UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ALAGADO OPERADA PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

JÚLIA RODRIGUES DE MEDEIROS

ORIENTADORA: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM
CO-ORIENTADOR: CRISTIANO MANO DA SILVA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO - 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ALAGADO OPERADA PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

JÚLIA RODRIGUES DE MEDEIROS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

ARIUSKA KARLA BARBORA AMORIM, DSc. (ENC/UNB)
(ORIENTADORA)

CRISTIANO MANO DA SILVA
(CO-ORIENTADOR E EXAMINADOR EXTERNO)

CARLOS HENRIQUE LIMA, DSc. (ENC/UNB)
(EXAMINADOR INTERNO)

LENORA NUNES LUDOLF GOMES, DSc. (ENC/UNB)
(EXAMINADORA EXTERNA)

DATA: BRASÍLIA/DF, 16 DE FEVEREIRO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

MEDEIROS, JÚLIA RODRIGUES
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ALAGADO OPERADA PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

xi, 75 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2023)
Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Avaliação de Desempenho
2. Eficiência
3. ETE Alagado
4. Polimento Final

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDEIROS, J.R (2023) AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ALAGADO OPERADA PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: JÚLIA RODRIGUES DE MEDEIROS
TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ALAGADO OPERADA PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL.
GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2023

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Júlia Rodrigues de Medeiros
juliarodriguesmedeiros20@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu agradeço à Deus por tudo, pelo milagre de estar viva, por me amar e me conceder inteligência.

Minha gratidão e amor eterno pela minha mãe, Maria Irani, por ter me trazido ao mundo, agradeço por ter me amado, agradeço por todos os dias de sua vida que ela se doou por mim, acordou cedo antes de mim para preparar o alimento e me acordar para ir para a escola, por tudo que ela fez por mim enquanto tive a honra de tê-la viva na minha vida, agradeço por todos os abraços e palavras de conforto que ela me deu quando eu entrava em desespero pela faculdade, agradeço por ela ter acreditado em mim, mesmo quando nem eu acreditava.

Agradeço ao meu pai, Francisco, por todo suporte que me ofereceu durante todos esses anos de estudos e por sempre ter me incentivado a dar o meu melhor.

Agradeço às minhas irmãs, por terem me inspirado a estudar e me precederam na UnB, e por terem se tornado minha maior rede de apoio após a perda da nossa mãe.

Agradeço à minha orientadora, a Profª. Ariuska, pela oportunidade que me foi dada, pelos conhecimentos passados, pela paciência e pelo auxílio dado ao longo da elaboração desse projeto, agradeço pela amizade formada nas aulas, reuniões e mensagens durante os anos.

Agradeço ao meu co-orientador Cristiano, pela disponibilização de seu tempo, por me guiar e me ensinar na visita técnica, pela paciência, solicitude e gentileza de responder as minhas dúvidas posteriores.

Agradeço ao Prof. Carlos e a Profª. Lenora, por aceitarem o convite de avaliadores da minha defesa e por todos esses anos de parceria na trajetória da graduação.

Agradeço à CAESB pela disponibilização dos dados solicitados e pelo serviço prestado à nossa sociedade.

Agradeço aos meus amigos da faculdade, que me ajudaram tanto nesses 6 anos, me ergueram e compartilharam tantos momentos bons e ruins comigo.

Agradeço à Universidade de Brasília, pelo ensino de qualidade, por me proporcionar a oportunidade de realizar tantos sonhos, de conhecer tantas pessoas e incríveis e de adquirir tanto conhecimento em tantas áreas.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram na minha jornada até aqui.

RESUMO

Os aumentos populacionais e de renda *per capita* têm gerado diversos problemas ambientais em todo planeta. O crescimento exponencial da população e o uso e a ocupação do solo desordenados, acarreta, consequentemente, uma maior geração de esgotos sanitários e novas demandas relacionadas às estruturas de esgotamento sanitário e corpos receptores para lançamento dos esgotos tratados. Este atual trabalho consistiu na avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto Alagado em Santa Maria/DF, operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. Realizando o tratamento que consiste na remoção de matéria orgânica e inorgânica, sólidos totais, micro-organismos patógenos e nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) que provocam a reprodução excessiva de algas e cianobactérias, fenômeno conhecido como eutrofização. Para realizar esta remoção, a ETE Alagado é composta por um sistema de tratamento preliminar, constituído por grades, peneiras e desarenadores, em seguida, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, depois lagoas de alta taxa e por fim o polimento final de tratamento físico-químico, que também recebe o efluente da ETE Santa Maria e é constituído por coagulação, floculação e flotação, posteriormente o efluente tratado é despejado no Rio Alagado. A avaliação ocorreu por análise de dados históricos disponibilizados pela CAESB em planilhas através de solicitação online. Os parâmetros monitorados e avaliados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, *E.coli*, Sólidos Suspensos, pH, Fósforo Total e Nitrogênio Total em relação à eficiência de remoção, continuidade e frequência de dados. Conclui-se que a ETE Alagado apresenta desempenho satisfatório e conformidade com os padrões da Resolução CONAMA n° 430/2011, pois demonstra altos índices de eficiência de remoção dos parâmetros monitorados pela CAESB, obtendo índices acima de 90% e valores dentro dos padrões de lançamento da legislação ambiental vigente. Há um período de dados ausente no início da pandemia do novo coronavírus, no qual houve grandes restrições no monitoramento e análise de amostras devido ao risco de contaminação por contato com o efluente. Entretanto, mesmo com dados faltantes em certos meses e pontos de monitoramento, não houve ausência de dados médios mensais do afluente à estação e nem do efluente do polimento final, o que possibilitou a realização da análise e avaliação dos dados.

Período: 06/06/2022 – 16/02/2023.

Palavras-chave: Avaliação de Desempenho, Eficiência, ETE Alagado, Polimento Final.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 4
2.1. OBJETIVO GERAL 4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
3.1. PANORAMA DO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO 5
3.1.1. PANORAMA NACIONAL 5
3.1.2. PANORAMA DO DISTRITO FEDERAL 9
3.2. ESTUDOS DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO 14
3.3. ESTUDO DE CASO: ETE ALAGADO 16
3.3.1. GRADEAMENTO E DESARENADOR 20
3.3.2. REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE – RAFA 20
3.3.3. LAGOAS DE ALTA TAXA 24
3.3.4. DISPOSIÇÃO NO SOLO 26
3.3.5. POLIMENTO FINAL 26
4. METODOLOGIA 29
4.1. ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DA ETE ALAGADO 29
4.2. ETAPA 2: ANÁLISE DE DADOS SECUNDÁRIOS 30
4.3. ETAPA 3: DIAGNÓSTICO FINAL 31
5. RESULTADOS 32
5.1. CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DA ETE ALAGADO 32
5.2. AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AFLUENTES A ETE E EFLUENTES AO POLIMENTO FINAL 52
5.3. AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DAS UNIDADES QUE COMPÕEM A ETE ALAGADO 59
5.4. SAZONALIDADE 61
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES 65
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Valor médio e desvio padrão dos valores de pH do afluente à estação e o efluente do polimento final da ETE Alagado.....52
Tabela 5.2 – Médias mensais da precipitação diárias da Estação Ponte Alta – Gama.....62
Tabela 5.3 - Análise estatística do período chuvoso e do período seco.....64

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Índice de Atendimento Urbano de Esgoto por Estado no Brasil.....07
Figura 3.2 – Índice de Tratamento de Esgoto por Município Brasileiro.....08
Figura 3.3 - Cidades abastecidas pelo sistema Corumbá IV.....12
Figura 3.4 - Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais no DF.....13
Figura 3.5 - Mapa de Localização da ETE Alagado.....17
Figura 3.6 - Distância em quilômetros entre a ETE Alagado e a ETE Santa Maria.....18
Figura 3.7 - Fluxograma da ETE Alagado segundo PDSB.....19
Figura 3.8 - Visão e distribuição da área da ETE Alagado.....19
Figura 3.9 - Rotas Metabólicas da Digestão Anaeróbia.....19
Figura 3.10 - Desenho Esquemático de um Reator RAFA.....24
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia do projeto.....29
Figura 5.1 – Fluxograma da ETE Alagado.....32
Figura 5.2 - Visão do tratamento preliminar a partir da entrada do terreno da ETE Alagado.....33
Figura 5.3 - Grade grossa mecanizada do tratamento preliminar.....34
Figura 5.4 – Peneiras de tambor rotativa com grade fina.....35
Figura 5.5 - Desarenador do tratamento preliminar.....36
Figura 5.6 - Transportador de areia e caçamba estacionária de detritos.....37
Figura 5.7 - Unidade compacta de tratamento preliminar e *by-pass*.....38
Figura 5.8 - Lateral da Unidade Compacta do Tratamento Preliminar.....38
Figura 5.9 - Caixa de distribuição dos RAFA's, um dos RAFA's e a cidade ao fundo.....39
Figura 5.10 - Lagoa de Alta Taxa sem as chicanas completas.....40
Figura 5.11 - Lagoa de Alta Taxa com chicanas em bom estado.....41
Figura 5.12 - Lagoa de Alta Taxa com chicanas completas.....41
Figura 5.13 - Sistema de coleta do efluente das lagoas de alta taxa.....42
Figura 5.14 - Calha Parshall como UMR e a adição do coagulante.....43
Figura 5.15 - Estrutura Polimento Final.....44
Figura 5.16 – Visão aérea da unidade de Polimento Final.....45
Figura 5.17 – Sistema de Floculação e Flotação da ETE Alagado.....46
Figura 5.18 - Caixa de lodo digerido entre os digestores.....47
Figura 5.19 - Visão aérea da unidade de digestão e desidratação do lodo flotado.....48
Figura 5.20 - Efluente Tratado.....49
Figura 5.21 - Vista frontal das comportas do efluente final.....50
Figura 5.22 - Fluxograma do Polimento Final.....50
Figura 5.23 – Presença de gados na propriedade.....51

