262.00 m S. A ETE está pronta, em fase de testes e aguardando a conclusão da parte inicial de rede coletora, que destina os esgotos a ETE, ser concluída. A Figura 6 mostra a localização do ponto de monitoramento da ETE em questão, bem como a delimitação da bacia hidrográfica do riacho Reginaldo.

**Figura 6 - Bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, indicando a localização da ETE Caçadores.**



**Fonte: Adaptado de SEMARH AL (2021).**

O empreendimento é resultado de um contrato de Locação de Ativos realizado entre a Saneamento Maceió LTDA (SANEMA) e a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) e as empresas EngematLoc-Terraplanagem Locações LTDA e Rocha Cavalcante. A ETE será responsável por realizar o tratamento dos esgotos coletados de sete bairros da parte alta da



cidade (Canaã, Farol, Gruta de Lourdes, Jardim Petrópolis, Ouro Preto, Pitanguinha e Santo Amaro), projetada para atender uma população e vazão média de final de plano, respectivamente de 122.681 habitantes e 238 L/s, com a tecnologia do sistema MBBR, variante do processo de lodos ativados, precedido de reatores anóxicos, tendo o riacho do Reginaldo como o receptor dos efluentes tratados. A Figura 7 apresenta uma visão do ponto de lançamento dos efluentes – corpo receptor, riacho Reginaldo- tratados pela ETE.

**Figura 7 - Visão do local onde passa o corpo d'água que receberá os efluentes tratados pela ETE.**



**Fonte: Adaptado do acervo da SANEMA (2021).**

#### 4.2.DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Existem várias tecnologias de tratamento, cada uma com suas peculiaridades, e a seleção da tecnologia a ser adotada deve levar em conta vários aspectos, de forma a contemplar os três pilares do desenvolvimento sustentável: o pilar econômico, o pilar social e o pilar ambiental.

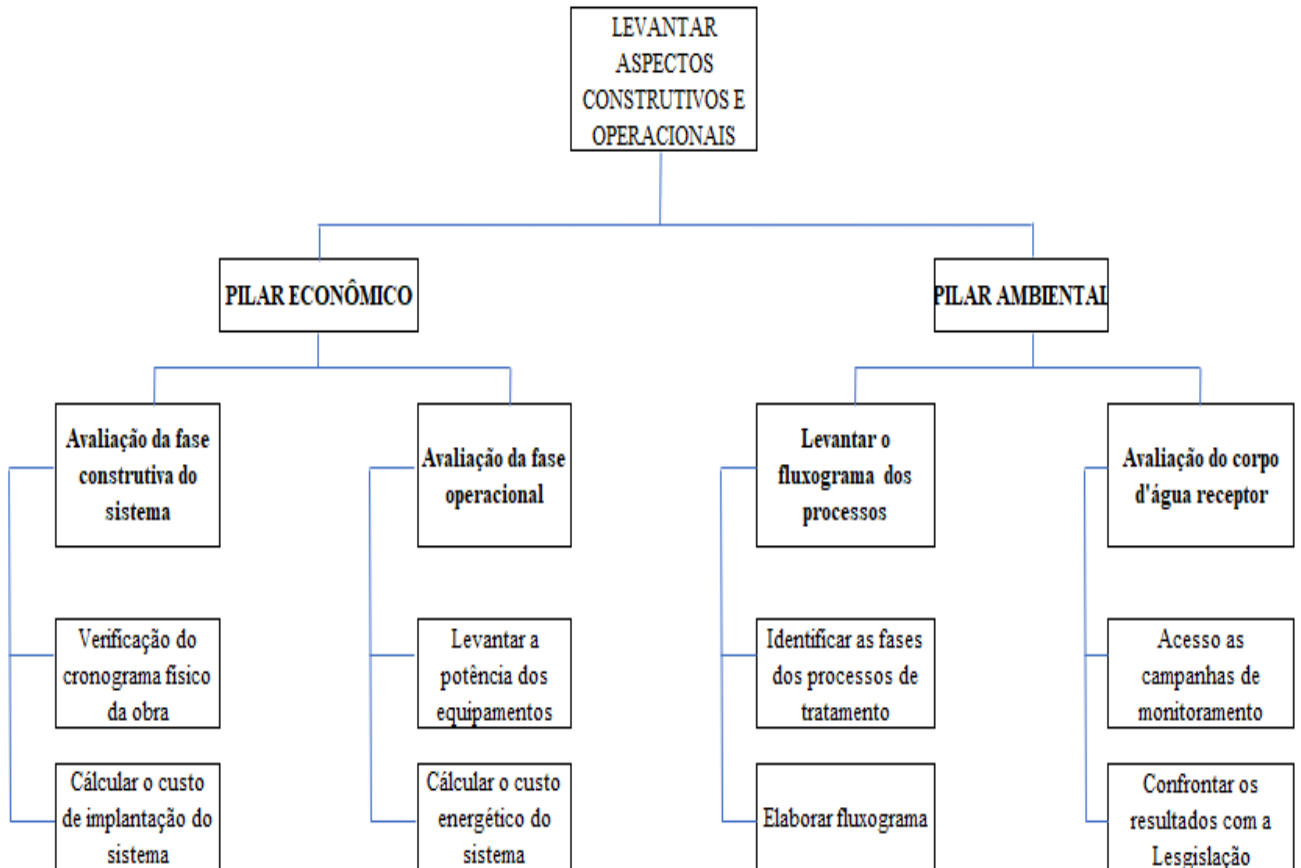
Para a ETE Caçadores, que utiliza a tecnologia MBBR para o tratamento de esgotos sanitários, foram abordados dois pilares da sustentabilidade, o pilar econômico e o pilar

ambiental. Para tanto, inicialmente foi ampliada a fundamentação teórica com o intuito de enriquecer os conhecimentos a respeito da tecnologia MBBR, tanto com relação aos aspectos técnicos quanto operacionais. Essa busca foi feita por meio de artigos, livros, normas, dissertações e teses que abordam o tema em questão.

No que diz respeito ao pilar econômico foi feita: a) uma análise da fase construtiva do sistema de tratamento e; b) uma avaliação dos custos energéticos dele. E no tocante ao pilar ambiental foi realizado: a) o levantamento do fluxograma do processo de tratamento implantado e, b) a avaliação do corpo d'água que receberá os efluentes tratados pela ETE.

O fluxo metodológico deste trabalho é apresentado na Figura 8. Nos itens a seguir, as etapas para obtenção dos resultados almejados serão detalhadas.

**Figura 8 - Fluxo metodológico seguido.**



Fonte: Autor (2021).

#### 4.2.1. Análise da fase construtiva do sistema de tratamento

A tecnologia MBBR é uma tecnologia norueguesa, e sob a ótica do pilar econômico esta etapa do trabalho objetivou identificar:

- **As etapas construtivas:** Desde a fundação até a finalização e entrega das obras, a fim de ver as tecnologias construtivas empregadas, aquisição e teste dos equipamentos adquiridos. Para tanto foi realizado o acompanhamento presencial das obras e consultas ao projeto executivo. Esse acompanhamento possibilitou verificar o cronograma físico da obra, e ajudou a identificar os possíveis entraves de execução de um empreendimento desta natureza.
- **Os custos de implantação da tecnologia MBBR:** Para tal, inicialmente realizou-se um levantamento comparativo na literatura atual entre a tecnologia MBBR e outras tecnologias. Em seguida, foi levantado o valor da construção da obra da ETE Caçadores, por consulta ao orçamento da obra. Por conseguinte, foi realizada a estimativa do quantitativo populacional atendido, levando em conta dois cenários, a população atual - levantada por meio dos dados do IBGE, levando-se em consideração os setores censitários - e a população de projeto (final de plano). Por fim, foi calculado o custo *percapita* de implantação da obra utilizando a equação 1.

$$C_{pc} = \frac{VCO}{PA} \quad (\text{eq.1})$$

Onde:

$C_{pc}$  = Custo *percapita* de implantação em reais por habitante (R\$/hab);

$VCO$  = Valor da construção da obra em reais (R\$);

$PA$  = População atendida - habitantes (hab);

Também foi calculado o custo de implantação por metro cúbico de esgoto tratado nos dois cenários, vazão de início de plano e final de plano, aplicando a equação 2.

$$CQ = \frac{VCO}{Q * PA} \quad (\text{eq.2})$$

Onde:

$VCO$  = Valor da construção da obra em reais (R\$);

$Q$  = vazão em metro cúbico por dia (m<sup>3</sup>/dia);

CQ= Custo de implantação por metro cúbico de esgoto tratado em R\$.m<sup>3</sup>/hab.dia.

Os valores obtidos foram comparados com os dados de custos de implantação existentes na literatura.

#### 4.2.2. Avaliação da fase operacional do sistema de tratamento

A avaliação da fase operacional sob a ótica econômica foi realizada pela demanda energética da ETE e visou levantar o consumo de energia elétrica que a tecnologia empregada requer. Essa avaliação foi feita inicialmente por meio de pesquisa documental literária em relação a outras tecnologias. Por conseguinte, em virtude de a estação ainda não estar no período de operação plena durante o período de coleta de dados (outubro 2021 a dezembro de 2021), foi realizado um levantamento de campo, identificando a potência dos equipamentos presentes na ETE – desde a fase de gradeamento, até o tratamento de lodo, incluindo também ares-condicionados, equipamentos de laboratório e iluminação externa - com o intuito de obter a potência instalada deles. Em seguida, foi feita uma consulta a equipe de operação a fim de identificar o período de funcionamento desses equipamentos. Para tal, foi considerado um cenário em que a ETE estivesse tratando uma vazão de 100 L/s, que representa cerca de 42% da vazão de final de plano. Por fim, em posse do quantitativo populacional que será atendido pela estação, foi possível estimar o custo energético da ETE Caçadores por meio da equação 3.

$$CE = \frac{Pt * H}{PA} \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

CE: Consumo energético em quilowatts hora por habitante(kWh/hab);

Pt: Potência instalada em kW;

H: período de funcionamento dos equipamentos em horas (h);

PA: população atendida – habitantes (hab).

#### 4.2.3. Levantamento do fluxograma do processo de tratamento implantado

Para avaliar a sustentabilidade ambiental da ETE o levantamento do fluxograma do processo de tratamento implantado é essencial. Para a ETE Caçadores a metodologia consiste em conhecer as etapas que compõem o sistema, o objetivo de cada uma e o grau de eficiência esperado, assim como também identificar a destinação final do efluente tratado com suas características ambientais, e os resíduos/subprodutos gerados em cada etapa operacional, visto

que, os subprodutos não são mais vistos como rejeitos, mas sim como oportunidades de recuperação de recursos tornando o processo de tratamento mais sustentável.

Para tanto, foram feitas pesquisa documental e de campo. A pesquisa documental foi realizada através de consulta literária e ao projeto da ETE, enquanto a de campo, por meio de visitas técnicas ao local e entrevista a equipe de consultoria que acompanha a ETE.

#### 4.2.4. Avaliação do corpo d'água receptor

A ETE Caçadores ainda não está em período de operação plena, contudo, a SANEMA - empresa responsável pelas obras do empreendimento - com o intuito de atender as condicionantes estabelecidas pelo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA/AL) e visando alcançar os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, vem realizando o monitoramento da qualidade das águas superficiais do Riacho Reginaldo (corpo hídrico receptor dos efluentes tratados na ETE – Caçadores), em um ponto a jusante do lançamento dos efluentes tratados da ETE, desde o início das obras, nas seguintes coordenadas geográficas (sistema UTM, datum WGS84): longitude 200290.51 m E e latitude 8934346.45 m S. As campanhas de monitoramento vêm sendo realizadas bimestralmente, desde abril de 2018.

Durante a coleta das amostras, a SANEMA seguiu os procedimentos de coleta e preservação da *American Public Health Association* (APHA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) constantes no *Standard methods for the examination of water and wastewater* (2005) e na NBR 9.898 de junho de 1987 (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores), respectivamente.

As amostras coletadas foram levadas para o Laboratório da CASAL para realização de análises físico-químicas de cor, turbidez, pH, OD, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, fósforo total, DBO<sub>5</sub> e DQO, assim como também ensaios bacteriológicos de coliformes fecais.

Dessa forma, a avaliação da qualidade do corpo d'água receptor foi feito por meio de dados secundários fornecidos pela SANEMA que concedeu acesso aos documentos que continham as informações referentes as campanhas de monitoramento da qualidade de água do corpo receptor, realizadas de outubro de 2019 até a campanha de setembro/outubro de 2021. Assim, foi possível confrontar os resultados analíticos presentes nos relatórios com os valores preconizados na Resolução CONAMA Nº 357/2005, para corpos hídricos de águas doces pertencentes a classe II.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os dados coletados e os resultados obtidos até o presente momento, levaram em conta o fato de a ETE Caçadores ainda não ter entrado em período de operação plena, em virtude de não haver entrada de esgoto suficiente na estação. Isso está associado ao fato de as obras referentes a implantação da rede coletora nos bairros que serão atendidos pelo sistema de tratamento - sobretudo as estações elevatórias de esgoto -, bem como o processo de ligação das redes domiciliares ainda estarem em fase de implantação.

### 5.2. ANÁLISE DA EXECUÇÃO DO SISTEMA IMPLANTADO DURANTE SUA FASE DE CONSTRUÇÃO

#### 5.2.1. Etapa construtiva

Os serviços de implantação da ETE Caçadores foram iniciados em meados de novembro de 2018 e atualmente encontram-se com as obras civis e as instalações de equipamentos elétricos e eletromecânicos finalizadas. A obra foi executada pelas empresas EngematLoc e Rocha Cavalcante, que juntas formaram uma Sociedade de Propósito Específico (SPE). Dentre os trabalhos realizados podem ser listadas as seguintes construções/execuções: Estação elevatória de esgoto final (EEE-FINAL), emissário de esgoto bruto, escada hidráulica, prédio operacional, serviços de drenagem e urbanização, subestação de energia, tanques de processos e tanque de contato - desinfecção, conforme pode ser visto nas Figuras 9, 10, 11 e 12. Também podem ser citados a instalação de equipamentos.

**Figura 9 - Vista da EEE-FINAL**



**Fonte: Acervo da SANEMA (2021).**

**Figura 10 - Visão do prédio operacional**



Fonte: Acervo da SANEMA (2021).

**Figura 11 - Visão dos tanques de processo**



Fonte: Acervo da SANEMA (2021).

**Figura 12 - Visão do tanque de desinfecção**



Fonte: Acervo da SANEMA (2021).

Foram realizadas consultas aos responsáveis técnicos da obra a fim de identificar se houveram complexidades com a execução dos serviços. Estes alegaram que não tiveram entraves que paralisassem ou comprometessem o andamento das obras civis, tampouco ocorreram atrasos na chegada dos equipamentos. Por conseguinte, eles concederam acesso ao cronograma físico da obra a partir de abr/2021, como apresentado na Figura 13.

**Figura 13 - Cronograma físico da obra - ETE Caçadores**

SANEMA - SANEAMENTO DE MACEIÓ LTDA Realizado  
Previsto

**CRONOGRAMA FÍSICO**

DESCRIÇÃO	PESO	Acuml.	2021					TOTAL
			abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	
COMPLEXO-ETE	100%	70,27	5,94%	5,94%	5,94%	5,94%	5,94%	100%
ETE- TANQUES DE PROCESSO	20,94%	100%						100%
PRÉDIO OPERACIONAL	4,88%	90%	5,00%	5,00%				100%
TANQUE DE CONTATO	3,22%	95%	2,50%	2,50%				100%
ESCADA HIDRÁULICA	0,55%	100%						100%
DRENAGEM E URBANIZAÇÃO	1,76%	10%	15,00%	15,00%	25,00%	25,00%	10,00%	100%
SUBESTAÇÃO	0,27%	80%	10,00%	10,00%				100%
EEE-FINAL	10,83%	60%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%		100%
EMISSÁRIO FINAL	1,21%	100%						100%
EQUIPAMENTOS -FORNECIMENTO/MONTAGEM	56,34%	59%	11,00%	11,00%	11,00%	4,00%	4,00%	100%

**Fonte: SANEMA (2021).**

Durante o início do período da coleta de dados (outubro de 2021), foi possível averiguar que o cronograma apresentado pela empresa e exposto na Figura 13 foi seguido, visto que as obras foram finalizadas no horizonte de tempo estimado – setembro de 2021.

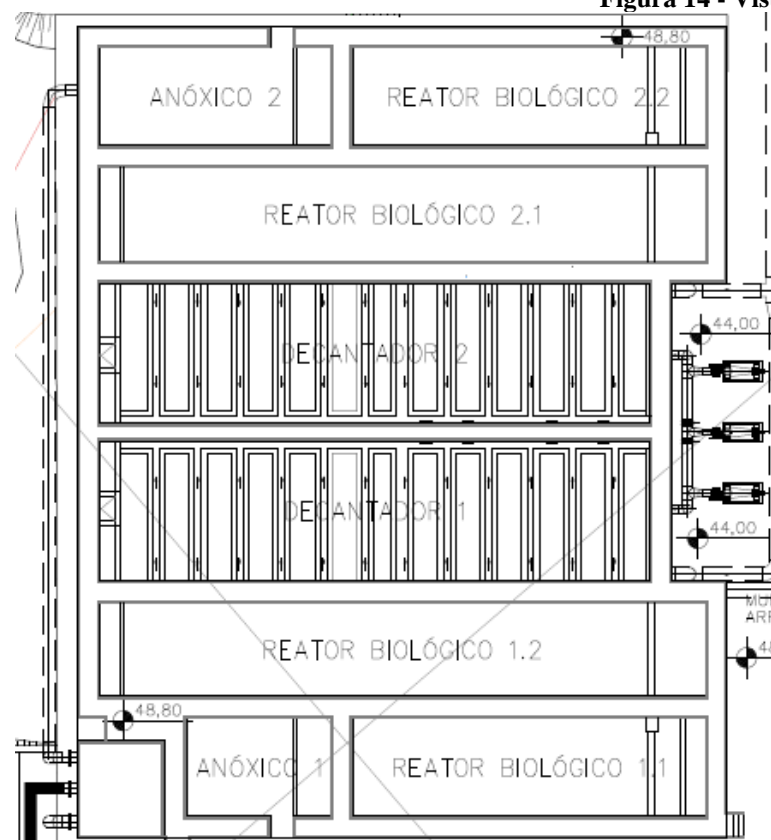
#### 5.2.2. Unidades de tratamento

Após consulta ao memorial descritivo da obra e posterior levantamento de campo, foi possível recolher informações a respeito das dimensões dos tanques de tratamento da ETE Caçadores (Figura 14). Esta é constituída por duas antecâmaras anóxicas projetadas para a remoção do nitrogênio presente no efluente bruto e para adequação do lançamento do efluente tratado ao corpo receptor, respeitando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N°430/2011.

Os tanques de aeração/reatores biológicos do tipo MBBR, foram divididos em duas unidades semelhantes, com duas câmaras cada. Também possui duas unidades de decantação secundária em formato retangular.



Figura 14 - Vista dos tanques de processo da ETE Caçadores.



Fonte: Adaptado de SANEMA (2021).

As informações obtidas estão disponíveis no quadro 3.

**Quadro 3 - Dados geométricos dos tanques de processo da ETE Caçadores.**

Tanque de processo	Antecâmara anóxica	Reator biológico		Decantador do tipo lamelar
		Câmara 1	Câmara 2	
<b>Largura (m)</b>	5,0	5,0	5,0	6,5
<b>Comprimento (m)</b>	11,0	17,1	28,5	26,0
<b>Profundidade (m)</b>	7,0	7,0	7,0	7,0
<b>Altura livre acima do tanque(m)</b>	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>Volume individual (m<sup>3</sup>)</b>	385,0	1596,0		1.119,3
<b>Volume total - dois tanques (m<sup>3</sup>)</b>	770,0	3192,0		2238,6

Fonte: Adaptado parcialmente de Brotto (2011), Oliveira (2018), SANEMA (2021).

De acordo com as informações contidas no quadro 3, tem-se que o volume total das antecâmaras anóxicas é de 770 m<sup>3</sup>. Já o dos reatores biológicos, 3192m<sup>3</sup>. Por fim o dos decantadores é de 2.238,6m<sup>3</sup>.

Mediante a isso, a seguir será apresentado na tabela 6, dados comparativos entre os tanques de aeração da ETE em estudo, com os de duas outras ETES. A primeira é a ETE São Luís, localizada na cidade de Jaraguá do Sul, na microrregião de Joinville, em operação desde 2016 e projetada para atender uma população de final de plano de 70.000 habitantes, com capacidade para tratar 11.404,8m<sup>3</sup>/dia, utilizando em seu tratamento secundário o processo de lodos ativados com Reator de Batelada Sequencial (SBR), além de possuir equipamentos que minimizam a emissão de gases poluentes para a atmosfera, não apresentando problemas com odor e um sistema supervisorório que indica as condições operacionais do sistema (OLIVEIRA, 2018; SAMAE, 2021). E a segunda sendo uma ETE localizada em um dos municípios que constituem a Região Metropolitana do Rio de Janeiro - será identificada neste trabalho como ETE Metro Rio -, atendendo aproximadamente 50 mil pessoas, tratando cerca de 14.700 m<sup>3</sup>/dia

de esgoto predominantemente doméstico, por processo de lodos ativados por aeração modificada, possuindo eficiência de remoção de DQO na faixa de 84% (BROTTO, 2011).

**Tabela 5 - Comparação entre volumes de reatores biológicos de ETEs.**

ETE	Metro Rio	São Luís	Caçadores
<b>Sistema adotado</b>	Lodo ativado com aeração modificada	Lodo ativado com SBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)
<b>População atendida (hab)</b>	50.000	70.000	122.681
<b>Capacidade de tratamento(L/s)</b>	170	132	238
<b>Carga orgânica (Kg DBO/d)</b>	3379	2313	6169
<b>Volume total dos reatores(m<sup>3</sup>)</b>	5.760	6.000	3.192

Fonte: Adaptado parcialmente de Brotto (2011), Oliveira (2018), SANEMA (2021).

Conforme pode ser visto na tabela 6, os reatores biológicos da ETE Caçadores, apesar de terem sido dimensionados para tratar uma vazão de projeto superior à das ETEs Metro Rio e São Luís, demandaram reatores com menores dimensões para atender a demanda de esgoto exigida por seus respectivos projetos. Tal fato está associado a utilização dos meio suportes que aumentam a decomposição da matéria orgânica carbonácea, possibilitando tratar uma maior quantidade de esgoto em reatores mais compactos, o que implica na redução dos custos com obras civis, constituindo alternativa atrativa, principalmente quando há limitações de área para execução de projetos.

### 5.2.3. Custo de implantação

Conforme apresentado no item 4.2.1 deste trabalho, foram realizados os levantamentos da implantação do sistema. Os resultados estão dispostos na tabela 7.

**Tabela 6 - Levantamentos de custos de implantação do sistema MBBR da ETE Caçadores.**

<b>Custo (2013)</b>	Implantação (R\$/hab)	244,54
<b>- Ano de contrato</b>	Implantação por metro cúbico tratado (R\$. dia / m <sup>3</sup> .hab)	0,012
<b>Custo (2021)</b>	Implantação (R\$/hab)	479,621
<b>- Reajuste INCC</b>	Implantação por metro cúbico tratado (R\$. dia/ m <sup>3</sup> .hab)	0,023

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em conformidade com o exposto na tabela 7, o *custo percapita* de implantação do sistema por habitante, bem como por metro cúbico de esgoto tratado durante o período de realização do contrato - ano de 2013 – foram de 244,54 e 0,012 R\$ respectivamente. Ao trazer esses valores para o cenário atual, com os devidos reajustes do índice Nacional de Construção Civil (INCC) e considerando os mesmos parâmetros de projeto do ano de contrato, foram encontrados valores de custos iguais a 479,62 e 0,023 R\$ para a implantação do sistema por habitante e por metro cúbico de esgoto tratado, respectivamente.

Dessa forma, comparou-se os custos de implantação do sistema MBBR aplicado na ETE Caçadores, com outros sistemas, como pode ser visto na tabela 8.

**Tabela 7 - Comparativo de custo de implantação do sistema MBBR com outras tecnologias.**

<b>Sistema</b>	<b>Custo de implantação (R\$/hab) * – 2021</b>
Lodo Ativado convencional	326,70 – 612,56
Lodo Ativado com aeração prolongada	285,86 – 490,05
UASB + Lodo ativado	245,02 – 408,37
UASB + Lagoa aerada facultativa	138,83 – 313,69
SBR	308,95 – 411,49
<b>MBBR</b>	<b>479,62</b>

**Legenda:** \*Valores atualizados pelo Índice Nacional de Construção Civil (INCC).

**Fonte:** Adaptado parcialmente de Sperling (2005).

Conforme apresentado logo acima, na tabela 8, o custo de implantação da tecnologia MBBR é menos oneroso em comparação com os de sistemas convencionais, tais como o de lodos ativados. Em contrapartida, é mais caro quando comparado aos demais sistemas, a exemplo do UASB+ Lodo ativado e Reator de Batelada Sequencial (SBR).

### 5.3.AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Em concordância com a metodologia descrita no item 4.2.2, foi realizado o levantamento dos equipamentos presentes na ETE Caçadores, onde foram identificadas suas respectivas potências, além do tempo de funcionamento destes. As informações obtidas estão disponíveis a seguir, no quadro 4.

Quadro 4 - Levantamento de dados dos equipamentos elétricos e eletromecânicos da ETE caçadores.

Setor	Equipamento	TAG	Potência (KW)	Funcionamento (h) *
<b>Tratamento Preliminar Gradeamento</b>	Bomba Submersível EL	BSB-A1	55,00	0,55
	Bomba Submersível EL	BSB-A2	55,00	0,55
	Bomba Submersível EL	BSB-A3	55,00	0,55
	Grade mecanizada tipo Multi Rastelos	GMMR	1,10	0,85
	Bomba Centrífuga de água	BCA1	1,50	18,00
	Bomba Centrífuga de água	BCA2	1,50	18,00
<b>Tratamento preliminar - Remoção de areia e gordura</b>	Conjunto Moto Redutor Transportador de areia	CMRTA1	1,10	720,00
	Conjunto Moto Redutor Transportador de areia	CMRTA2	1,10	720,00
	Conjunto Moto Redutor Transportador de areia	CMRTA3	1,10	720,00
	Bomba centrífuga de lavagem de processos	BCLP-1	5,50	33,90
	Bomba centrífuga de lavagem de processos	BCLP-2	5,50	33,90
	Bomba centrífuga de lavagem de processos	BCLP-3	5,50	33,90
	Soprador de ar - gordura	SAG-1	4,60	24,00
	Soprador de ar - gordura	SAG-2	4,60	24,00
	Soprador de ar - gordura	SAG-3	4,60	24,00
<b>Sala dos sopradores</b>	Soprador de ar tipo parafuso	STP-1	132,00	720,00
	Soprador de ar tipo parafuso	STP-2	132,00	720,00
	Soprador de ar tipo parafuso	STP-3	132,00	720,00
	Soprador de ar tipo parafuso	STP-4	132,00	720,00
	Soprador de ar tipo parafuso	STP-5	132,00	720,00
	Exaustor de ar	EAC-1	3,00	720,00
	Exaustor de ar	EAC-2	3,00	720,00

<b>Setor</b>	<b>Equipamento</b>	<b>TAG</b>	<b>Potência (KW)</b>	<b>Funcionamento (h) *</b>
<b>Sala dos sopradores</b>	Exaustor de ar	EAC3	3,00	720,00
<b>Antecâmara Anóxica</b>	Misturador mecânico submersível	MMS-1	2,20	720,00
	Misturador mecânico submersível	MMS-2	2,20	720,00
	Misturador mecânico submersível	MMS-3	2,20	720,00
	Misturador mecânico submersível	MMS-4	2,20	720,00
<b>Recirculação de lodo</b>	Conjunto Moto Bomba Centrífuga	CMC-1	30,00	720,00
	Conjunto Moto Bomba Centrífuga	CMC-2	30,00	720,00
	Conjunto Moto Bomba Centrífuga	CMC-3	30,00	720,00
<b>Tratamento de lodo</b>	Bomba Helicoidal	BH-1	3,70	300,00
	Bomba Helicoidal	BH-2	3,70	300,00
	Adensador mecânico de lodo	AML-1	2,20	300,00
	Adensador mecânico de lodo	AML-2	2,20	300,00
	Centrífuga	CE-1	15,25	300,00
	Centrífuga	CE-2	15,25	300,00
	Bomba transferência de polímero	BTP-1	0,75	300,00
	Bomba transferência de polímero	BTP-2	0,75	300,00
	Bomba transferência de polímero	BTP-3	0,75	300,00
	Bomba transferência de polímero	BTP-4	0,75	300,00
	Preparador de polímero	PP-1	0,24	300,00
	Preparador de polímero	PP-2	0,24	300,00
	Bomba Centrífuga de água	BCA-3	2,20	300,00
	Bomba Centrífuga de água	BCA-4	2,20	300,00
<b>Sistema de ar-condicionado</b>	Ar-condicionado	AC-1	4,00	360,00
	Ar-condicionado	AC-2	4,00	360,00
	Ar-condicionado	AC-3	4,00	360,00
	Ar-condicionado	AC-4	4,00	360,00
	Ar-condicionado	AC-5	8,79	360,00
<b>Iluminação externa</b>	35 Postes de iluminação	PDI	0,15	345,00
<b>Legenda: * horas ao mês</b>		<b>TOTAL</b>	<b>1045,83</b>	

Conforme pode ser visto no quadro 4, a potência instalada – estimada – na ETE Caçadores – considerando que esta estivesse tratando uma vazão de 100L/s - é de 1.045.830 W. Em posse desse valor, calculou-se o consumo energético da estação. Os valores obtidos estão disponíveis na tabela 9.