Figura 5.24 – Árvore caída devido temporal na semana anterior.....52
Figura 5.25 - Gráfico da concentração média mensal de DBO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado, comparado com a legislação no período de janeiro de 2017 a outubro de 2022.....52
Figura 5.26 - Gráfico da concentração média mensal de DQO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado, comparado com a legislação no período analisado.....54
Figura 5.27 - Gráfico da análise logarítmica da concentração média de Escherichia coli e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado.....55
Figura 5.28 - Gráfico da concentração média de Sólidos Suspensos e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado.....55
Figura 5.29 - Gráfico de concentração média de Fósforo Total e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado.....56
Figura 5.30 - Gráfico de concentração média de Nitrogênio Amoniacal efluente das Lagoas, efluente final e eficiência de remoção.....57
Figura 5.31 – Gráfico concentração de nitrogênio total afluente à estação, efluente do polimento final e eficiência de remoção.....58
Figura 5.32 - Gráfico das médias anuais dos parâmetros afluentes e efluentes das unidades.....60
Figura 5.33 - Eficiência de remoção média anual das unidades de tratamento.....60
Figura 5.34 - Localização da Estação Meteorológica Ponte Alta e a ETE Alagado.....61
Figura 5.35 - Gráfico da média mensal da precipitação total diária.....62
Figura 5.36 - Gráfico das médias mensais de DBO afluente da ETE Alagado.....63
Figura 5.37 – Gráfico das médias mensais da concentração de DBO afluente, DBO efluente e eficiência de recomoção.....63

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 – Média Arirmética.....31
Equação 4.2 – Eficiência de Remoção.....31

Lista de Abreviações, Nomenclatura e Símbolos

ANA: Agência Nacional de Águas

ASB: Aterro Sanitário de Brasília

CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DF: Distrito Federal

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

FAD: Flotação por Ar Dissolvido

GDF: Governo do Distrito Federal

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LDNSB: Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico

NTK: Nitrogênio Total

OMS: Organização Mundial da Saúde

PDAD: Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios

PLANASB: Plano Nacional de Saneamento Básico

PT: Fósforo Total

RAFA: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura

1. INTRODUÇÃO

Os aumentos populacionais e de renda *per capita* têm gerado diversos problemas ambientais em todo planeta. O crescimento exponencial da população e o uso e a ocupação do solo desordenados, acarreta, consequentemente, uma maior geração de esgotos sanitários e novas demandas relacionadas às estruturas de esgotamento sanitário e corpos receptores para lançamento dos esgotos tratados. Em muitas localidades ainda há situações de lançamento de esgotos *in natura* nos corpos hídricos. Isso significa maior carga orgânica nos corpos hídricos, maior aporte de nutrientes, maior quantidade de compostos derivados de hábitos cotidianos, como compostos químicos sintéticos, os contaminantes emergentes, que podem estar relacionados ao surgimento de novas doenças e impactos no organismo humano e animal.

Com o aumento das demandas decorrentes da maior geração de esgotos sanitários, há a necessidade de se ampliar a universalização do acesso ao esgotamento sanitário, que consiste na realização da coleta, afastamento e tratamento dos esgotos gerados pelos centros urbanos e rurais. Sendo que, a universalização também se refere à necessidade de expandir, otimizar e aperfeiçoar os sistemas de esgotamento sanitário já existentes, como também implantar em locais ainda não contemplados.

Nesse quesito, segundo dados de 2021 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil se encontrava na situação de atender uma média de 55,8% da sua população total com sistema de esgotamento sanitário (SNIS, 2021). O que equivalia a 117,3 milhões de pessoas atendidas, num país que possuía 213,3 milhões de habitantes em 2021, ou seja, cerca de 96 milhões de brasileiros viviam em condições precárias, em contato com os dejetos e impactando o ambiente a sua volta.

O Brasil é um país com grande disponibilidade quantitativa de recursos hídricos, entretanto é distribuída de forma desigual entre regiões. Semelhantemente, o índice de atendimento total de esgoto entre as regiões também é diferente. Como se observa que a região Norte, que abrange a Bacia Amazônica, é a região brasileira com maior disponibilidade hídrica, entretanto, é a região que possui o menor índice de atendimento total de esgoto do país, abrangendo apenas 14% da população em 2021 (SNIS, 2021).

Porém, ressalta-se que as porcentagens do SNIS não levam em consideração atendimentos com sistemas alternativos (SNIS, 2021). Como as fossas sépticas, que são uma solução individual reconhecida como atendimento adequado pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASB), é uma alternativa utilizada por domicílios com um

pequeno número de pessoas em áreas rurais. Portanto, as regiões Norte e Nordeste, possuem mais domicílios sendo atendidos com fossas não ligadas à rede do que as outras regiões.

Em relação a região Centro-Oeste, esta possui 61,9% de sua população atendida com esgotamento sanitário (SNIS, 2021). Nesta região, se encontra o Distrito Federal, que abriga o local deste estudo de caso. Os índices do Distrito Federal são discrepantes dos padrões do resto do país, devido a vários fatores, como a menor extensão territorial, ser a capital do país, ser uma unidade da Federação recente e planejada, entre outros. A CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) tem um índice de atendimento (coleta de esgoto) de 91,8% da população do DF (SNIS, 2021), e trata 100% do esgoto coletado por meio de 15 ETE's que estão localizadas em diferentes bacias do DF e possuem diferentes sistemas de tratamento. Através de uma gestão descentralizada, onde os sistemas de tratamento não são padronizados, cada estação possui o arranjo de tratamento que o corpo receptor requerer e for viável.

A CAESB possui o desafio de tratar os efluentes em uma região localizada na cabeceira de três grandes bacias hidrográficas brasileiras, a bacia do São Francisco, bacia do Paraná e bacia do Araguaia. Com isso, os cursos d'água que atravessam a região são próximas às nascentes, possuem baixas vazões e com isso, baixa capacidade de diluição de poluentes. Portanto, quanto menor a vazão do rio e mais restritiva for sua classe, mais rigorosa e eficiente deverá ser a remoção de poluentes na estação de tratamento de esgoto (ETE).

A partir deste contexto inicial, são necessários estudos de avaliação de desempenho, otimização e modernização das estações de tratamento operadas pela CAESB, para que, conforme o desenvolvimento da tecnologia e inovação avançam mundialmente ano após ano, as estações de tratamento possam aderir as novas tecnologias para se aperfeiçoar e se aprimorar cada vez mais sua eficiência de remoção, visando, assim, atender aos padrões de lançamento cada vez mais restritivos no Distrito Federal.

Neste trabalho será avaliado o desempenho operacional da ETE Alagado em relação a sua eficiência de remoção dos poluentes e compostos presentes no esgoto bruto, além de avaliar a operação das unidades de tratamento, constituídas pelo tratamento preliminar, reatores anaeróbios de fluxo ascendente, lagoas de alta taxa e polimento final químico, composto por coagulação, floculação e flotação. Será avaliado através de visita técnica e dados históricos, comparando os dados secundários com os valores preconizados na legislação ambiental vigente, especificamente a Resolução do

CONAMA n° 430 de maio de 2011, que padroniza os valores máximos que os efluentes devem possuir para serem lançados em corpos de água receptores.

A fiscalização e avaliação do tratamento de esgoto em geral não deve se dar apenas pelo objetivo de preservar um corpo receptor, pelo intuito de evitar custos elevados no posterior tratamento de água, que utiliza o corpo como manancial de abastecimento, mas também devem ser feitos com uma visão ecológica. Para que se vise o equilíbrio ecológico, se visualize os corpos hídricos como sistemas ecológicos complexos e importantes por si só, vitais para inúmeros organismos vivos, não vê-los apenas pelo serviço ecossistêmico fornecido para os seres humanos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho do sistema empregado na Estação de Tratamento de Esgoto Alagado em Santa Maria, tendo como referência a Resolução do CONAMA n° 430 de 13 de maio 2011.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o diagnóstico operacional e avaliar a operação dos reatores RAFA, das lagoas de alta taxa e do polimento final;
- Avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, *E.coli*, nitrogênio e fósforo do esgoto bruto;
- Comparar os dados históricos dos parâmetros monitorados com os valores máximos preconizados na Resolução do CONAMA n° 430/2011.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PANORAMA DO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

3.1.1. PANORAMA NACIONAL

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, conhecida como a Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico (LDNSB), estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, que engloba os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (SNIS, 2021). De acordo com o Art. 2º, esta lei estabelece que estes serviços devem ser prestados com o princípio da universalização do acesso e efetiva prestação do serviço, dentre outros princípios. Sendo que a universalização significa a evolução da abrangência do saneamento básico em todos os domicílios ocupados (BRASIL, 2007).

Segundo o "Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas" da ANA (Agência Nacional de Águas) com dados de 2017, no país são geradas 9,1 toneladas de esgoto por dia, e dessa massa gerada, 43% era coletada e tratada, 12% recebia tratamento individual, 18% era coletado, mas não tratado e 27% não recebiam coleta e nem tratamento (ANA, 2017).

Em 2020 ocorreu a atualização do Marco Regulatório do Saneamento por meio do sancionamento da Lei n° 14.026 de 15 de julho de 2020, com a promessa de aprimorar as condições estruturais do saneamento básico do país (BRASIL, 2020). Esta lei estabeleceu para a ANA, a nova nomenclatura de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, tornando-a também agência reguladora do setor do saneamento básico. A ANA passa a ser responsável por definir, organizar e uniformizar as normas de realização e fiscalização dos serviços, para que, com o alinhamento dos padrões de qualidade, eficiência, manutenção e operação dos serviços sanitários, as agências reguladoras subnacionais tenham maior sustentação e estabilidade, e assim atraiam investimentos privados para alavancar a universalização do saneamento no país (SNIS, 2021; Grandchamp, 2023; Portela, 2023).

Além disso, a Lei n° 14.026/20 também estabeleceu um novo marco temporal, onde os contratos de prestação de serviços sanitários deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 90% da população com coleta e

tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033, além de garantir que 99% da população tenha acesso ao abastecimento de água potável. (BRASIL, 2020).

Para a contextualização do panorama nacional desse objetivo de universalização focado no serviço de esgotamento sanitário, é utilizado o instrumento Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), instituído pelo artigo n° 53 da Lei n° 11.445/07, lei de saneamento anterior à n° 14.026/20, e administrado pela Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do atual Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Ele fornece e disponibiliza gratuitamente estatísticas e dados das condições atuais da prestação dos serviços sanitários, com o objetivo de facilitar o monitoramento e avaliação da eficácia destes serviços (SNIS, 2021; Borges *et al.*, 2022).

O Panorama do Saneamento Básico no Brasil mais recente foi publicado em 2021 com referência ao ano de 2020, é uma compilação da última coleta de dados do SNIS das quatro esferas do saneamento básico: abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos e drenagem (SNIS, 2021). Com enfoque no panorama do esgotamento sanitário, segundo os dados levantados pelo SNIS em 2020, o país possuía 362,4 mil quilômetros de extensão de rede pública de esgoto, onde havia ao todo 36 milhões de ligações em residências. Isso equivale a um atendimento de 114,6 milhões de pessoas, ou seja, pouco mais da metade da população brasileira (55%) recebia coleta de esgoto. E em termos urbanos, a população atendida equivalia a 63,2% dos residentes no meio urbano (SNIS, 2020).

A porcentagem do índice de atendimento total de esgoto entre as regiões do país é desigual, como apresentado na Figura 3.1, onde no Sudeste o esgotamento abrange 80,5% da população, já no Norte apenas 13,1% da população é atendida (SNIS, 2020). Um adendo sobre este dado é que este levantamento do SNIS não leva em consideração as soluções individuais adequadas reconhecidas pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Planasb), como a alternativa de uso de fossas sépticas, muito utilizadas em domicílios de áreas rurais com poucos habitantes. E este é o caso da região Norte e Nordeste, onde, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios contínua (PNAD) de 2019, o Nordeste possui 5.715 mil domicílios com fossa séptica, e o Norte possui 2.295 mil domicílios com a mesma solução individual não ligadas à rede pública de esgoto (SNIS, 2021).

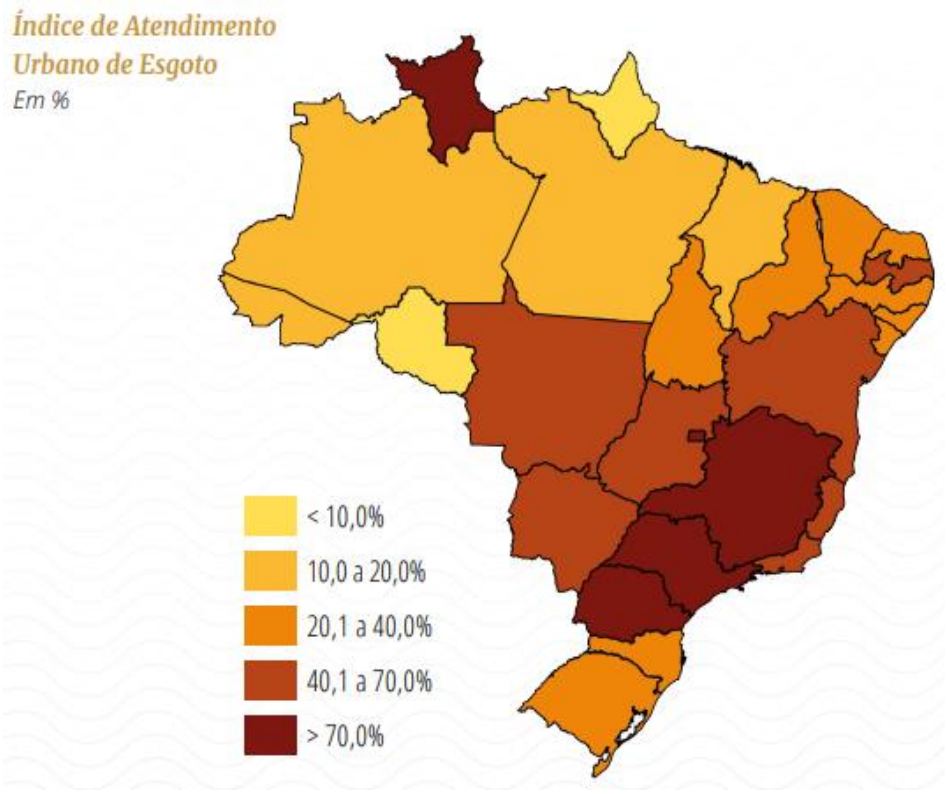


Figura 3.1 – Índice de Atendimento Urbano de Esgoto por Estado no Brasil (Fonte: SNIS, 2021)

A região Sudeste possuía 80,5% de atendimento, sendo o maior índice dentre todas as regiões do Brasil (SNIS, 2021). Esse fato é influenciado por vários fatores, como o histórico da região ter sido o foco de mineração e produção de café, houve também o período da "Política do Café com Leite". Portanto, é a região mais desenvolvida, industrializada e populosa do país, e consequentemente, recebe mais aplicações e investimento de recursos para o esgotamento sanitário. Enquanto a macrorregião Norte segue com o menor investimento do país.

De todo o esgoto gerado, em 2020, pela população total brasileira de 211,8 milhões de habitantes, apenas 50,8% receberam tratamento antes da disposição em corpos hídricos (SNIS, 2020). Logo, aproximadamente metade do esgoto gerado no país foi lançado nos corpos d'água contribuindo para todas as complicações ao ambiente e a saúde humana associadas à essa poluição. Porém, considerando a porcentagem de esgoto que é coletado pelo sistema público, 79,8% deste volume recebeu tratamento. Na Figura 3.2 é apresentada a porcentagem de tratamento de esgoto por município brasileiro, onde novamente destacam-se os baixos valores dos municípios da região Norte e Nordeste, pela razão apresentada da solução individual de fossas sépticas ou falta de investimento em soluções coletivas.

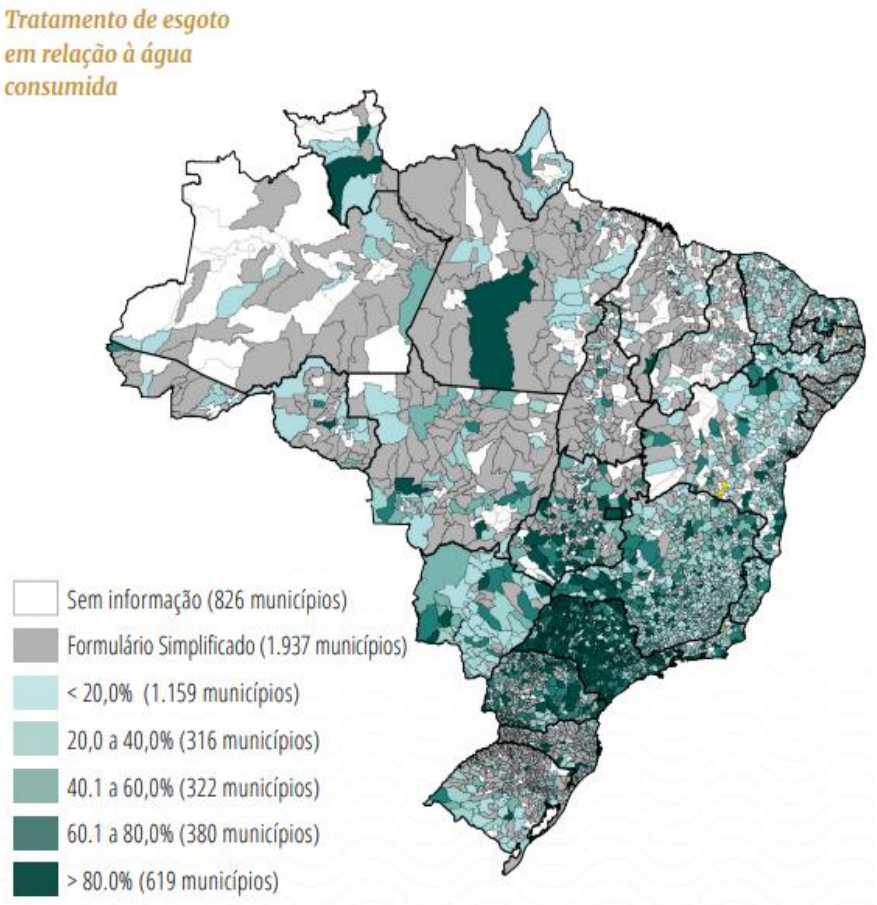


Figura 3.2 – Índice de Tratamento de Esgoto por Município Brasileiro (Fonte: SNIS, 2021)

Em relação ao esgoto gerado em 2021 pela população total do país, 51,2% recebeu tratamento antes do despejo nos corpos hídricos, ou seja, houve um aumento do índice do ano 2020 para o 2021. Isso ainda significa que cerca de 48,8% do volume de esgoto bruto, com alta concentração de matéria orgânica, nutrientes e organismos patógenos, provavelmente entrou em contato direto com cursos d'água, gerando diversos impactos tanto ambientais quanto na saúde humana. Desse total de esgoto que é gerado, uma parcela é da população residente da zona urbana, a qual possuía um índice de atendimento de 64,1% da população urbana, o que equivalia a 114,8 milhões de pessoas (SNIS, 2021). Sendo que segundo o Painel de Informações de 2021, havia 180,8 milhões de habitantes na zona urbana, o que significa que mais de 60 milhões de pessoas moravam na zona urbana e mesmo assim não eram atendidas com esgotamento sanitário. Essa porcentagem de 64,1% cobre mais da metade da população urbana, porém, ainda há milhões de pessoas necessitando desse atendimento e acesso, sendo, portanto, um desafio nacional a se vencer para alcançar índices ainda maiores.