**Tabela 8 - Estimativa do consumo de energia da ETE Caçadores.**

<b>Cenário</b>	<b>População a ser atendida (hab)</b>	<b>Consumo energético (kWh/hab. ano) - estimado</b>
Pré-operação (2021)	84.811	36
Final de plano (2035)	122.681	44

**Fonte: Elaborado pelo autor (2021).**

Como evidenciado na tabela 9, o consumo energético estimado da ETE Caçadores -que utiliza o sistema MBBR para o tratamento de esgoto - nos períodos de pré-operação e final de plano são de 36 kWh/hab.ano. e 44 kWh/hab.ano, respectivamente.

Em posse desses dados, foi possível comparar o valor de consumo do sistema adotado na ETE em estudo com o de outros sistemas, conforme pode ser visto a seguir, na tabela 10.

**Tabela 9 - Consumo energético conforme o sistema de tratamento adotado.**

<b>Sistema</b>	<b>Consumo energético (kWh/hab. ano)</b>
Lodos ativados convencional	18-26
Lodos ativados com aeração prolongada	35-37
UASB + Lodo ativado	14-20
<b>MBBR</b>	<b>44</b>

**Fonte: Adaptado parcialmente de Sperling (2005).**

Como pode ser visto na tabela 10, o processo de lodos ativados convencional consome de 18 a 26 kWh/hab.ano. Já o sistema de lodos ativados com aeração prolongada tem consumo de 35 a 37 kWh/hab.ano (JORDÃO, 2008). Por outro lado, o UASB + Lodo ativado convencional apresenta consumos que variam de 14 a 20 kWh/hab.ano (JORDÃO, 2014).

Dessa forma, é notório que o tratamento de esgoto por MBBR apresenta um maior consumo de energia, quando comparado com os sistemas convencionais. Tal fato está

diretamente associado ao alto consumo energético com a aeração, que é incumbida de suprir oxigênio para a movimentação dos suportes no reator (ALMADA, 2012; METCALF&EDDY, 2016).

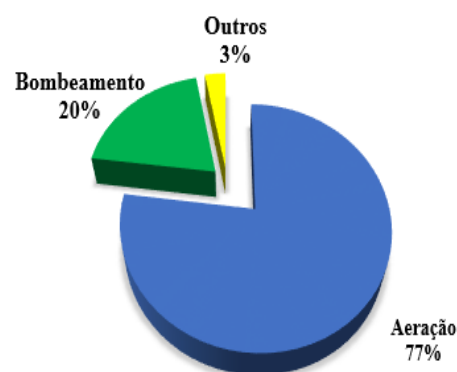
Diante desse fato, o gráfico 5.1 traz o consumo por unidade de tratamento levantados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Já o Gráfico 5.2 traz o percentual de custos energéticos por setor da ETE Caçadores durante o período de pré-operação.

**Gráfico-5.1: Consumo por unidade de tratamento em ETEs.**



**Fonte:** Adaptado de Energy Data Management for the Wastewater Treatment Sector, U.S Department of Energy (2017).

**Gráfico-5.2: Consumo por unidade de Tratamento na ETE Caçadores.**



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2021).

Ao analisar o gráfico 5.1, percebe-se que a unidade de aeração é a maior consumidora energética de uma ETE, representando até 80% do consumo em uma estação. Tal situação é evidenciada na ETE Caçadores, visto que tal sistema é responsável por cerca de 77% do consumo de energia do empreendimento. Em razão disso, o setor é o que apresenta maiores oportunidades para economia de energia.

Seguindo essa premissa, a seguir serão apresentadas sugestões de procedimentos a serem adotados para diminuir o custo energético da ETE Caçadores.

I) Com relação ao sistema de aeração tem-se:

**Utilização de sondas medidoras de OD:** Com o acompanhamento e a utilização de sistemas automáticos de controle de oxigênio, torna-se viável comandar o funcionamento dos sopradores, de maneira tal que seja possível diminuir a vazão de ar por meio de inversores de frequência, à medida que os níveis de OD estiverem dentro dos padrões operacionais estabelecidos, evitando assim a distribuição excessiva de ar e alcançando economias



significativas de energia, sem comprometer o desempenho do sistema de tratamento (HENRIQUES; CATARINO, 2017; OLIVEIRA, 2018).

**Escolha de sopradores mais eficientes:** A utilização de sopradores com alta eficiência é extremamente recomendada, podendo trazer economias de até 20% da energia consumida na ETE (NYSERDA, 2008). Os sopradores adotados pela ETE Caçadores são do tipo estacionários, rotativos, de parafuso, isentos de óleo, modelo ZS VSD<sup>+</sup>. Estes são alternativas eficientes, podendo ter economias de 35 a 40% em comparação a soluções clássicas, como as tecnologias de lóbulo e roots (RUBIM, 2016).

## II) Com relação a motobombas

**Adoção de inversores de frequência:** O inversor regula a velocidade de rotação do motor, com o intuito de atender a diferentes vazões, adequando o funcionamento desse a cargas afluentes durante o dia. Tal ação pode gerar economias de energia de até 40% (HENRIQUES; CATARINO, 2017). Essa prática já é adotada na ETE Caçadores.

## III) Recomendações gerais:

**Cuidado com os motores:** Os motores que operam de maneira contínua devem ter manutenção preventiva dos componentes elétricos e mecânicos de maneira rotineira, com o intuito de obter a minimização da energia (JORDÃO, 2013).

**Mudanças operacionais:** A redução do uso de equipamentos em horários de tarifa de ponta de energia pode resultar em economias significativas. Como exemplo tem-se o da ETE Icaraí, em Niterói (RJ). Para diminuir os gastos com o consumo de energia, adotou-se um tanque que estava desativado na estação como tanque pulmão, acumulando o efluente que chegava no período de ponta e bombeando nos períodos de tarifa fora de ponta. Dessa forma, o faturamento de energia reduziu em 27% (JORDÃO, 2008).

**Gestão de energia:** Com a implementação de um programa de gestão de energia torna-se possível identificar a unidade com maior consumo de energia e assim estabelecer medidas de melhoria a curto prazo. O método quando bem aplicado pode trazer benefícios como a redução de custos e maior controle operacional (JORDÃO, 2008; STAMATELATOU; TSAGARAKIS, 2015).

#### 5.4.LEVANTAMENTO DO FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO IMPLANTADO

Por meio de pesquisa documental e de campo foi possível identificar as etapas do processo de tratamento da ETE Caçadores, sendo elas:

**Estação elevatória de esgoto bruto:** Os esgotos ao entrar nesta unidade, inicialmente irão passar por um gradeamento (Figura 15), sendo que existirão dois canais, controlados por comportas, um para a grade mecanizada e o outro para uma grade manual, que deverá funcionar como reserva, no caso de uma parada para manutenção do equipamento. Em seguida, os esgotos caminham para o poço de sucção da elevatória onde estão instaladas três bombas submersíveis (Figura 16), sendo uma de reserva, com capacidade de bombear a vazão de 200 L/s, onde todas unidades serão providas de variador de frequência. As três saídas das bombas se juntam em um manifold. Essa tubulação conduzirá os esgotos até uma caixa de distribuição, que tem a função de dividir equitativamente a vazão de esgoto afluyente para o tratamento preliminar.

**Figura 15 - Gradeamento da EEE.**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Figura 16 - Bombas submersíveis**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Tratamento preliminar (PTP):** Em três linhas - com capacidade de 200 L/s cada, sendo dois equipamentos em operação simultânea e um de reserva, nas condições de final de plano - por meio de triagem e separação de sólidos com granulometria acima de 3 mm (remoção de areia) e remoção de gordura (óleos e graxas). Nesse equipamento (Figura 17), o efluente entra na secção de tela, onde os sólidos grosseiros serão removidos do fluxo líquido e conduzidos por meio de rosca transportadora, acionada por motor elétrico até a caçamba. Tal unidade permite a redução de volume de cerca de 40% de sólidos secos. No caso da areia, a remoção ocorrerá no mesmo equipamento, sendo ela carregada através de rosca transportadora, acionada também por motor elétrico, para caçamba. Ademais, as informações típicas de remoção de SST por grades finas em tambores rotativos foram estimadas a partir de Metcalf & Eddy (2015, pag 309). Dessa forma, foi adotado a remoção percentual de 25% da Concentração de Sólidos em Suspensão afluente. Portanto, 25% de 200mg/L, resultando em 50mg/L, ou 50 kg por 1.000 m<sup>3</sup>. Utilizando um peso específico médio de 900 kg/m<sup>3</sup>, tem-se para a vazão média de 238 L/s de fim de plano, que implica em 20.563,20 m<sup>3</sup>/dia de esgoto, o resultado de um volume de resíduo de 1,14 m<sup>3</sup>/dia. É válido destacar que nessa fase a vazão será distribuída para duas PTPs, cada uma com seu dispositivo de coleta. Assim, cada PTP descartará 0,57 m<sup>3</sup> de resíduos da peneira por dia.

Com relação a areia, conforme Metcalf & Eddy (2015, pag 355), foi obtida a relação de 0,102 m<sup>3</sup> de areia por 1.000 m<sup>3</sup> de esgoto. Assim, 20.563,20 m<sup>3</sup>/dia de esgoto, resulta o volume de 2,10 m<sup>3</sup>/dia de areia, ou 1,05 m<sup>3</sup>/dia de areia por PTP. Logo, em cada PTP serão recolhidos 1,62 m<sup>3</sup> de resíduos provenientes da peneira e sistema de areia (1,05 + 0,57 m<sup>3</sup>/dia). Desta forma, considerando a caçamba de 7 m<sup>3</sup>, a mesma que será utilizada no descarte de lodo, a troca delas terá que ser prevista de 4 em 4 dias, o que auxilia também na prevenção de mau cheiro e de proliferação de insetos. O destino final dos dois resíduos acima descritos deverá ser o aterro sanitário.

**Figura 17 - PTPs.**



**Fonte: Acervo da SANEMA (2021).**

Após passagem pelo PTP, o efluente deverá ser transportado através do Emissário de Esgoto Bruto até uma segunda caixa de distribuição, que por sua vez alimentará o Reator Anóxico.

**Tratamento Secundário Aeróbio e Tratamento Terciário:** O tratamento secundário será realizado por duas linhas de sistema de lodos ativados em sua variante MBBR (Moving Bed Bio Reactor), em regime de Fluxo Pistão (Plug Flow), para remoção de matéria orgânica. Cada reator biológico (Figura 18) será precedido por um reator anóxico (Figura 19) - para realizar o tratamento terciário, removendo nitrogênio presente no efluente bruto e para adequação do lançamento do efluente tratado ao corpo receptor, respeitando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

**Figura 18 - Reator Biológico.**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Figura 19 - Reator Anóxico.**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Sistema de separação das fases (sedimentação de lodo):** Realizado por meio de decantador lamelar seguido por sistema de recirculação de lodo. Os efluentes do decantador (Figura 20) serão coletados por um sistema de canaletas seguindo por gravidade para o Tanque de Contato e deste para o Emissário Final. Para a recirculação de lodo serão utilizadas três bombas (Figura 21) – duas para operação e uma de reserva-, que deverão recircular a mesma vazão de entrada da estação de tratamento, tendo máxima referência o valor de 238 L/s. A vazão de recirculação será então definida pela informação dos medidores instalados na tubulação de recalque da EEE Final

**Figura 20 - Decantador Lamelar**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Figura 21 - Bomba de recirculação de lodo**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Sistema de desaguamento do lodo:** Baseado na Concentração de Sólidos Suspenso Totais na mistura líquida, a qual deverá ser mantida em 3.350,0 mgSST/L. Portanto, o lodo será descartado toda vez que a mistura líquida no reator biológico ultrapassar este limite. O lodo será encaminhado aos adensadores mecânicos (Figura 22) que receberão o subproduto com

concentração de 0,5%, sendo que esse deverá atingir uma concentração de 2,0 %. Por conseguinte, o lodo sairá do adensador e será dirigido para as centrífugas (Figura 23), onde será desidratado, saindo do equipamento com porcentagem de sólidos em torno de 20%, sendo lançado diretamente nas caçambas, através de um mangote corrugado de PEAD e posteriormente encaminhado para aterro sanitário.

O clarificado proveniente do adensador e da centrífuga serão encaminhados para a Caixa de Distribuição 02, por gravidade. Durante os processos, serão realizadas dosagens de polímeros nas entradas dos adensadores e das centrífugas por meio de preparadores de polímero (Figura 24).