Com base nos dados apresentados do panorama nacional de coleta e tratamento de esgotos sanitários nas macrorregiões do Brasil, nota-se que ainda há grandes desafios a serem superados tanto em termos de investimentos, como de políticas que visem garantir o acesso ao saneamento básico como Direito Humano. A Resolução 64/292 da ONU reconhece o direito à água potável limpa e ao saneamento como Direitos Humanos, reconhecendo-os também como essenciais para a vida plena e para a concretização de todos os Direitos Humanos. A Resolução também apela aos estados e organizações internacionais que providenciem recursos financeiros, capacidade de construção e transferência de tecnologias, principalmente aos países em desenvolvimento, para impulsionar os esforços de providenciar água limpa e saneamento para todos e atingir os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ONU, 2010).

O tratamento de esgoto sanitário apresenta duas vertentes igualmente importantes, quais sejam: evitar a poluição dos corpos d'água e a transmissão de doenças. As populações de baixa renda são as que mais são afetadas com a falta de acesso às estruturas de esgotamento sanitário, o que as torna mais vulneráveis e suscetíveis a problemas ambientais e de saúde pública. Pois as crianças expostas à essas condições insalubres, tem a saúde na primeira infância prejudicada, e isso gera uma sequência de impactos em outras esferas, como no desempenho da educação de crianças e adolescentes, acarretando em piores chances no mercado de trabalho, prejudicando a produtividade e a renda.

No aspecto econômico, estudos estimam que a cada dólar investido no setor de saneamento, poupa-se cerca de 4,3 dólares gastos na saúde (OMS, 2014) e gera um retorno, em países em desenvolvimento, de US$5 a US$28 na economia (UNESCO, 2015). Os efeitos positivos do investimento no esgotamento sanitário são também vistos na educação, na produtividade do trabalho, na valoração imobiliária, na expansão do turismo, na geração de empregos e na qualidade de vida da população em geral (Freitas e Manabosco, 2017).

3.1.2. PANORAMA DO DISTRITO FEDERAL

O Distrito Federal (DF) se encontra com índices de coleta de esgoto superiores a 70% e índice de tratamento acima de 80%, respectivamente (SNIS, 2020). O Distrito Federal possui uma população de 3,1 milhões de habitantes, onde 91,8% desta população recebe atendimento de coleta de rede de esgoto, sendo que de todo o esgoto coletado, 100% é tratado pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal),

lembrando que esta porcentagem do SNIS não considera tratamentos alternativos individuais (SNIS, 2020).

O Distrito Federal apresenta uma das maiores coberturas do serviço de esgotamento sanitário dos estados do país em relação à população total, indicando a alta qualidade do serviço. Para alcançar o alto percentual de universalização, no que se refere ao tratamento de 100% do esgoto coletado, o Distrito Federal possui 15 Estações de Tratamento de Esgoto ativas (PDSB, 2017) operadas pela CAESB. A Companhia possui o princípio da descentralização, pois as estações possuem diferentes tecnologias de tratamento com diferentes eficiências de remoção de matéria orgânica e nutrientes, pois os graus de tratamento variam de acordo com o corpo receptor, sua capacidade de autodepuração, as características de uso da água a jusante do lançamento e as legislações vigentes (Jordão e Pessôa, 2011). Ademais, há o fator de que quanto mais sofisticado o processo, maior o custo de instalação, operação e manutenção (PDSB, 2017), portanto, por questões econômicas, os responsáveis podem tender a cumprir o mínimo possível, pelo cenário de escassos investimentos nesse setor sanitário no Brasil.

Uma característica regional em comum entre os corpos d'água do Distrito Federal é a de possuírem baixas vazões. Isso se deve ao histórico da Capital do país ter tido sua escolha de localização através de anos de estudos e explorações, principalmente pela Missão Cruls, chefiada pelo astrônomo e geógrafo Luiz Cruls, de 1892 a 1894, por determinação do artigo 3º da Constituição Federal de 1891, para mudança da Capital para o planalto central (BRASIL, 1891).

Um dos pontos mais favoráveis encontrados por Cruls foi o Planalto Central ter a maior concentração de nascentes do país e se localizar no ponto de união das nascentes de três grandes bacias hidrográficas brasileiras: Tocantins, São Francisco e Paraná (Cruls, 1894 apud Viera *et al*, 2017). Cruls (1894) elogiou a abundância dos mananciais de água pura, dos rios caudalosos que correm para o Norte, Leste e Sul, até supondo que no futuro os cursos das nascentes seriam um dia navegáveis.

A escolha do local para implantação da Capital foi celebrada na época, pelo cunho da centralidade, união e integração entre regiões. Entretanto, após mais de 60 anos de crescimento populacional, ocupação territorial desordenada, impermeabilização do solo em áreas de recarga de aquíferos, perdas de nascentes, excesso de poços subterrâneos, rebaixamento dos lençóis freáticos, poluição dos rios, do solo e dos aquíferos, essa característica de cabeceira das bacias têm se tornado um desafio para a companhia de saneamento ambiental do DF. Por ser responsável por garantir a qualidade de efluente

sanitário padronizada pela Resolução CONAMA n° 430/2011, mesmo que a carga afluente continue aumentando devido ao crescimento populacional (Salles, 2015).

Por ser o berço das águas do país devido a altitude elevada, as baixas vazões dos corpos d'água do Distrito Federal, resultam em legislações e fiscalizações rigorosas aplicadas aos padrões de lançamentos de efluentes de estações de tratamento de esgoto., pois, além dos efeitos nocivos à vida aquática após o lançamento, há também a interferência na qualidade da água para abastecimento humano, irrigação e indústrias que possuírem outorga de captação à jusante na bacia, aumentando os custos com mecanismos mais eficientes para tornar a qualidade da água compatível com as condições demandadas pela atividade (Jordão e Pessoa, 2011).

A atenção à carga de matéria orgânica e nutrientes remanescentes lançados aos cursos d'água no planalto central também se dá pelo alto risco de eutrofização que esses corpos receptores estão suscetíveis. Principalmente o Lago Paranoá e Lago Corumbá IV, que recebem os efluentes de 4 ETE's em cada bacia, e são mananciais de captação de água para consumo humano, incluindo habitantes do Distrito Federal (PDSB, 2017; Ribeiro, 2021; Soares e Caramori, 2022).

A ETE Alagado, que será objeto deste estudo, está situada na bacia do Rio Corumbá, lança seu efluente no Rio Alagado de classe 2, que após o ponto de mistura, se torna classe 3 e deságua no braço leste do reservatório Corumbá IV (Parente, 2021). O reservatório Corumbá IV atualmente abastece 1,3 milhões de pessoas no DF e Goiás, em uma parceria entre a CAESB e a Companhia de Saneamento de Goiás (Saneago). O sistema foi inaugurado após mais de 10 anos de obras e a água captada é tratada da ETA Valparaíso de Goiás. As regiões administrativas do DF abastecidas por esse sistema de abastecimento de água são Santa Maria, Gama, Recanto das Emas e Riacho Fundo II. E os municípios do Goiás atendidos são Luziânia, Valparaíso do Goiás, Cidade Ocidental e Novo Gama, que são cidades do Entorno do Distrito Federal e são conurbadas com Santa Maria, como se observa na Figura 3.3 (Soares e Caramori, 2022).



Figura 3.3 – Cidades abastecidas pelo sistema Corumbá IV (Fonte: TV Globo, 2022)

Como os corpos d'água são utilizados como manancial para captação de água, também são utilizados para diversas atividades humanas, como natação e pesca. Para garantir que os corpos d'água tenham uma qualidade que seja segura e não ofereça risco à saúde humana, foi-se criado o enquadramento de corpos de água, que é um instrumento de planejamento da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH instituída pela Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997). O enquadramento trabalha com a visão futura da bacia, permitindo que se defina caminhos a seguir para alcançar uma situação desejada, assegurando qualidade de água compatíveis aos usos mais exigentes da bacia e objetiva diminuir os custos de combate à poluição das águas por meio de ações preventivas (ANA, 2020). Na Figura 3.4, é apresentado o enquadramento do rio Alagado destacado em roxo, antes e após o desague do efluente da ETE Alagado. Nota-se que o rio à jusante da ETE enquadra-se em classe 2 e após o lançamento do efluente tratado, enquadra-se com classe 3.

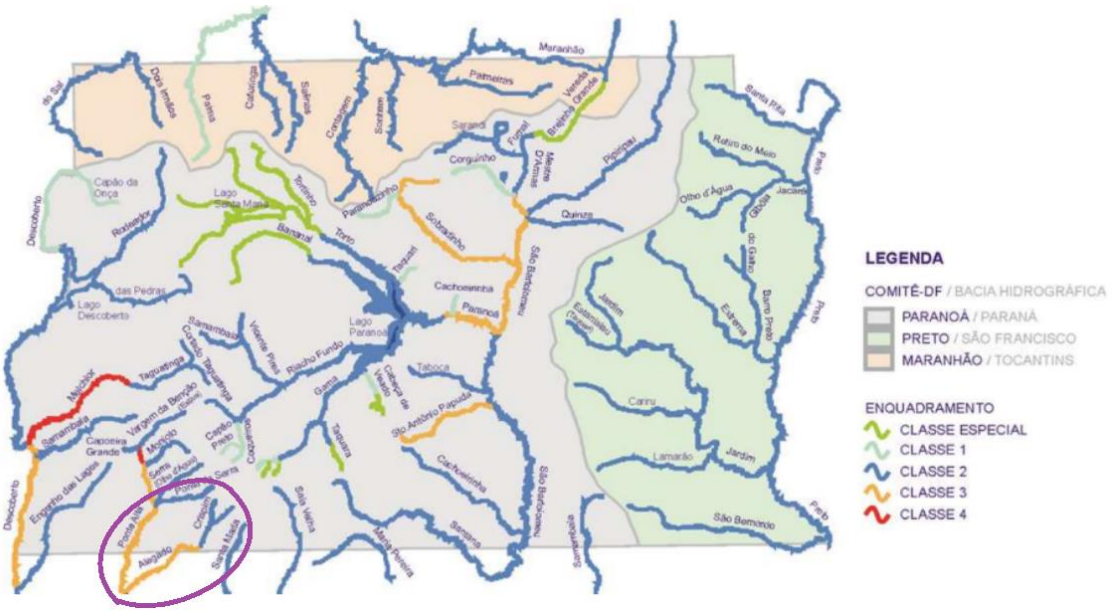


Figura 3.4 - Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais no DF
(Fonte: PGIRH-DF, 2012)

Em conjunto com a PNRH, a Resolução CONAMA n° 357 de 2005 dispõe com mais detalhes sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (BRASIL, 2005). De acordo com essa resolução, os corpos d'água de classe 3 podem ser utilizados para:

a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
b) para a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
c) para a pesca amadora;
d) à recreação de contato secundário; e
e) à dessedentação de animais.