**Figura 22 - Adensadores mecânicos.**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021)**

**Figura 23 - Centrífugas.**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021)**

**Figura 24 - Preparador de polímero**



**Fonte: Registrado pelo autor (2021).**

**Desinfecção do efluente tratado:** Realizada por hipoclorito de sódio em tanque de contato (Figura 25) para remoção de patógenos. O Tanque de Contato foi dimensionado para que o hipoclorito tenha um tempo de detenção de 30 minutos para a vazão média da estação. No que diz respeito ao armazenamento do hipoclorito de sódio, estimou-se o volume necessário, adotando-se a solução comercial bruta de hipoclorito de sódio a 12 % e um tempo de autonomia de 15 dias, o que resultou em um volume requerido de 7,72 m<sup>3</sup>. A aplicação do produto será feita por bomba dosadora. Do Tanque de Contato o esgoto tratado será conduzido para o lançamento no corpo receptor, por meio de uma escada hidráulica.

**Lançamento do efluente:** No curso de água, riacho Reginaldo por meio de escadaria hidráulica para dissipação de energia e aeração e descloração do efluente tratado.

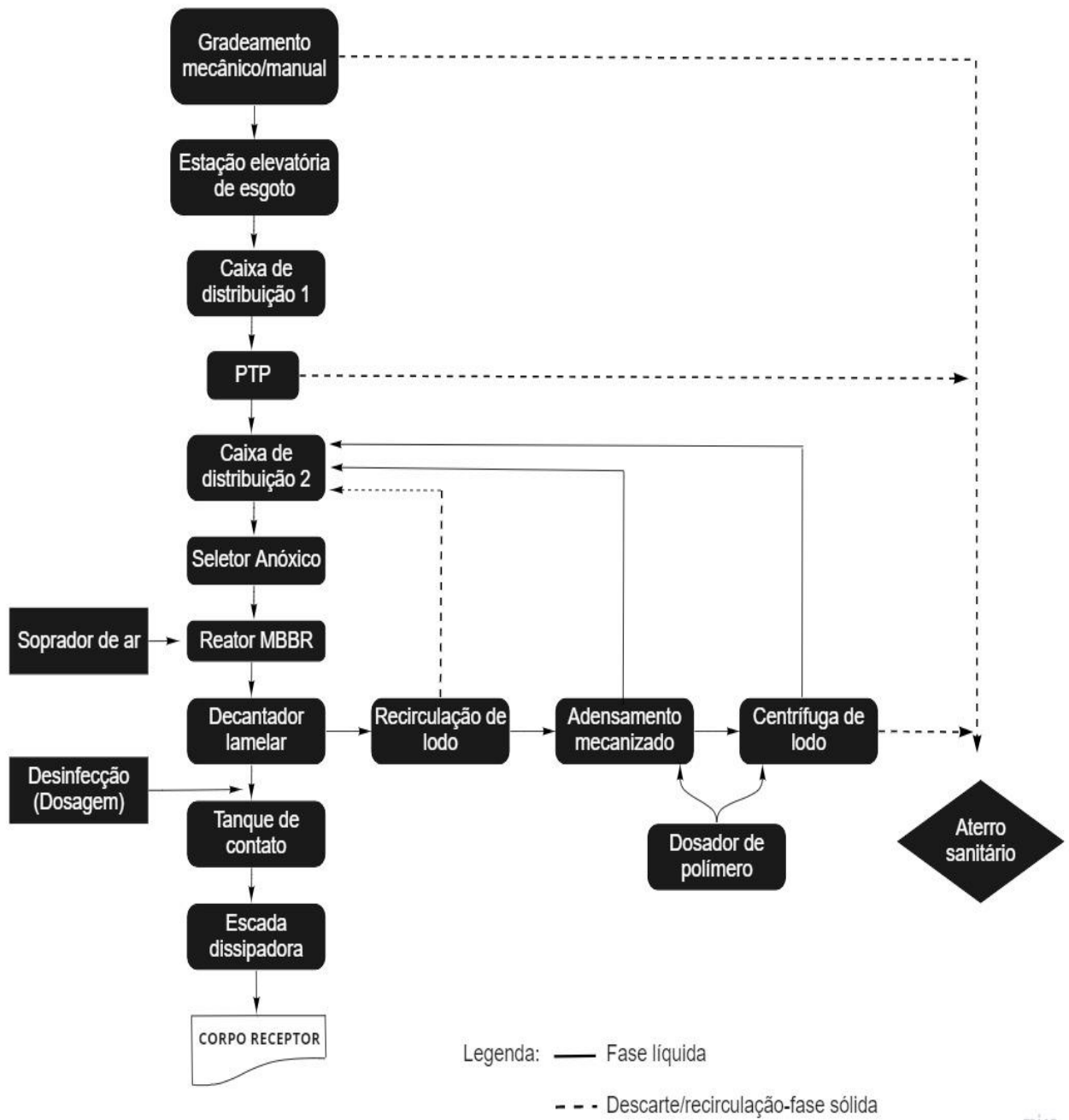
**Figura 25 - Visão do tanque de contato**



**Fonte: Acervo da SANEMA (2021).**

Diante das informações adquiridas, tornou-se possível montar o fluxograma do processo de tratamento da estação. Dessa forma, nas figuras 26 e 27 estão apresentados os fluxogramas dos processos de tratamento e hidráulico da ETE Caçadores, respectivamente.

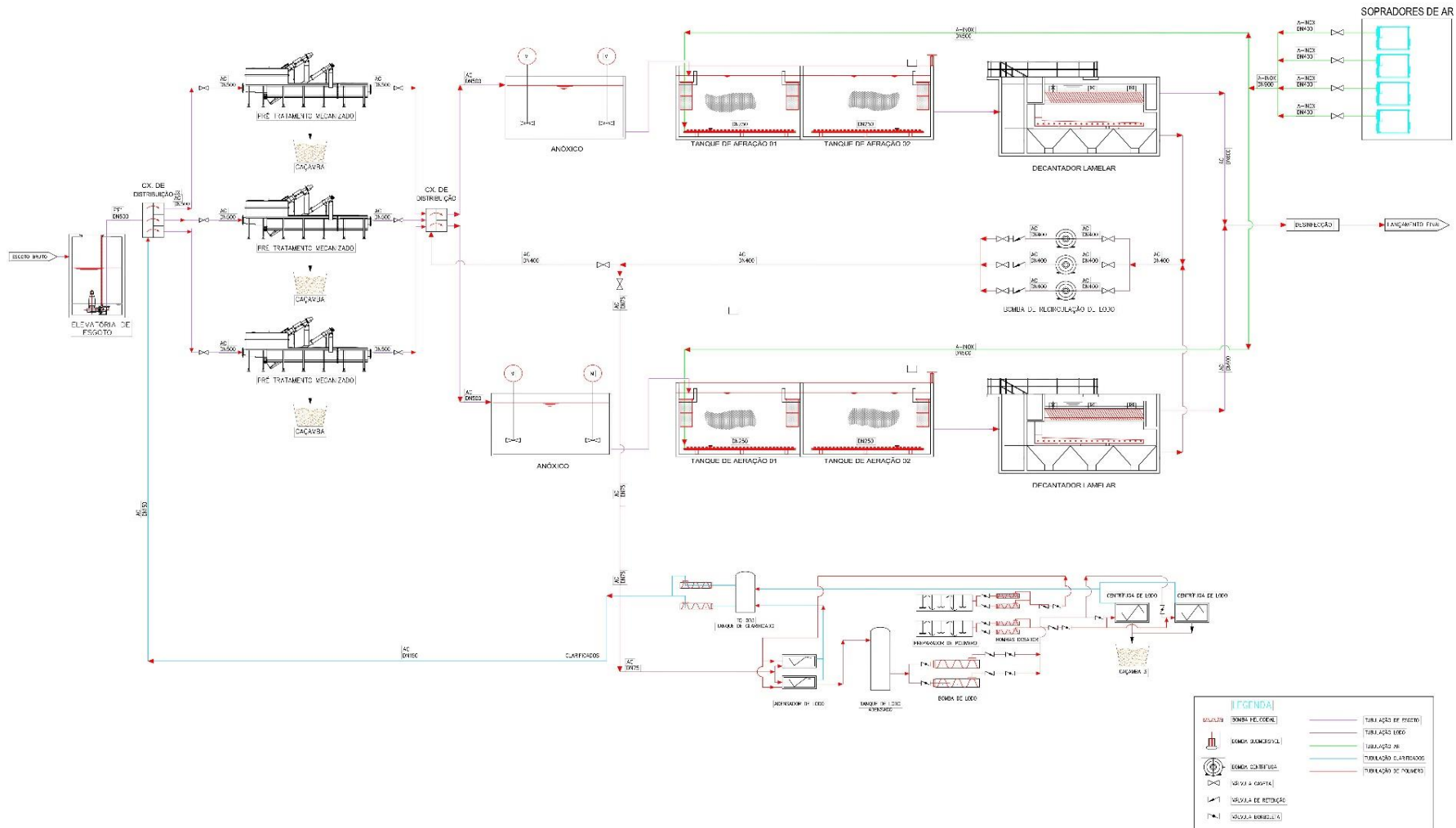
Figura 26 - Fluxograma do processo de tratamento da ETE Caçadores.



Fonte: Adaptado do acervo da SANEMA (2021).



Figura 27 - Fluxograma da ETE Caçadores – Iniciando com o Pré-Tratamento primário e finalizando com o encaminhamento do efluente até o corpo receptor.



Fonte: SANEMA (2021).

O efluente que será lançado no corpo receptor, deverá atender as condições e padrões previstos na resolução CONAMA N°430/2011. Dessa forma, o Quadro 5 apresenta de forma sintetizada dados referentes a expectativa da qualidade do efluente tratado na ETE Caçadores.

**Quadro 5 - Dados referentes a expectativa da qualidade do efluente tratado na ETE Caçadores.**

<b>PARÂMETRO:</b>			
<b>DBO</b>			<b>Coliformes Fecais</b>
DBO <sub>5,20</sub> do efluente bruto (mg/L)	DBO <sub>5,20</sub> do efluente tratado (mg/L)	Eficiência de remoção (%)	Concentração no efluente tratado (NPM/100 mL)
300	38	83,33	1.000

**Fonte: SANEMA (2021).**

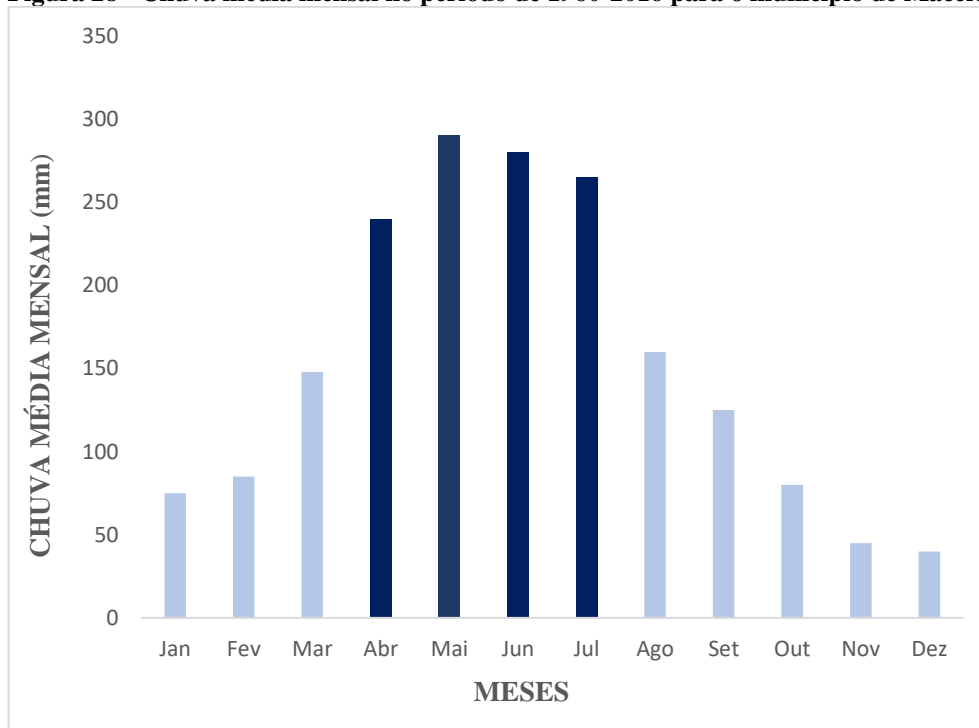
Conforme pode ser visto no Quadro 5, o tratamento adotado pela ETE Caçadores tem uma expectativa de remoção de DBO de 83,33%. Assim, o efluente bruto que chegará com uma concentração de 300 mg/L na estação, será tratado e posteriormente lançado no corpo receptor com uma DBO de 38 mg/L. A resolução CONAMA N°430/2011 estabelece que efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários podem ser lançados em corpos d'água desde que sua DBO não ultrapasse 120 mg/L. Além disso, a concentração esperada de coliformes fecais no efluente tratado não ultrapassa o valor de 1.000 NPM/100 mL. Dessa forma, a qualidade prevista do efluente tratado pela ETE Caçadores atende aos padrões impostos pelas resoluções ambientais em vigência.

## 5.5. AVALIAÇÃO DO CORPO D'ÁGUA RECEPTOR

### 5.5.1. Identificação dos meses secos e chuvosos

Os dados pluviométricos mensais obtidos, referem-se à série pluviométrica histórica do município de Maceió, no período de 1960 a 2016, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), que podem ser acessados através da plataforma Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>). A Figura 28 apresenta a distribuição mensal da chuva em Maceió.

**Figura 28 - Chuva média mensal no período de 1960-2016 para o município de Maceió.**



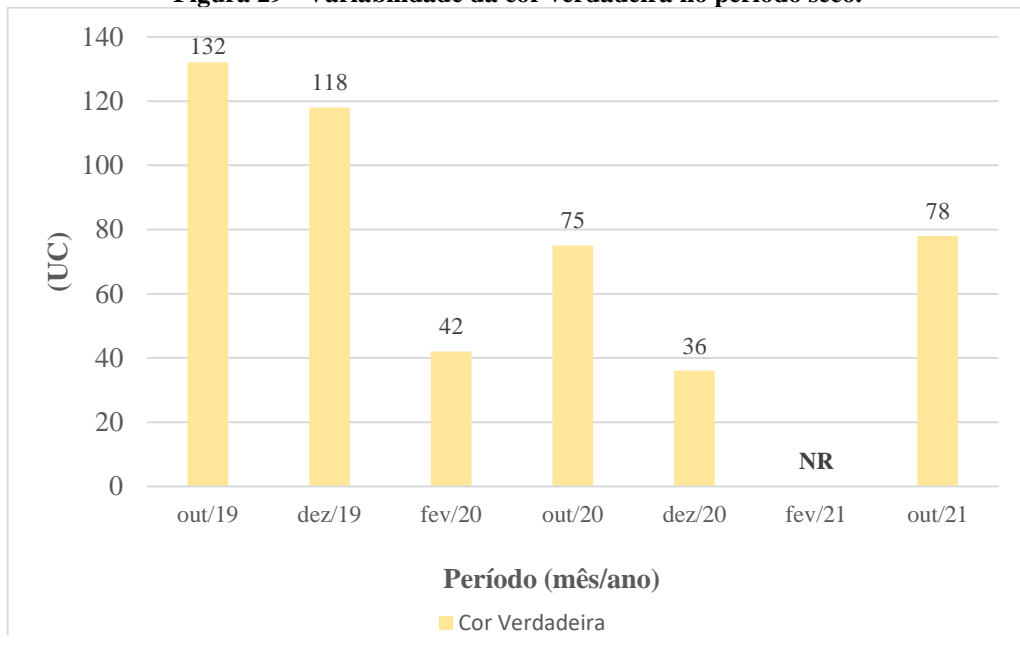
**Fonte: Elaborado pelo autor, com base em dados da ANA (2021).**

Conforme pode ser visto na Figura 28, a estação chuvosa no município de Maceió ocorre entre os meses de abril e julho. Já a estação seca, entre os meses de outubro a fevereiro. Por fim, tem-se a estação de transição ocorrendo nos meses de março, agosto e setembro.

### 5.5.2. Resultados analíticos dos parâmetros físicos

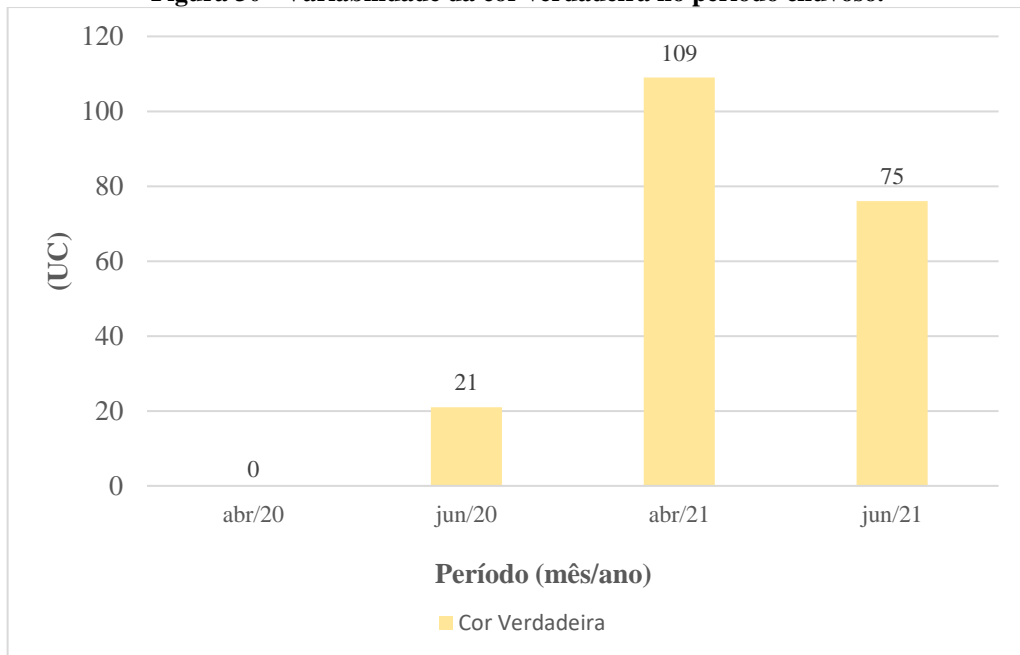
#### 5.5.2.1. Cor

As figuras 29 e 30 apresentam a variabilidade do parâmetro de cor verdadeira do Riacho Reginaldo, obtidos pela SANAMA, correspondendo aos meses da estação seca e chuvosa respectivamente

**Figura 29 - Variabilidade da cor verdadeira no período seco.**

Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 30 - Variabilidade da cor verdadeira no período chuvoso.**

Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

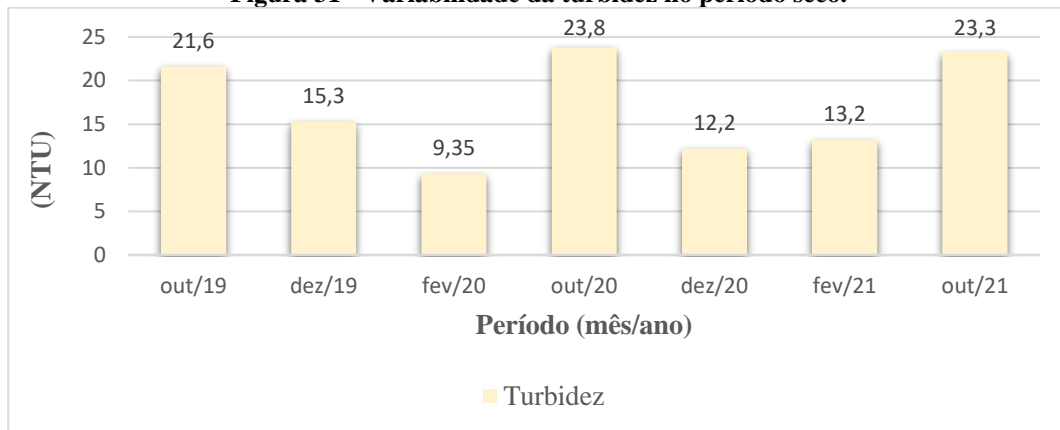
Conforme pode ser visto na Figura 29, a cor verdadeira apresentou grande variabilidade durante as campanhas de medições nos períodos secos, com um valor máximo de 132 UC, mínimo de 36 UC e um valor médio de 80,16 UC. Com relação as medições de cor nos meses inseridos no período chuvoso, estas também apresentaram uma variabilidade considerável, com valor máximo de 109 UC, mínimo de 21 UC e médio de 68,33 UC. A Resolução CONAMA

Nº 357/05 estabelece como valores máximos permitidos para a classe de rio a qual se enquadra o Riacho Reginaldo, apenas para a variável um valor de 75,0 UC = 75 mg Pt/L. Desse modo, ao confrontar tal valor com os encontrados pela SANEMA, percebe-se que no mês seco – mais crítico – as águas encontram-se com um valor de cor superior ao preconizado pela Resolução em questão.

#### 5.5.2.2. Turbidez

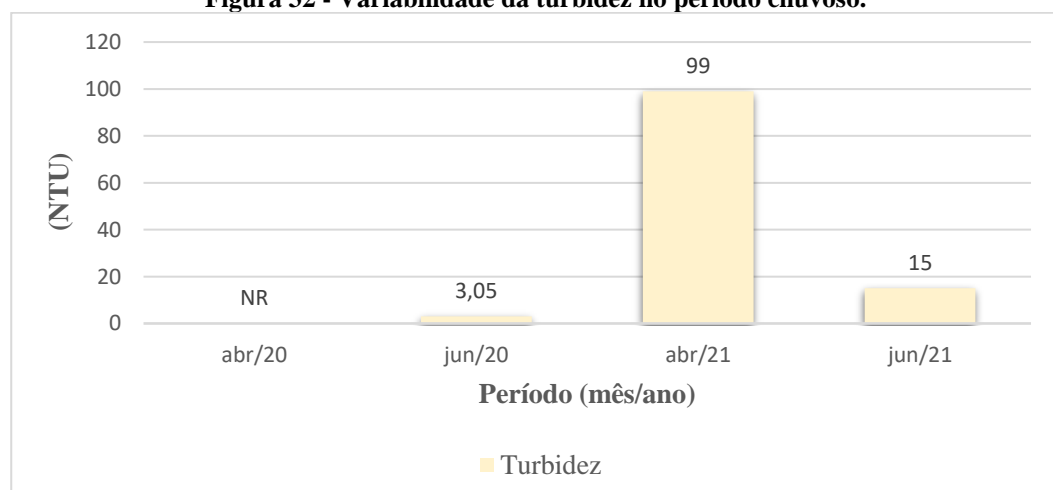
Nas figuras 31 e 32 está exposta a variabilidade do parâmetro de turbidez, obtida pela SANEMA, correspondendo aos meses da estação seca e chuvosa respectivamente.

**Figura 31 - Variabilidade da turbidez no período seco.**



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 32 - Variabilidade da turbidez no período chuvoso.**



Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

De acordo com o exposto nas figuras 31 e 32, foram encontrados valores de turbidez máximo e mínimo de 23,8 NTU e 9,35 NTU respectivamente, configurando um valor médio de

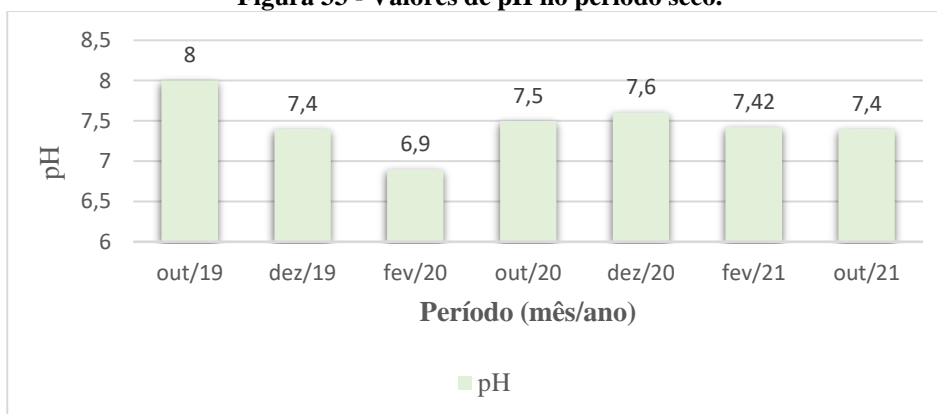
16,96 NTU no período seco. No tocante ao período chuvoso, foram registrados valores de máximo e mínimo na faixa de 3,05 NTU e 99 NTU respectivamente, tendo um valor médio de 39,01 NTU. Ao comparar os valores encontrados com os preconizados pela Resolução CONAMA N° 357/05, percebe-se que o parâmetro em questão está em conformidade com a Resolução, visto que o valor máximo de turbidez permitido para corpos hídricos de águas doces pertencentes a classe II, indicado por ela é de 100,0 NTU.

### 5.5.3. Resultados analíticos dos parâmetros químicos

#### 5.5.3.1.pH

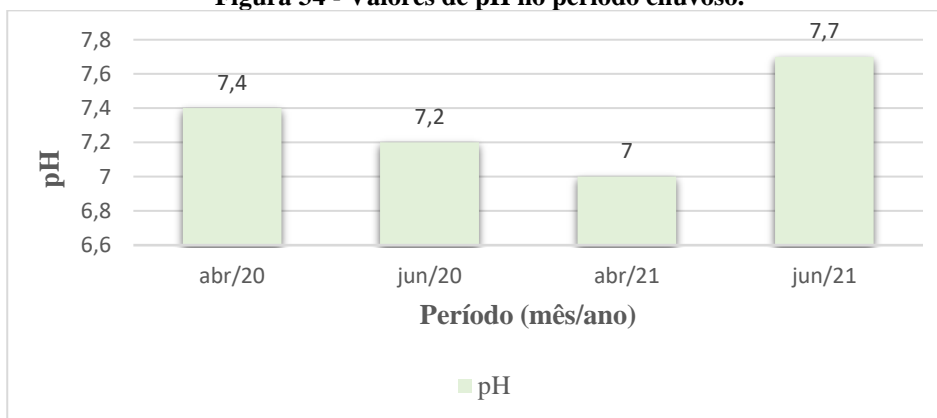
As figuras 33 e 34 apresentam os valores de pH encontrados durante o período seco e chuvoso, respectivamente.