Ressalta-se que o enquadramento estabelece projeções de qualidades futuras, levando em conta os limites técnicos, sociais e econômicos existentes. As classes partem da mais exigente, que reúne as melhores condições possíveis que um corpo d'água pode ter (classe especial), para a mais permissiva, onde são admitidos os níveis mais elevados de poluição (classe 4). A Resolução do SINJ-DF n° 02, de 17 de dezembro de 2014 aprova o enquadramento dos corpos hídricos do DF em classes, segundo os usos preponderantes e dá encaminhamentos. Essa Resolução define que o ano adotado como prazo máximo para a efetivação do enquadramento será 2030. Portanto, os valores máximos padronizados dos parâmetros na CONAMA 357/05 são metas futuras, não refletem a qualidade atual do corpo d'água.

No âmbito tanto nacional quanto regional do Distrito Federal, o padrão de lançamento de efluentes e enquadramento de corpos d'água vigente é a Resolução CONAMA n° 430 de 2011, além da Resolução n° 357/05 citada acima. A Resolução nº 430/11 define as condições e padrões de lançamento de efluentes, e particularmente, a Seção III estabelece as condições e padrões específicos para lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (BRASIL, 2011). Definindo as condições de que:

a) pH deve estar entre 5 e 9;
b) temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
c) DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento à metas do enquadramento do corpo receptor.
d) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
e) ausência de materiais flutuantes.

Logo, o presente trabalho irá avaliar se a ETE Alagado está atendendo as normas da legislação ambiental e das resoluções do CONAMA citadas acima.

3.2. ESTUDOS DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO

Devido à importância de um sistema de tratamento de esgoto ser eficiente e operar constantemente, há realização de estudos acadêmicos de diversas universidades para avaliar e fiscalizar os detalhes das operações das estações de tratamento de esgoto (ETE), as eficiências de remoções alcançadas e a condição de conservação e qualidade que seus equipamentos operam.

Aragão (2021) realizou a avaliação de desempenho do sistema operacional da ETE Planaltina/DF, composta por reatores UASB acoplados a lagoas facultativas, seguidos por lagoas de maturação. A análise de atendimento ao padrão de lançamento foi feita através de ferramentas estatísticas, caracterizando os dados afluentes do tratamento preliminar e afluentes e efluentes das lagoas, como DBO, DQO, SST e CT, além de comparar tais dados com os usuais da literatura. Concluiu-se que a estação apresentou

alta eficiência na remoção dos constituintes e satisfatório desempenho dos padrões de lançamento.

Carvalho Júnior (2018) em sua monografia de graduação em Engenharia Ambiental avaliou a eficiência da ETE Paranoá/DF, constituída de reatores UASB e seguidos de lagoas de alta taxa, semelhante ao tratamento utilizado no atual estudo de caso da ETE Alagado. A metodologia adotada constituiu no diagnóstico operacional do sistema por meio dos dados secundários fornecidos pela CAESB e no monitoramento dos reatores UASB e das lagoas de alta taxa com coleta de amostra e análise dos parâmetros: DQO, pH, alcalinidade, ácidos orgânicos voláteis (AOV), nitrogênio (amônia), fósforo (ortofosfato) e concentração de clorofila-a.

A partir da análise dos resultados observou-se que a ETE sofria sobrecargas hidráulicas, principalmente nos períodos de chuvas intensas, com picos de vazão afluente acima da vazão máxima de operação, levando à necessidade de *by-pass* do efluente preliminar diretamente para as lagoas de alta taxa. Além disso, verificou-se que em todas as lagoas, a remoção de matéria orgânica foi ineficiente, com remoção de nitrogênio amoniacal abaixo de 50%, entretanto, a remoção de ortofosfato foi superior a 80% (Carvalho Júnior, 2018).

Parente (2021) realizou um levantamento e sistematização de dados de 6 estações de tratamento operadas pela CAESB no Distrito Federal, dentre elas a ETE Alagado, e avaliou seus desempenhos. Após a descrição dos sistemas de tratamento das estações, por dados fornecidos pela CAESB, pela impossibilidade de visitas técnicas em decorrência da pandemia do novo coronavírus, fez análises estatísticas pelo software BioEstat, incluindo análises descritivas como média aritmética, média geométrica, valor mínimo e máximo, desvio padrão e percentis com os dados secundários dos parâmetros: DBO, DQO, fósforo total, sólidos suspensos e coliformes totais. Os dados foram disponibilizados em planilhas eletrônicas com todos os dados, juntamente com a série histórica de 2018 a 2020.

Parente (2021) realizou a comparação dos dados afluentes e efluentes atuais e os valores típicos da literatura, então verificou se o efluente atende aos padrões de lançamento da Resolução CONAMA 430/2011. Outra avaliação realizada foi a influência da época do ano, dos períodos chuvosos e secos, nas concentrações afluentes e efluentes, e para tal, utilizou-se o teste não-paramétrico de Mann e Whitney para identificar diferenças estatisticamente significativas entre os dados dos dois períodos. Esse teste é aplicado em situações em que se tem um par de amostras independentes e se deseja testar

se as populações que deram origem a essas amostras podem ser consideradas semelhantes ou não, principalmente verifica-se se há evidências que os valores do grupo A são superiores aos valores do grupo B. Esse teste, testa a igualdade das medianas, e os valores calculados avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação, quanto maior a separação dos dados, mais distintas são as amostras, o que levaria a rejeitar a hipótese de igualdade das medianas, levando a conclusão que os valores do grupo A são mesmo superiores ao do grupo B (Silva e Bogoni, 2015).

Os resultados obtidos por Parente (2021) expressaram que as ETEs possuem boa eficiência de remoção de alguns parâmetros, como a DBO, com três ETEs com eficiência acima de 90%. Em relação à sazonalidade, os valores dos parâmetros do período seco foram maiores que no período chuvoso, em decorrência da maior diluição em período chuvoso. Nesse estudo, especificamente a ETE Alagado apresentou eficiências remoção de DBO, DQO, Fósforo Total, Sólidos Suspensos Totais e Coliformes Totais todos acima de 90%, dentre as seis estações analisadas, foi a estação com maiores médias de remoção no geral, seguida pela ETE Santa Maria.

O presente trabalho, que avalia o desempenho da ETE Alagado, diferencia dos resultados obtidos por Parente (2021), pois não possível realizar testes estatísticos como o de Mann-Whitney, apenas operações estatísticas simples como média e eficiência de remoção. Outra diferença para o presente trabalho foi a criação do fluxograma fidedigno do esquema da ETE Alagado, feito a partir de visita técnica e observações presenciais, enquanto no trabalho de Parente (2021) não foi possível a realização de visitas técnicas devido à pandemia do novo coronavírus.

3.3. ESTUDO DE CASO: ETE ALAGADO

A Região Administrativa de Santa Maria RA XIII está localizada ao sul do Plano Piloto, na divisa do Distrito Federal com o Goiás, tanto que é conurbada com a cidade Novo Gama e Valparaíso do Goiás. A cidade Santa Maria é fruto de um grande programa de distribuição de lotes realizado pelo GDF em 1993, logo, a cidade completou 30 anos no dia 10 de fevereiro de 2023. É uma região administrativa que possui uma área de 13.158,31 hectares banhada pelos rios Santa Maria, Alagado, Saia Velha e Ponte Alta.

A região de Santa Maria compreende o Pólo JK, uma área em torno de Santa Maria, às margens da BR-040, no qual a maioria das empresas estão voltadas para atividades industriais e de logística. A ETE Santa Maria coleta o efluente industrial gerado nesse setor, e o efluente da ETE Santa Maria se junta ao da ETE Alagado no

polimento final químico. Além disso, Santa Maria possui questões de propriedade de terra a serem resolvidas com comunidades quilombolas.

A Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN, realiza a pesquisa distrital por amostras de domicílios - PDAD, a cada dois anos, conforme o Decreto n° 39.403 de 2018. Seu objetivo é investigar informações demográficas, sociais, de trabalho e de renda, além de atributos dos domicílios. A PDAD mais recente foi realizada em 2021 e publicada em 2022, esta aponta que a população urbana da região administrativa Santa Maria era de 130.970 habitantes, sendo 52% do sexo feminino (PDAD, 2021).

Sobre as características do domicílio particular quanto ao tipo de esgotamento sanitário, a pesquisa relata que 98,5% dos domicílios (37.763) possuem ligação à rede geral da CAESB. Entretanto, no mesmo documento, também é relatado sobre problemas nas cercanias dos domicílios e neste quesito 3.135 domicílios (8,2%) relatam possuir esgoto a céu aberto. Sobre outros problemas nas cercanias, 3% relatam haver áreas com erosão próximas, 21,1% relatam existência de entulho e 18,5% informaram que as ruas ficam alagadas quando chove (PDAD, 2021).

A ETE Alagado está localizada em Santa Maria/DF, na DF-290, próxima à entrada do Parque Recreativo da Prainha, às margens do Rio Alagado e na proximidade do limite da RA Gama. A Figura 3.5 apresenta o Mapa de Localização da ETE, onde pode se observar a proximidade com as cidades do Gama, Santa Maria e Novo Gama - Goiás.