**Figura 33 - Valores de pH no período seco.**



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 34 - Valores de pH no período chuvoso.**



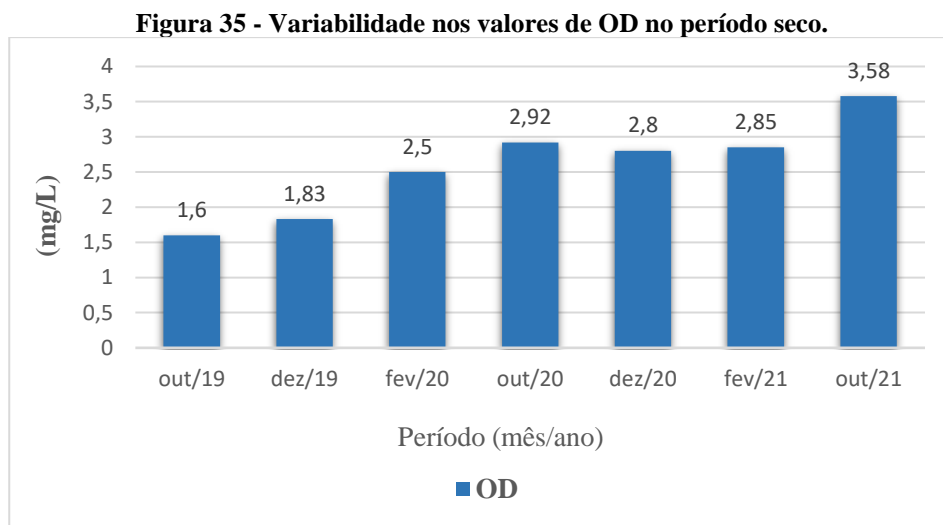
Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

Conforme visto nas figuras 33 e 34 os valores de pH máximo e mínimo encontrados no período seco foram de 8 e 6,9 nessa ordem, com valor médio de 7,46. Já no período chuvoso,

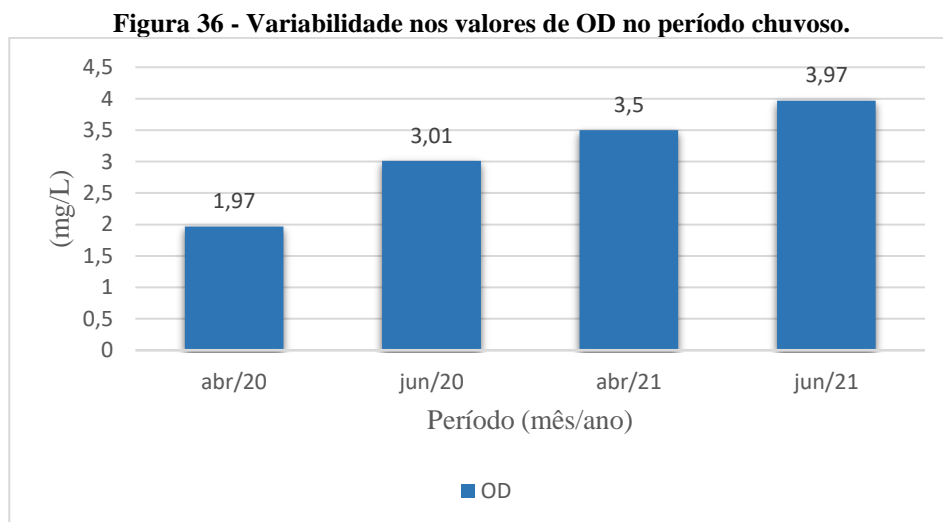
os valores foram de 7,7 e 7 para máximo e mínimo, nessa ordem, com valor médio de 7,32. A Resolução N° 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece que os valores encontrados em corpos d'água pertencentes a classe II estejam contidos entre 6,0 e 9,0. Dessa forma, os valores medidos estão em conformidade com a Resolução.

#### 5.5.3.2.OD

A variabilidade de OD nos períodos seco e chuvoso pode ser identificada a seguir, nas figuras 35 e 36, respectivamente.



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

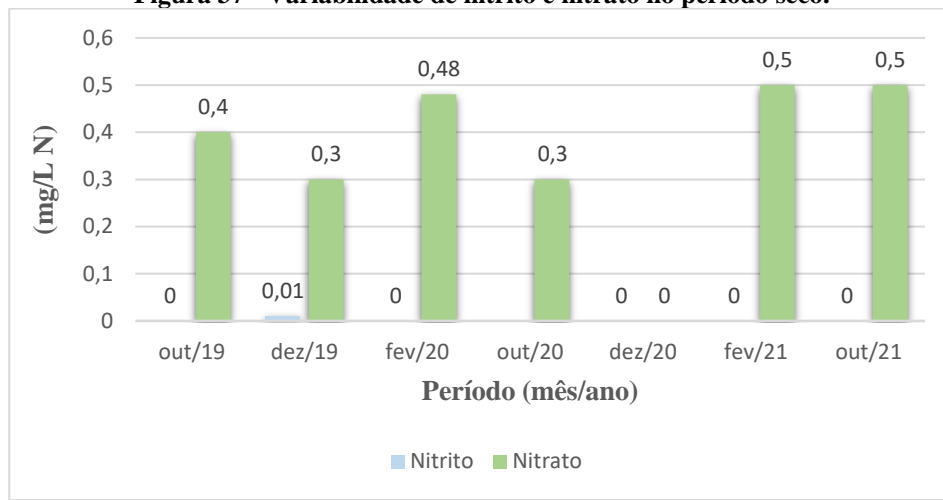
Conforme pode ser visto nas figuras 35 e 36, os valores OD alcançaram valores entre 1,6 e 3,58 mg/L, com valor médio de 2,58 mg/L no período seco e 1,97 e 3,97 mg/L, com valor

médio de 3,11 mg/L no período chuvoso. Assim, os valores observados são inferiores a concentração mínima de 5,0 mg/L estabelecida para rios classe II na Resolução CONAMA Nº 357/05.

### 5.5.3.3. Nitrito e Nitrato

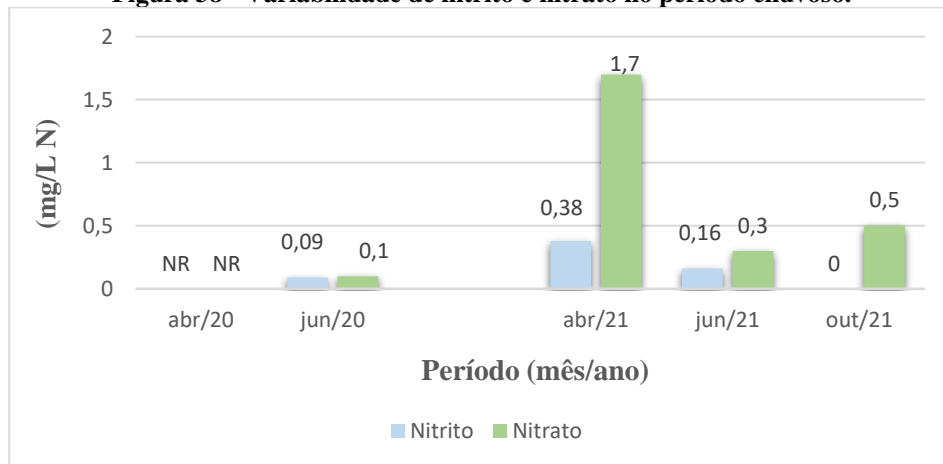
A variabilidade dos valores de Nitrito e Nitrato do período seco encontram-se na Figura 37. Por conseguinte, na Figura 38 estão os valores correspondentes ao período chuvoso.

**Figura 37 - Variabilidade de nitrito e nitrato no período seco.**



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 38 - Variabilidade de nitrito e nitrato no período chuvoso.**



Nota: NR= não registrado

∴ Adaptado da SANEMA (2021).

Diante do exposto nas figuras 37 e 38, tem-se que no período seco, a única análise que registrou presença de nitrito foi a realizada no mês de dezembro do ano de 2019, indicando a quantidade de 0,01 mg/LN. Com relação ao nitrato, foram encontrados valores entre 0,3 e 0,5 mg/L.N. No tocante ao período chuvoso, foram registrados valores de nitrito entre 0,09 e 0,38 mg/L.N. Já os valores de nitrato ficaram entre 0,1 e 1,7 mg/L.N. Os resultados analíticos de

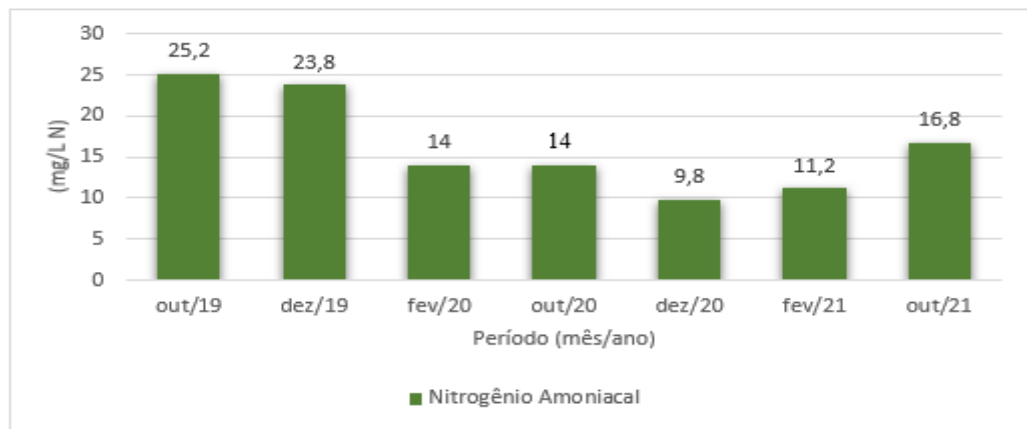


nitrito e nitrato observados nas águas superficiais do riacho Reginaldo estão em conformidade com os valores preconizados pela Resolução CONAMA Nº 357/05, visto que a Resolução estabelece como valores máximos permitidos 1,0 mg/L N e 10 mg/L N respectivamente para nitrito e nitrato.

#### 5.5.3.4. Nitrogênio Amoniacal

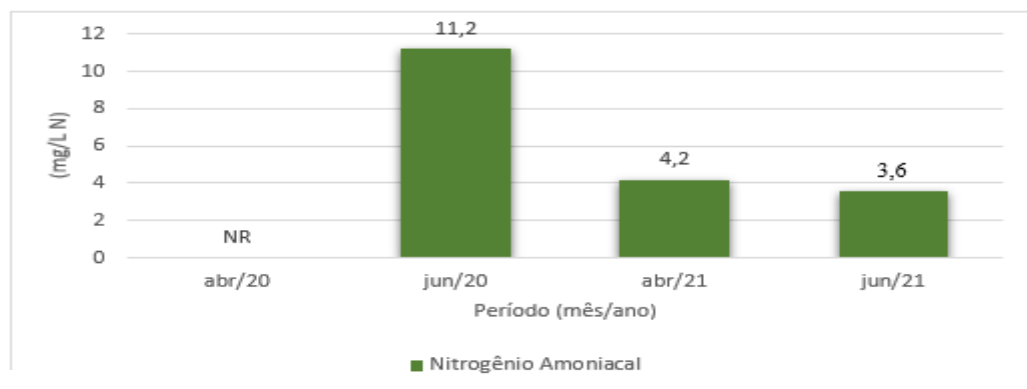
A variabilidade dos valores de nitrogênio amoniacal nos períodos seco e chuvoso estão dispostos a seguir, nas figuras 39 e 40 respectivamente.

**Figura 39 - Variabilidade de nitrogênio amoniacal no período seco.**



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 40 - Variabilidade de nitrogênio amoniacal no período chuvoso.**



Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

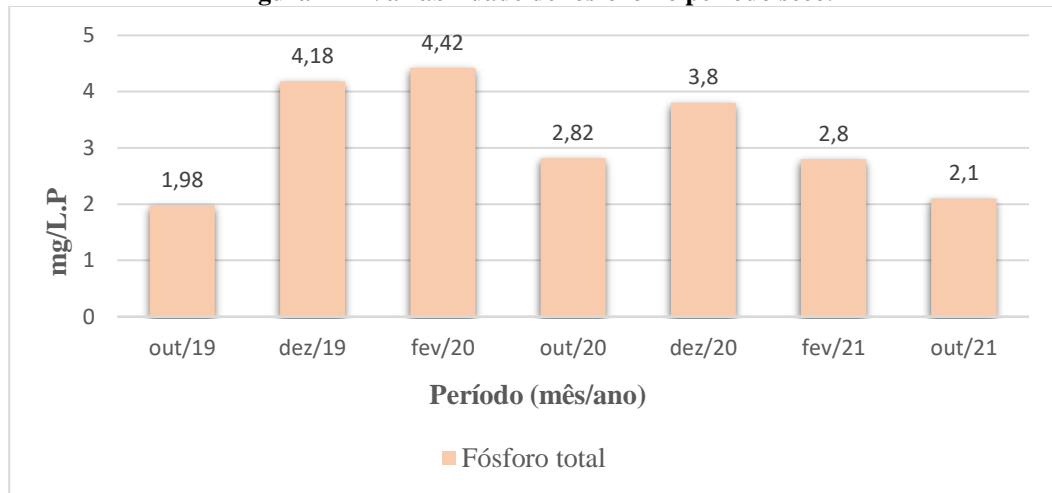
Conforme pode ser visto nas figuras 39 e 40, os valores de nitrogênio amoniacal alcançaram valores entre 9,8 e 25,2 mg/L N, com valor médio de 16,4 mg/L N no período seco e 3,6 e 11,2 mg/L N, com valor médio de 6,33 mg/L N no período chuvoso. Dessa forma, os valores de concentração de nitrogênio amoniacal dessa análise, quando comparados aos valores

preconizados na Resolução N° 357/05 do CONAMA, apresentam-se acima do máximo permitido (3,7 mg/L N para  $\text{pH} \leq 7,5$ ).

#### 5.5.3.5.Fósforo total

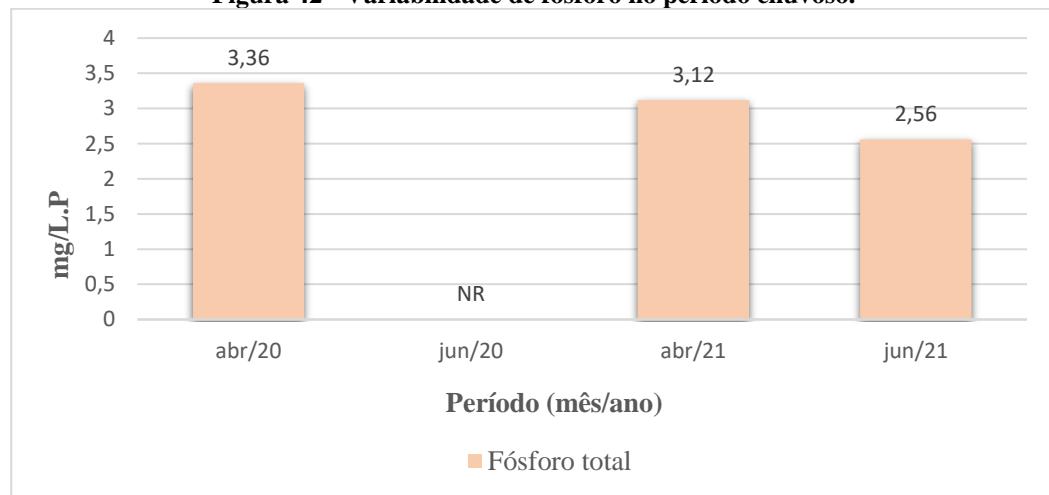
Estão disponíveis nas figuras 41 e 42 a variabilidade dos valores de fósforo total nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

**Figura 41 - Variabilidade de fósforo no período seco.**



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 42 - Variabilidade de fósforo no período chuvoso.**



Nota: NR= não registrado

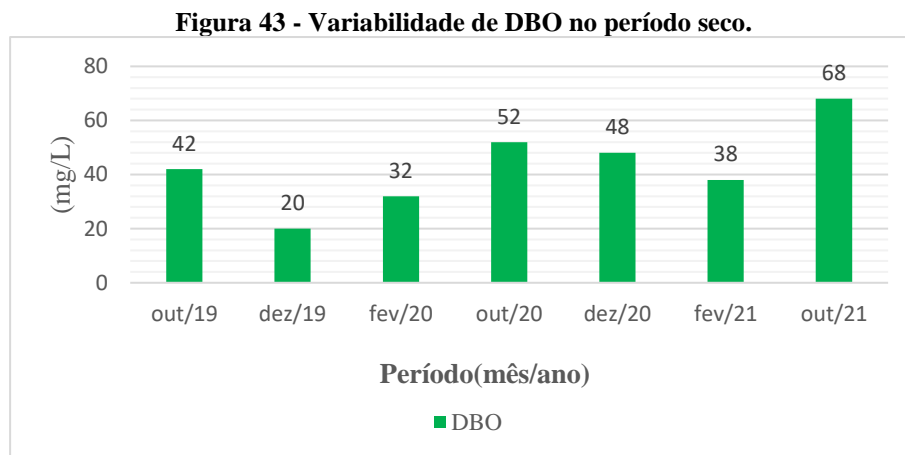
Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

Como pode ser constatado nas figuras 41 e 42, os valores de fósforo total no período seco variaram entre 1,98 e 4,42 mg/L P, com valor médio de 3,16 mg/L.P. No período chuvoso, os valores ficaram entre 2,56 e 3,36 mg/L, com valor médio de 3,01 mg/L P. De acordo com a Resolução CONAMA N° 357/05, ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários devem apresentar concentração máxima de fósforo total de 0,1 mg/L P. Diante disso, observa-

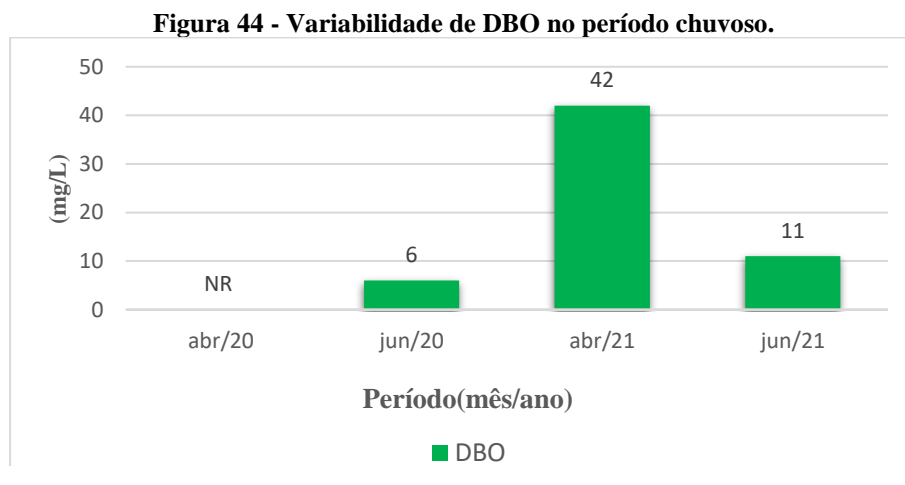
se que as concentrações encontradas no riacho Reginaldo durante os períodos seco e chuvoso encontram-se em desconformidade com Resolução em questão.

#### 5.5.3.6.DBO<sub>5</sub>

Nas figuras 43 e 44 encontram-se a variabilidade de DBO dos períodos seco e chuvoso, respectivamente.



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).



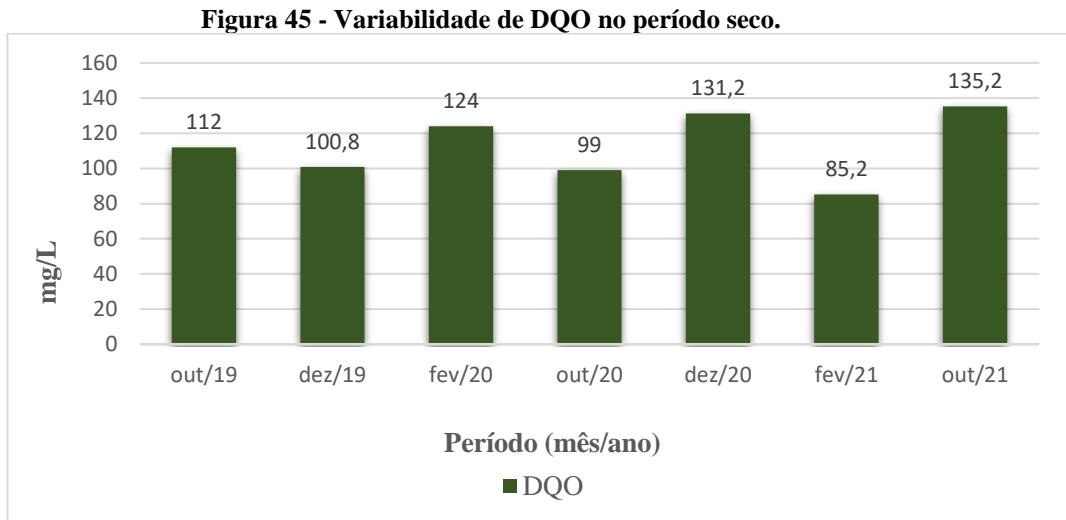
Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

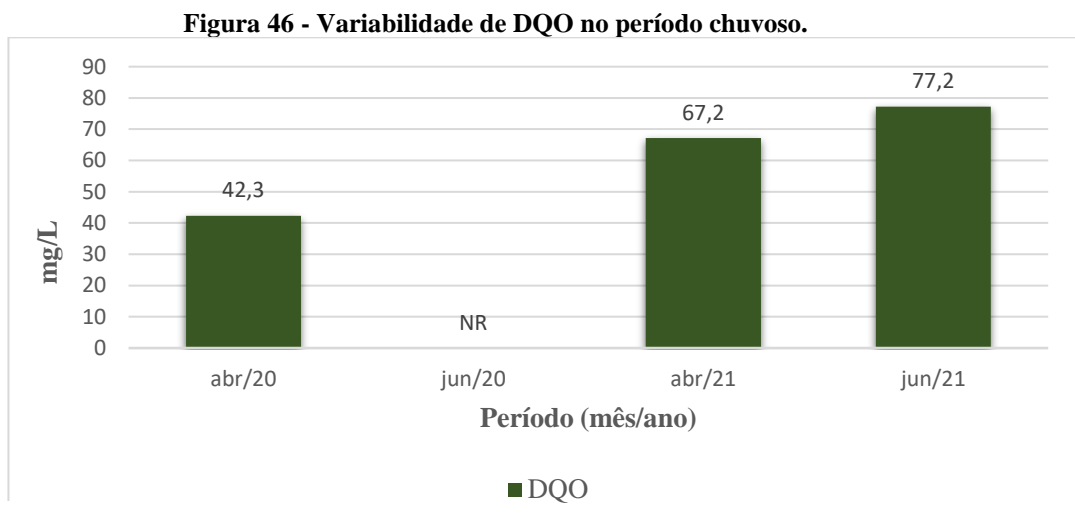
Como pode ser constatado nas figuras 43 e 44, os valores de DBO no período seco variaram entre 20 e 68 mg/L, com valor médio de 42,86 mg/L. No período chuvoso, os valores ficaram entre 6 e 42 mg/L, com valor médio de 19,67 mg/L. Diante disso, os valores de DBO para os períodos seco e chuvoso são superiores ao de 5,0 mg/L, para corpos hídricos pertencentes a classe II, preconizado na Resolução CONAMA N° 357/05.

### 5.5.3.7.DQO

Nas figuras 45 e 46 encontram-se a variabilidade de DQO dos períodos seco e chuvoso, respectivamente.



Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).



Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

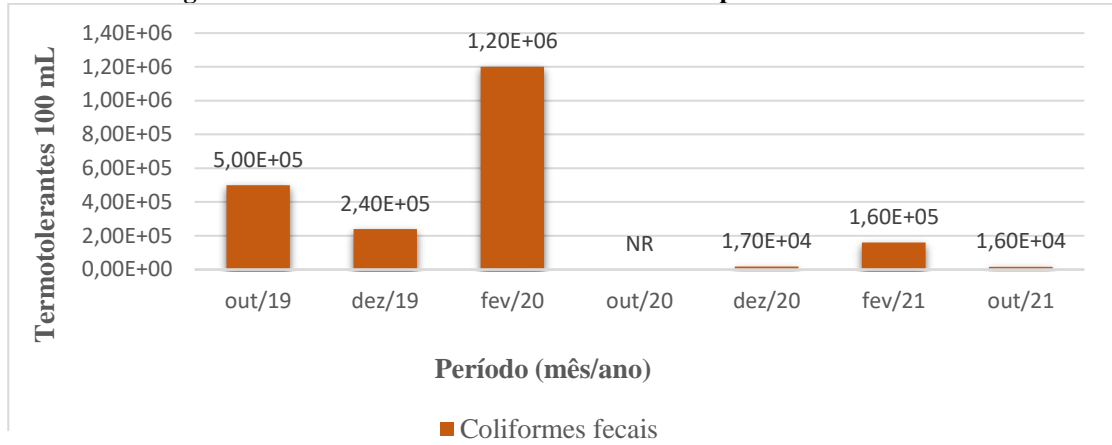
Como pode ser constatado nas figuras 45 e 46, os valores de DQO no período seco variaram entre 85,2 e 135,2 mg/L, com valor médio de 122,49 mg/L. No período chuvoso, os valores ficaram entre 42,3 e 77,23 mg/L, com valor médio de 62,23 mg/L. Não há um parâmetro limite para DQO em rio Classe II preconizado pela Resolução CONAMA N° 357/2005.

#### 5.5.4. Resultados analíticos dos parâmetros biológicos

##### 5.5.4.1. Coliformes fecais

A variabilidade de coliformes termotolerantes (fecais) registrada durante os períodos seco e chuvoso encontram-se expostas nas figuras 47 e 48, nessa ordem.

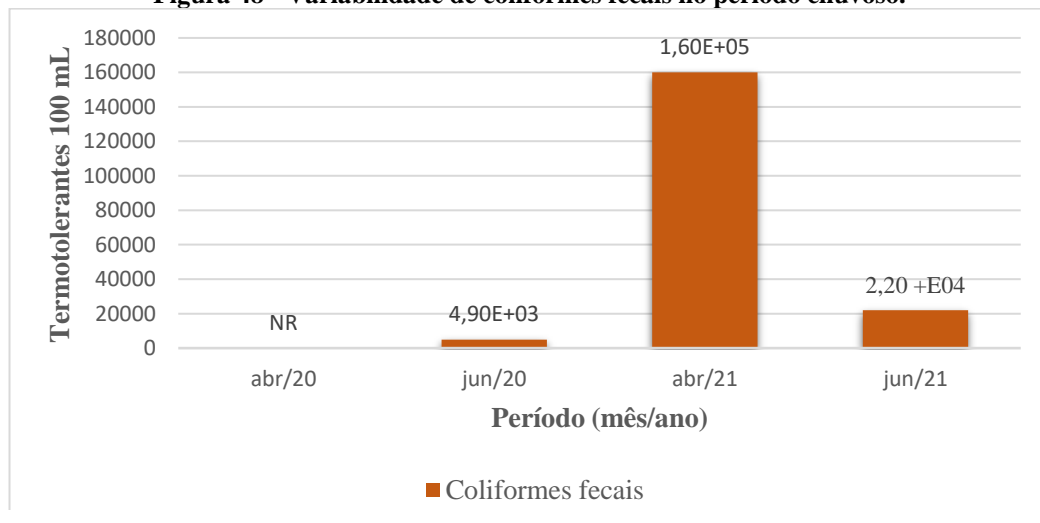
**Figura 47 - Variabilidade de coliformes fecais no período seco.**



Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

**Figura 48 - Variabilidade de coliformes fecais no período chuvoso.**



Nota: NR= não registrado

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021).

Conforme pode ser verificado nas figuras 47 e 48, o valor de coliformes fecais no período seco variou de  $1,70 \times 10^4$  a  $1,20 \times 10^6$  UFC/100 mL, com valor médio de  $3,56 \times 10^5$  UFC/100 mL. No período chuvoso foi de  $4,90 \times 10^3$  a  $1,60 \times 10^5$  UFC/100 mL, com valor médio de  $6,23 \times 10^4$  UFC/100 mL. Desse modo, o parâmetro encontra-se em desconformidade com a Resolução CONAMA N° 357/05. Pois, observadas as condições de corpos hídricos de águas doces pertencentes a classe II, têm-se como valor de referência máximo 1.000 coliformes

termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

#### 5.5.5. Compilação dos resultados das análises de qualidade do corpo receptor

A Tabela 11 apresenta de forma resumida os resultados analíticos dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das águas superficiais do riacho Reginaldo, nos períodos seco e chuvoso, sendo listados ainda os valores limites estabelecidos na Resolução CONAMA N° 357/2005.

**Tabela 10 - Resultados analíticos obtidos por análises físico-químicas e ensaios bacteriológicos das águas superficiais do riacho Reginaldo.**

Parâmetro	Período seco		Período chuvoso		CONAMA N° 357/2005
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Cor verdadeira (UC)	80,17	38,88	68,33	44,38	Até 75 UC
Turbidez (NTU)	16,96	5,86	39,02	52,30	Até 100 NTU
pH	7,46	0,32	7,33	0,30	6 a 9
OD (mg/L)	2,58	0,68	3,11	0,86	>5
Nitrito em N (mg/L)	0,01	-	0,21	0,15	Até 1 mg/L
Nitrato em N (mg/L)	0,35	0,18	0,65	0,72	Até 10 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (mg/NL)	16,4	5,98	6,33	4,22	Até 3,7 mg/L
Fósforo Total (mg/LP)	3,15	0,98	3,01	0,41	Até 0,1 mg/L
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	42,85	15,31	19,67	19,50	Até 5 mg/L
DQO (mg/L)	112,47	18,54	62,23	17,97	-
Colif.Fecais (UFC/100 mL)	3,26 x10 <sup>5</sup>	4,51x10 <sup>5</sup>	6,23x10 <sup>4</sup>	8,50x10 <sup>4</sup>	1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros.