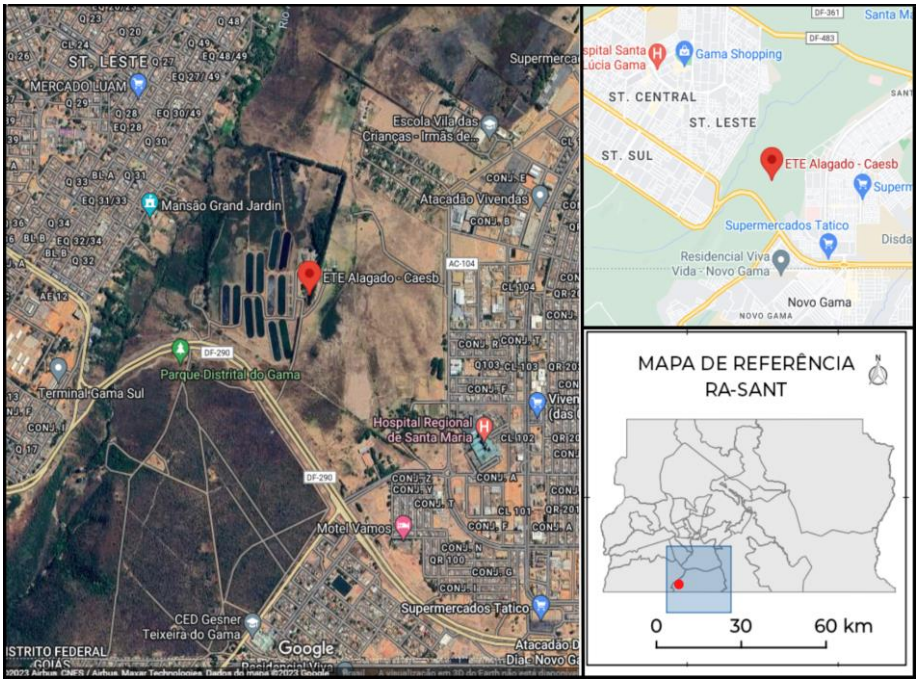


Figura 3.5 - Mapa de Localização da ETE Alagado (Fonte: Google Maps)

O efluente final da ETE Santa Maria é encaminhado para a unidade de polimento final da ETE Alagado, que trata ambos e despeja no rio Alagado, portanto a distância entre as duas estações é de aproximadamente 3,73 km segundo o Google Earth, como ilustra a Figura 3.6 a seguir.



Figura 3.6 - Distância em quilômetros entre a ETE Alagado e a ETE Santa Maria
(Fonte do Mapa de fundo: Moovit)

A Estação de Tratamento de Esgoto Alagado foi inaugurada em 1998, cinco anos após a criação de Santa Maria pelo Decreto n° 14.604/93, para atender uma vazão média de projeto de 154 L/s proveniente de uma população estimada de 84.852 habitantes, porém sua vazão atual é de 81 L/s. E apesar do PDAD ter acusado uma população maior que 85 mil habitantes ao total em Santa Maria, a coleta e tratamento realizado pela ETE Alagado em Santa Maria é realizada também pela ETE Santa Maria.

Ambas as estações possuem a Licença de Operação emitida pelo IBRAM para a CAESB, licenciando a atividade de sistema de esgotamento sanitário de Santa Maria, contemplando as redes coletoras, os interceptores, as Estações Elevatórias de Esgotos e as respectivas linhas de recalque das estações.

Portanto, o sistema de tratamento da ETE Alagado é composto por um tratamento preliminar, reatores RAFA, lagoas de alta taxa e polimento final químico (PDSB, 2017). A Figura 3.7 apresenta o Fluxograma teórico da ETE Alagado que se encontra no Plano Distrital de Saneamento Básico de 2017.

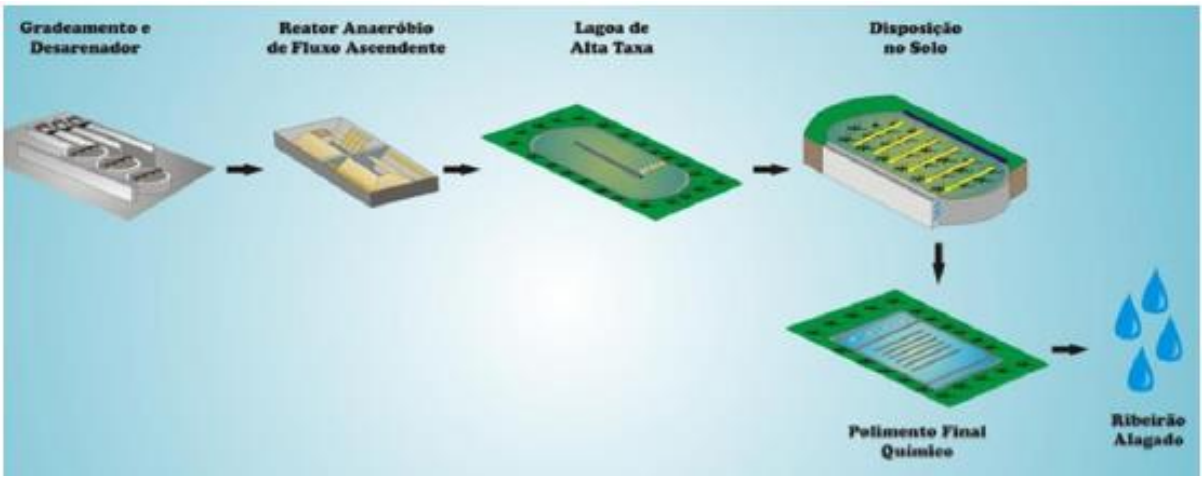


Figura 3.7 - Fluxograma da ETE Alagado segundo PDSB (Fonte: PDSB, 2017; SIESG, 2014)

A Figura 3.8 a seguir apresenta a distribuição de ocupação da ETE Alagado sob perspectiva superior, graças a imagens reais de sensoriamento remoto do Google Earth. Estão destacadas e indicadas as unidades de tratamento.



Figura 3.8 - Visão e distribuição da área da ETE Alagado (Fonte: Google Earth)

3.3.1. GRADEAMENTO E DESARENADOR

No tratamento preliminar, o esgoto é transportado por gravidade à unidade de grades de barra, e através de gradeamentos grosseiros com limpeza manual e gradeamentos finos com limpeza mecanizada, para remoção de sólidos grosseiros em suspensão, como objetos, plásticos e resíduos sólidos oriundos de algum descarte inadequado, de uma má utilização das instalações prediais e dos coletores públicos (PDSB, 2017). Essa remoção protege os dispositivos de transporte, como bombas e tubulações, as estruturas de tratamento, os corpos d'água e remove parcialmente a carga poluidora, contribuindo para a eficiência de remoção das etapas seguintes do sistema (Jordão e Pessôa, 2011).

Após o gradeamento, a ETE Alagado possui dois desarenadores retangulares, que removem o material arenoso contido no esgoto e que contêm quantidade de matéria orgânica, como: vegetais, grãos de café, de feijão, pedaços de frutas, de verduras, gordura, casca de ovos, pedaços de ovos e penas de aves. Estes são provenientes do uso doméstico comum, porém, alguns materiais arenosos podem ser oriundos de ligações clandestinas de águas pluviais. Essa unidade objetiva prevenir a abrasão e a obstrução dos equipamentos, tubulações e demais unidades da ETE, como: calhas, orifícios, tanques, caixas de distribuição, entre outros (Jordão e Pessôa, 2011). Os resíduos retidos no gradeamento e na desarenação são encaminhados para destinação final como resíduos sólidos no aterro sanitário (PDSB, 2017).

3.3.2. REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE – RAFA

Na etapa do tratamento cujo objetivo principal é a remoção de matéria orgânica por meio de processos biológicos, são utilizados reatores RAFA. A matéria orgânica se apresenta nas formas de matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) e/ou de matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa). Esses processos visam acelerar e controlar os mecanismos de degradação que já ocorrem naturalmente nos corpos hídricos ou no solo. (Von Sperling, 1996).

Após a desarenação, o esgoto é direcionado através de caixas de distribuição para o fundo dos quatro reatores anaeróbios de fluxo ascendente, conhecidos como RAFA, ou UASB em inglês (*upflow anaerobic sludge blanket*). Tecnologia desenvolvida desde a década de 1970, pelo professor Gatze Lettinga na Holanda (Santos, 2019). Foi introduzida

no Brasil na década de 1980 e cuja aplicação vem crescendo desde então nas ETE's do país (Santos *et al.*, 2019).

Tanto que, em um levantamento feito por Chernicharo *et al*. (2018), foi contabilizado que 40% de 1.667 estações de tratamento de esgoto selecionadas e espalhadas por 9 estados brasileiros e o DF possuem reatores UASB presentes em seus fluxogramas de sistema (Santos *et al.*, 2019). Segundo Aragão (2021) este é o sistema mais utilizado no Brasil, o que se verifica também no Distrito Federal, pois 10 das 15 ETE's do DF contam com pelo menos um reator UASB/RAFA (PDSB, 2017).

As vantagens desse sistema em relação aos demais sistemas aeróbios convencionais é de que se constitui como um sistema compacto com baixa demanda de área, baixo custo de implantação e operação, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia, baixo tempo de detenção hidráulica, elevada concentração e boa desidratabilidade de lodo excedente, além da possibilidade de rápido reinicio e satisfatória eficiência de remoção de DQO e DBO, na ordem de 65 e 75% (Chernicharo, 1997; Campos, 1999).

As desvantagens enfrentadas por essa alternativa são a possibilidade de geração de maus odores, baixa capacidade em tolerar cargas tóxicas, elevado intervalo de tempo para a partida do sistema e devido a eficiência de remoção menor que 90% (eficiência de DBO e DQO da ordem de 65 a 75%), há necessidade de pós-tratamento. Em relação a geração de maus odores, só ocorre se o sistema houver desequilíbrio, pois se for bem projetado, construído e operado não ocorrerá mau cheiro (Chernicharo, 1997).

Os reatores anaeróbios são alimentados com o esgoto pela parte inferior, onde se encontra uma camada espessa de lodo denso com elevada capacidade de sedimentação, formado por biomassa anaeróbia com elevada atividade metabólica, o chamado leito de lodo. A digestão anaeróbia consiste em um consórcio entre diversos grupos de microrganismos.