Fonte: Adaptado da SANEMA (2021)

Como pode ser observado na Tabela 11, com exceção dos parâmetros de turbidez, pH, nitrito e nitrato, os demais encontram-se em desconformidade com os valores limites preconizados pela Resolução CONAMA N°357/05. Dessa forma, a qualidade físico-química e microbiológica do corpo hídrico que receberá os efluentes tratados da ETE-Caçadores, tanto no período seco, quanto no chuvoso encontra-se comprometida, com a época seca sendo a mais desfavorável. É válido destacar também que a relação DQO/DBO certamente sofreu influência das cargas difusas no corpo d'água. Tais resultados já eram esperados, visto que as águas do riacho Reginaldo são alvo de depósito de resíduos líquidos e sólidos por parte da população. As atividades antrópicas que ocorrem no entorno da bacia do Reginaldo e a má gestão de resíduos sólidos são as maiores causas da poluição identificada no ponto de monitoramento (NEVES *et al.*, 2007; PIMENTEL, 2009; BLEINROTH *et al.*, 2016). Tais fatos justificam a implantação de um empreendimento como a ETE Caçadores, que através de sua operação visa mitigar os impactos causados pela disposição inadequada de esgotos, realizada por parte da população, possibilitando a diminuição dos riscos de contaminação e transmissão de doenças, além de ajudar na preservação do meio ambiente, no que se refere ao controle de poluição das águas.

Diante do exposto, tem-se que, conforme apresentado no subcapítulo 5.4 desse trabalho, os parâmetros de  $DBO_{5,20}$  e coliformes termotolerantes previstos no efluente tratado a ser lançado, serão de 38 mg/L e 1.000 NPM/ 100 mL, valores esses menores que os encontrados na superfície do riacho no período mais desfavorável, e que certamente contribuirá com a melhoria da qualidade da água, se for considerado o efeito de diluição do efluente tratado, com vazão média de final de plano de 238 L/s, no corpo receptor. Vale salientar que devido a pandemia, não foi possível realizar medições de vazão no ponto de lançamento do corpo receptor, para avaliar esse efeito de diluição.

## 6. CONCLUSÕES

O trabalho realizado na ETE Caçadores abordou aspectos construtivos e operacionais da tecnologia MBBR. O conteúdo produzido pode ser utilizado como fonte de informação sobre o sistema em questão, visto que expõe e discute tópicos voltados à parte econômica e ambiental, pilares esses importantes para o desenvolvimento sustentável e que englobam pontos decisivos que contribuem na escolha da tecnologia de uma ETE a ser implantada em uma localidade.

A análise de execução do sistema implantado na ETE, revelou que a tecnologia MBBR é menos onerosa, quando comparada as tecnologias convencionais, como a de Lodos Ativados. Além disso, percebeu-se que o sistema exige reatores com menores dimensões para atender a demandas de esgoto superiores ou iguais à de distintas ETEs que utilizam outros sistemas, configurando o MBBR como uma possibilidade atrativa do ponto de vista econômico, visto que tanques de processos menores, geram redução dos custos com obras civis.

Com relação a demanda energética exigida pelo sistema, o MBBR mostrou-se como alternativa de maior consumo em comparação aos sistemas convencionais. Isso se dá pelo fato da tecnologia exigir maior quantidade de oxigênio para a movimentação dos suportes no reator. Ademais, foi identificado que o sistema de aeração presente na estação é responsável por cerca de 77% do consumo de energia, o que configurou o setor como o mais suscetível a práticas de economia de energia, tais como a implementação de um programa de gestão energética.

No que diz respeito aos aspectos ambientais, a ETE, quando estiver em período de operação plena, será fonte geradora de subprodutos como lodo e efluente tratado. O lodo e os sólidos do pré-tratamento estão programados para serem encaminhados a aterros sanitários, contudo, o lodo pode ser utilizado como fertilizante ou na composição de agregados leves e materiais cimentícios. Com relação ao efluente tratado, com base na expectativa da qualidade dele, pelo efeito diluição, o seu descarte no riacho Reginaldo pode contribuir para melhoria da qualidade de suas águas.

Por fim, no tocante ao riacho Reginaldo – corpo d'água receptor dos efluentes tratados - a análise dos dados de qualidade das águas superficiais do riacho comparados com a Resolução CONAMA N°357/05, mostrou que elas estão comprometidas, certamente em virtude da alta carga de esgotos domésticos despejadas sem tratamento no riacho. Com o início de operação da ETE- Caçadores, espera-se que haja a mitigação dos efeitos ocasionados pela disposição indevida de esgotos, efetuada por parte da população.



## REFERÊNCIAS

- ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. **Critério de Classificação Econômica Brasil. 2015**. Disponível em: <http://www.abep.org/criterio-brasil> . Acesso em: 11 set. 2021.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-9.898 de junho de 1987. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-12.209 de novembro de 2011. **Elaboração de Projetos Hidráulico-sanitários de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.
- ALMADA, R.B. **Avaliação de reatores de leito móvel com biofilme (MBBR) em série para tratamento de diferentes efluentes de refinaria de petróleo visando ao reúso industrial**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2012.
- American Public Health Association (APHA). American Water Works Association. American Water Environment Federation. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. Ed. Washington DC. 2005.
- BARROS, D.; CASAL. ETE Benedito Bentes é inaugurada e vai beneficiar 200 mil pessoas na parte alta de Maceió. **Agência Alagoas**, Maceió, 27 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.casal.al.gov.br/2019/11/ete-benedito-bentes-e-inaugurada-e-vai-beneficiar-200-mil-pessoas-na-parte-alta-de-maceio/>>. Acessado em: 27 de jul. de 2021.
- BASSIN, J.P., 2011, “*Novos processos de remoção de nitrogênio*”. In: DEZOTTI, M., SANT’ANNA JR, G.L., BASSIN, J.P. (Org.) *Processos biológicos avançados para tratamento de efluente e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana*, Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- BASSIN, João Paulo. **Remoção Biológica de Nutriente em Sistemas Compactos e Estudo da Diversidade Microbiana por Técnicas de Biologia Molecular**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: < [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_d/JoaoPauloBassin.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/JoaoPauloBassin.pdf)>. Acessado em: 28 de jul. de 2021.
- BLEINROTH *et al.* Aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA-CETESB) em rios de Maceió-AL. **XIII Simpósio de recursos hídricos do Nordeste**. Aracaju-SE. 2016.
- BRIONES, A.; RASKIN, L. “Diversity and dynamics of microbial communities in engineered environments and their implications for process stability”. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 14, p. 270–276, 2003.
- BROTTO, A.C. **Fatores de controle das emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em tanque de aeração de estação de tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2011.

CANLER, J. P.; PERRET, J. M.; CHOUBERT, J. M. Évaluation, 73roceed73tion et modélisation de filières de traitement: cas du 73roceed à cultures fixées fluidisées (MBBR). **Sciences Eaux and Territoires: la Revue du IRSTEA**, Irstea, p. 16-23, 2013.

CHERNICHARO, C. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios**. Minas Gerais, 1997.

COSTA, Ernani *et al.* *Coletânea em saneamento ambiental*. Universidade do estado do Rio de Janeiro - UERJ, Faculdade de engenharia, E-book, 2014. Disponível em: <<http://www.coamb.eng.uerj.br/download/coamb-TA-Volume5.pdf>>. Acessado em 27 de jul. de 2021.

ESPOSITO, Elisa. **Tratamento biológico de efluentes: Parâmetros ótimos na utilização de um biorreator de leito recheado modificado**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 1995. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266419/1/Esposito\\_Elisa\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266419/1/Esposito_Elisa_D.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2021.

FONSECA, D.L. **Desempenho de Sistemas MBBR em diferentes condições de recheio e vazão: Estudo em escala piloto e laboratorial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **I Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e Saúde Ambiental - I Ciesa**. Belém, 2017. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministrodasaude?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministrodasaude?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 13 dez. 2021.

GARCIA, Marcelo Macruz. **Avaliação comparativa de ETEs em Blumenau**. Orientador: Paulo Belli. 2017. 150f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176192>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

GIORDANO, G. **Conservação e reúso de água**. Curso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Capítulo Nacional da AIDIS, Vitória. ABES, 2016.

HELLER, L. **Mudanças e saneamento Básico: impactos, oportunidades e desafios para o Brasil**. Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes. Rio +20. Brasília: [s.n.]. 2015.

HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Sustainable value - An energy efficiency indicator in wastewater treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 323-330, jan. 2017. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População de Maceió, estimativa, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama> . Acessado em: 11 set. 2021.

IBGE-POF. Pesquisa de orçamentos familiares (2018). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html?=&t=resultados>> . Acessado em: setembro de 2021.

JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4a Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 1995.

JORDÃO, E.P. Eficiência energética em tratamento de esgotos. **Revista DAE**, São Paulo, n.120, pag 15-19, mai. 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6a. ed. Rio de Janeiro. 2011.

LIMA, P. S. **Avaliação do efeito da carga orgânica na operação de um sistema MBBR de dois estágios visando a remoção de matéria orgânica e Nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

MELO, G. **Saneamento Básico como forma preventiva da dengue em Aparecida de Goiânia**. Universidade Católica de Goiás. Goiânia. 2010.

NEW YORK STATE ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY (NYSERDA). **Statewide Assessment of Energy Use by the Municipal Water and Wastewater Sector**. Albany, NY. 2008.

METCALF & EDDY, Inc. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse". McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering**. 5a. ed. McGraw-Hill Education. 2013.

METCALF & EDDY. Tratamento de Efluentes e Recuperação e Recursos. 5° edição. McGraw-Hill Education. 2015.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 6.th. Nova York: Mcgraw Hill, 2016.

NEVES *et al.* CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIACHO REGINALDO EM MACEIÓ-AL E SUAS IMPLICAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2007.

ODEGAARD, B.; RUSTEN, B.; WESTRUM, T. **A new moving bed biofilm reactor - application and results**. Water Science and Technology, v. 29, p. 157-165, 1994.

ODEGAARD, H. (2006). **Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process**. Water science and technology. 2006, v.53, n.9, 17-33p.

OKANO. O. *et al.* **Biogás: Geração e uso energético**. 1° edição. São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, D. V. **Caracterização dos parâmetros de controle e avaliação de desempenho de um reator biológico com leito móvel (MBBR)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2008.

OLIVEIRA, Daniel Vieira *et al.* Avaliação comparativa entre custos dos processos MBBR/IFAS e lodo ativado para o tratamento de esgoto sanitário. **Revista DAE**, São Paulo, n.193, pag 46-55, set./dez. 2013.

OLIVEIRA, Bruno. **Avaliação da eficiência energética em estações de tratamento de esgotos sanitários: estudo de caso no município de Jaraguá do Sul**. Orientador: Rodrigo Mohedano. 2018. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

- OLIVEIRA, Guilherme *et al.* Reutilização de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) na Região de Suzano, São Paulo, Brasil: alternativas e oportunidades. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v.5 n.11, pag 999-1007, dez. 2018.
- OLIVEIRA, Lucas. **Avaliação de desempenho de sistema MBBR em escala piloto**. Orientador: Érica Souza. 2019. 58f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do estado do Amazonas, Manaus, 2019.
- PIMENTEL, Irene Maria Chaves. **Avaliação quali-quantitativa das águas do riacho Reginaldo e seus afluentes**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- PRESIDENTE DA CÂMARA DE JOINVILLE QUER TRATAMENTO DE ESGOTO SEMELHANTE AO DE JARAGUÁ DO SUL. **Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE)**, Jaraguá do Sul, 14 de mai de 2021. Disponível em: <[www.samaejs.com.br/Noticias/Presidente-da-Camara-de-Joinville-quer-tratamento-de-esgoto-semelhante-ao-de-Jaragua-do-Sul](http://www.samaejs.com.br/Noticias/Presidente-da-Camara-de-Joinville-quer-tratamento-de-esgoto-semelhante-ao-de-Jaragua-do-Sul)>. Acessado em dezembro de 2021.
- QIQI, Y.; QUIANG, H.; IBRAHIM, H. Review on Moving Bed Biofilm Process. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 11, n. 9, p. 706-713, 2012.
- QUEIROZ, B.S. **Gestão de energia no saneamento: estado atual e perspectivas para melhorias no setor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2017.
- RUBIM, C. Sopradores para todas as demandas. **Revista DAE**, São Paulo, Nº28, dez/jan. 2016.
- RUSTEN, B., EIKEBROKK, B., ULGENES, Y., LYGREN, E., 2006, “Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors”, *Aquacultural Engineering*, v.34, pp. 322–331.
- SIAAP. **L’assainissement des eaux usées en agglomération parisienne: principes et procédés. Sciences et Techniques**. Livro Pedagógico. Colombes: SIAAP-La Cité de l’Eau et de l’Assainissement - Service Médiation pédagogique, 2013.
- SILVA JÚNIOR, L; OBRACZKA, M. “Reúso de efluentes de estações de tratamento de esgoto no beneficiamento de concreto”. **Mix Sustentável**, Santa Catarina, v.6, n.4, p.85-92. 2020.
- SPERLING, V. M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3<sup>a</sup> ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.
- SPERLING, V. M.; **Lodos Ativados**. 6<sup>o</sup> edição. Editora FCO. Minas Gerais, 2016.
- TERAN, F. et al. “Ampliação da capacidade de tratamento da estação de tratamento de esgotos de Quirinópolis GO por meio da implantação da tecnologia de reator biológico de leito móvel (MBBR)”. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.5, p.26220-26230, nov. 2019.
- WANG, R.-C.; WEN, X.-H.; QIAN, Y. “Influence of carrier concentration on the performance and microbial characteristics of a suspended carrier biofilm reactor”. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 9, p. 2992–3001, 2005.

**ZILLI, R. P. Influência do tempo de retenção hidráulica e da velocidade superficial do ar no desempenho de um reator de leito móvel com biofilme aderido (MBBR).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.