A primeira etapa é a hidrólise, onde bactérias hidrolíticas fermentativas, que realizam a hidrólise, quebrando produtos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos orgânicos simples (açúcares, aminoácidos e peptídeos). Estes são usados como substrato para as mesmas bactérias realizarem a acidogênese e produzirem ácidos orgânicos, álcoois, acetato e compostos minerais como CO_2 e H_2. A partir dos produtos da acidogênese, ocorre a acetogênese, também gerando acetato, gás carbônico e gás hidrogênio. Como pode-se observar na Figura 3.9 com o esquema das etapas da digestão anaeróbia.

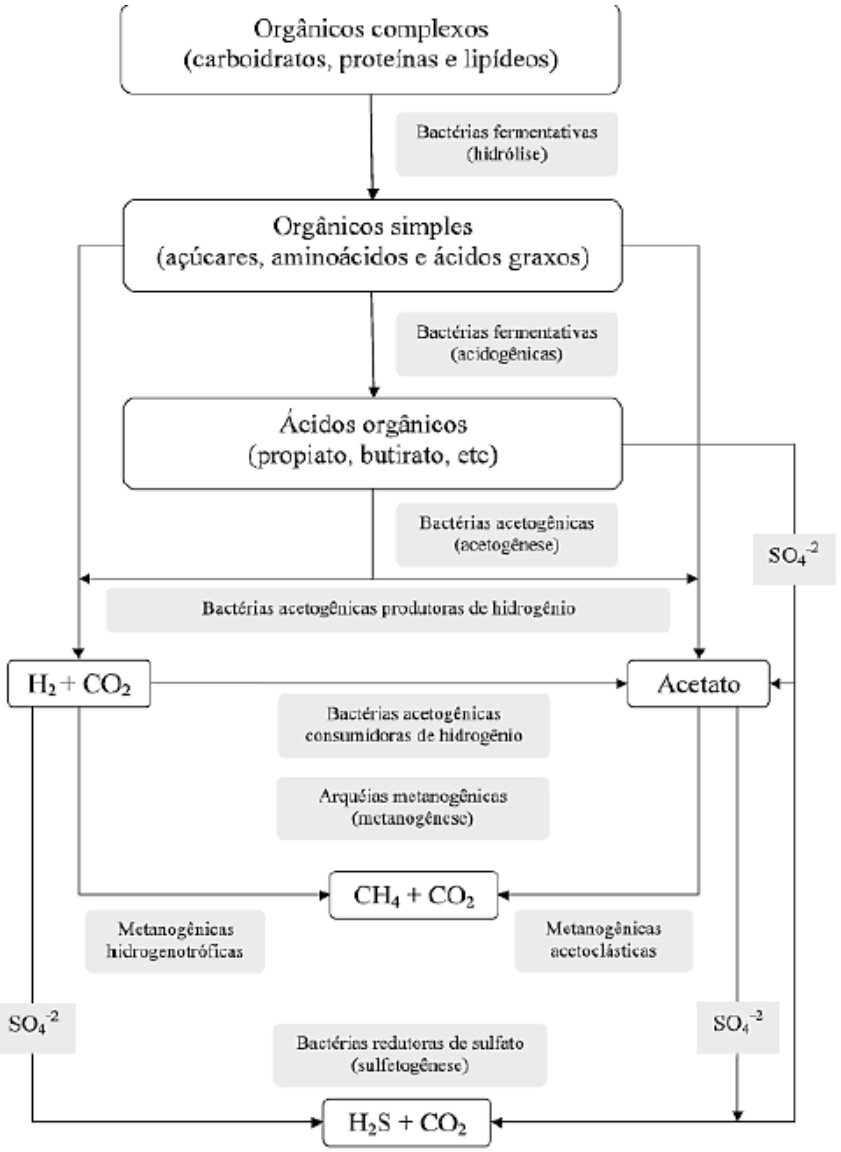


Figura 3.9 – Rotas metabólicas da digestão anaeróbia. (Fonte: Chernicharo, 1997)

Estes produtos são substratos para a metanogênese, produzindo o gás metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Esses gases formam bolhas com tendência ascendente, e esse movimento realiza o carregamento da massa líquida para a parte superior do reator, garantindo o caráter de fluxo ascendente, que realiza a automistura do reator e assegura o máximo contato entre a biomassa e o substrato. Em seguida ao leito de lodo, desenvolve a manta de lodo, que consiste em um lodo mais leve e disperso no meio, com sólidos apresentando menor velocidade de sedimentação. O leito e a manta de lodo compõem o chamado compartimento de digestão, ou seja, zonas em que ocorrem a remoção do substrato.

O movimento ascensional leva a mistura de gás, líquidos e sólidos para a zona superior, chamada de compartimento de decantação, onde há a separação das três fases

através do dispositivo separador trifásico, o defletor de gás e as calhas de coleta. Os defletores se localizam imediatamente abaixo das aberturas de passagem do compartimento de decantação, conduzindo as bolhas de gás para o interior superior do separador trifásico, onde será coletado. Isso é feito porque deve-se evitar a liberação descontrolada desse gás metano na atmosfera, afinal ele contribui para o efeito estufa cerca de 21 vezes mais que o gás carbônico.

A geração desse biogás pode ser usada como fonte de energia, resultando na vantagem da possibilidade do aproveitamento energético do biogás, podendo tornar autossustentável energeticamente o funcionamento da estação. Após coletado, os gases são encaminhados até reservatórios de armazenamento ou queimadores de gases.

O separador trifásico proporciona que apenas o líquido e os sólidos passem na abertura para o decantador, na parte externa do separador trifásico com inclinação tal que induza a sedimentação dos sólidos. Ao deslizar pelas paredes inclinadas, proporciona o retorno do lodo ao compartimento de digestão, o que aumenta o tempo de detenção celular, sem gastos com bombeamentos, como ocorre em lodos ativados. Essa detenção celular pode gerar uma idade do lodo de até 30 dias, o que significa baixa produção de lodo e quando houver coleta do lodo excedente, este já estará adensado e estabilizado, sendo esta uma grande vantagem desse sistema (Chernicharo, 1997).

O efluente líquido sobrenadante é coletado por canaletas com vertedores triangulares ou por tubos perfurados submersos na parte superior do compartimento de decantação. O efluente coletado nos 4 reatores anaeróbios, é direcionado para a próxima unidade de tratamento da ETE Alagado, as lagoas de alta taxa. A combinação de tratamentos aeróbios como pós-tratamento de sistemas anaeróbios têm se mostrado eficazes, onde as lagoas aeróbias podem remover os nutrientes, matéria orgânica e organismos patógenos remanescentes (Campos, 1999 apud Júnior, 2018).

A Figura 3.10 ilustra o esquema das partes constituintes e o esquema de funcionamento de um reator RAFA.

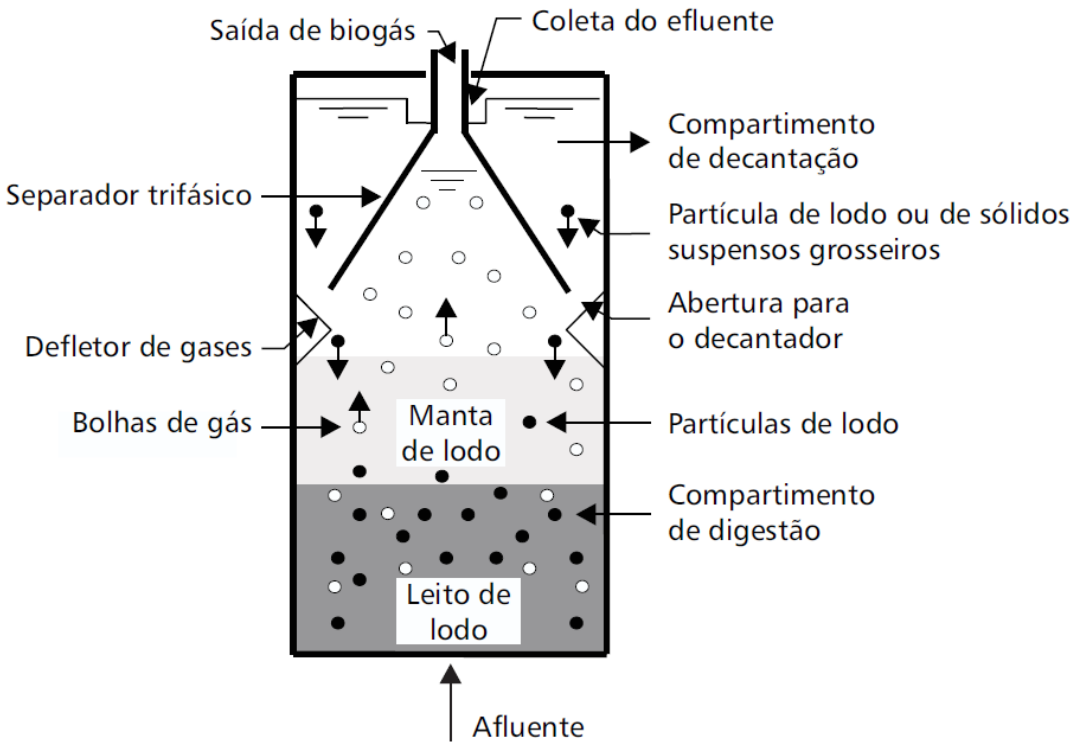


Figura 3.10 – Desenho esquemático de um reator RAFA (Fonte: Chernicharo, 1997)

3.3.3. LAGOAS DE ALTA TAXA

Primeiramente, define-se que Lagoas de Estabilização são réplicas controladas do funcionamento e equilíbrio natural do que ocorre em lagos e corpos hídricos através do fenômeno de autodepuração. Constituída de atividade microbiológica e fotossintética, essa tecnologia se caracteriza por possuir o ciclo de que os microrganismos heterotróficos consomem oxigênio na oxidação da matéria orgânica, liberando gás carbônico, água, energia e biomassa, enquanto os organismos autotróficos fotossintetizantes utilizam este gás carbônico, juntamente com a luz solar para produzirem oxigênio e biomassa. As Lagoas de Estabilização são classificadas conforme a profundidade da coluna d'água, em três tipos fundamentais: lagoas aeróbias, anaeróbias ou facultativas.

Após o tratamento anaeróbio nos 4 reatores RAFA, a vazão do efluente é distribuída para 12 lagoas aeróbias de alta taxa, cada reator alimenta um conjunto de 3 lagoas em série. Este tipo de lagoa de estabilização objetiva maximizar o processo de fotossíntese, possui aeração natural para auxiliar o acesso das algas à luz solar. A aeração melhora o contato do líquido com as bactérias e algas e reduz as zonas mortas, essa aeração natural consiste na turbulência da superfície gerada pela própria força do vento,

sem a utilização de equipamentos mecanizados para a agitação (PDSB, 2017; Pinto e Onoyama, 1991; Sperling, 1996).

Têm-se tornado popular a combinação de lagoas de estabilização como pós-tratamento de efluentes de reatores de manta de lodo (RAFA), devido ao fato de manter o sistema no conceito de simplicidade e facilidade operacional, o baixo custo de implantação e operação e baixo consumo energético. Por se situar após o tratamento anaeróbio, a lagoa de estabilização seguinte geralmente é dimensionada para uma carga de 20% a 40% da carga do esgoto bruto, o que resulta uma grande economia de área de implantação, possibilitando implementar essa lagoa em locais com pouca disponibilidade de área, onde se colocaria sistemas mecanizados por economia de espaço. Essa combinação tem apresentado ausência de problemas de maus odores, baixa acumulação de lodos nas lagoas, possibilidade de utilização de lagoas em série ou chicaneadas (von Sperling, 1986).

Também chamada de célula aeróbia rasa de alta taxa de degradação, nesse tipo de lagoa, a sua profundidade coincide com a zona eufótica, em razão da finalidade de potencializar a atividade fotossintética. Pois a zona eufótica compreende a profundidade na qual a incidência da luz solar consegue penetrar na coluna de água, portanto, haverá fotossíntese em todo volume da lagoa.

A elevada atividade fotossintética eleva o pH do meio líquido, o que somado à alta exposição aos raios ultravioletas do Sol aumenta a taxa de desativação dos microrganismos patógenos. Também leva à remoção de nutrientes, através da volatilização da amônia, assimilação da amônia e nitratos pelas algas e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado e precipitação dos fosfatos (Pinto *et al*, 1997; von Sperling, 1986).

Já que a profundidade da unidade é reduzida, por volta de 0,45 ou 0,60 m, mas a área superficial não pode ser tão grande devido a limitação de áreas disponíveis para implantação, então a compensação do volume deve se dar pela adoção de um tempo de detenção hidráulico menor. O que equivale a um maior volume de líquido tratado na lagoa para um mesmo período de tempo (Andrade Neto, 1997 apud Junior, 2018; von Sperling, 1996). Outras vantagens desse sistema são a pouca acumulação de lodo, ausência de odor e ausência de mosquitos (Pinto e Onoyama, 1991).

3.3.4. DISPOSIÇÃO NO SOLO

A unidade de escoamento superficial foi desativada pelo motivo de que estava havendo significativa infiltração de esgoto no solo, então havia o risco de contaminar o lençol freático, comprometendo-o assim. A outra razão foi o problema de que galhos e materiais vegetais estavam obstruindo a grade à montante do sistema de polimento final.

3.3.5. POLIMENTO FINAL

Nesta etapa, a ETE Alagado recebe o efluente da ETE Santa Maria, para ambos serem submetidos ao polimento final por Flotação por Ar Dissolvido (FAD), que é responsável pela adequação dos efluentes biológicos das duas ETE's. Esse procedimento é uma técnica de separação de fases (sólida e líquida), baseada no princípio de diferença de densidades, que promove a ascensão das partículas, mediante aderência das microbolhas de gás, geralmente o ar, às partículas previamente submetidas à floculação, tornando-as menos densas que a água.

O tratamento por FAD é compatível com a etapa anterior, pois o efluente da lagoa de alta taxa é altamente concentrado com algas, que devem ser retiradas antes do lançamento, e devido a sua densidade específica ser menor que a densidade da água, a melhor forma de remover algas da massa líquida é por flotação, pois ela irá flutuar. É uma tecnologia mais promissora que a sedimentação, pois a velocidade de sedimentação das algas é pequena mesmo após coagulação e floculação, levando ao carregamento de algas para o efluente final se utilizada a sedimentação.

Outras vantagens da FAD sobre a sedimentação são: a possibilidade de arraste de parcela de substâncias voláteis presentes na água; possibilidade de oxidação de íons metálicos dissolvidos na água, como o ferro; processo de alta taxa, resultando em unidades compactas e versáteis, que possibilitam bom nível de controle operacional através do monitoramento da quantidade de ar fornecida ao processo e dosagens menores de coagulante para a obtenção de eficiências de remoção semelhantes (Reali, 1991 apud Penetra, 1998).

O tipo de produção de bolha dita o tipo de flotação, que são: flotação por ar disperso, flotação eletrolítica e flotação por ar dissolvido (FAD). Sendo este último o método utilizado para polimento final da ETE Alagado em questão. Nele, as bolhas são

geradas pela redução da pressão de um fluxo de água que foi supersaturado com ar na câmara de saturação (Penetra, 1998).

As unidades que compõem um sistema FAD são uma unidade de coagulação, de floculação e uma câmara de flotação. A coagulação é um processo que realiza a desestabilização química das partículas coloidais entre 0 a 1.000 nm (causam cor) através da ação de coagulantes, que são substâncias químicas (orgânicas ou inorgânicas), como sais metálicos, que quebram a barreira energética. Os colóides possuem propriedades elétricas que criam uma força de repulsão entre si e as impede de aglomerar e sedimentar por processos físicos convencionais, e na maior parte dos efluentes o colóide possui carga negativa.

A carga elétrica da superfície de partículas coloidais é usualmente negativa, portanto, ao se aproximarem é exercida a força de repulsão, devido as cargas iguais, impossibilitando a aglomeração dos coloides. A repulsão é causada pelo potencial eletrostático criado pelos contra-íons da camada difusa, e para reduzir essas forças de repulsão, ou seja, causar a desestabilização das partículas, adiciona-se na mistura um composto químico, o coagulante, que ao reagir com a água forma espécies hidrolisadas com cargas positivas (abaixa o pH) e geram íons positivos (cátions) que atraem as impurezas carregadas negativamente, desestabilizando os as partículas pela neutralização de suas cargas. Esse fenômeno permite a agregação das cargas opostas e a aglutinação das partículas. Nesse sentido, o objetivo do coagulante é minimizar as forças de repulsão e aumentar as forças de atração.

Os quatro mecanismos da coagulação são: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura, adsorção e formação de pontes (Penetra, 1998), sendo que o mecanismo que predomina nesse caso é a varredura. Pois o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), forma um hidróxido metálico ($Al(OH)_3$) que precipita, formando aglomerados de precipitados e envolve ou colide com os coloides presentes na água.

A floculação consiste na utilização de um floculante polimérico de alto peso molecular, o floculante se adere aos flocos desestabilizados e facilita a ligação de aglomerados entre os flocos. O floculador promove a aproximação das partículas, agregação formando flocos, pois com a força de repulsão minimizada pela coagulação, as forças de atração entre as partículas são maiores que as forças de repulsão. Essa etapa requer mistura lenta para proporcionar a maior aproximação e agregação das partículas e assim formar flocos os maiores possíveis, evitando a quebra dos flocos formados.

A partir do exposto anteriormente, constata-se que um dos grandes desafios impostos à CAESB, além do monitoramento e operação das 15 ETE's, é o atendimento aos padrões de lançamento cada vez mais restritivos no DF. Fato esse decorrente das baixas capacidades de diluição dos corpos d'água, do grande crescimento populacional e consequente aumento da geração de esgoto sanitário. Somam-se à estes aspectos a degradação da qualidade dos ambientes aquáticos como consequência do aporte de poluentes por meio de fontes difusas de poluição e lançamentos clandestinos. Estudos que visem a avaliação de desempenho, a otimização e novas tecnologias de tratamento são importantes para garantir o atendimento às demandas de qualidade dos efluentes das ETE's no Distrito Federal.

4. METODOLOGIA

O processo de avaliação do desempenho da ETE Alagado teve início na revisão bibliográfica das propriedades desse sistema sanitário, rememorando os processos típicos de sistemas de tratamento biológico. Esse conhecimento possibilitou o desenvolvimento das próximas etapas do projeto, que estão representadas no fluxograma da Figura 4.1.

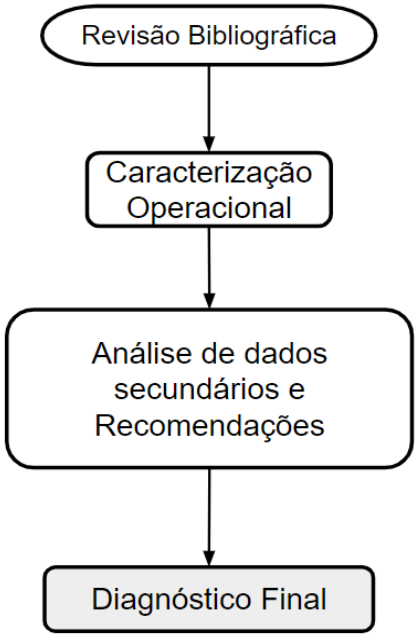


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia do projeto

Portanto, a metodologia consistiu nas 4 etapas apresentadas, sendo que no Projeto Final 1 foram propostas 6 etapas. A proposta de "Coleta e Análise Laboratorial de Amostras" não foi possível na execução do Projeto Final 2 devido a curta duração do semestre letivo da UnB, tornou inviável um estudo mais aprofundado, prático e de contato mais direto com os parâmetros de qualidade dos afluentes e efluentes das unidades de tratamento da ETE Alagado.

4.1. ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DA ETE ALAGADO

Esta primeira etapa, além de envolver a revisão bibliográfica, consistiu na realização de visitas técnicas. O objetivo das visitas técnicas foi a possibilidade do entendimento, reconhecimento e compreensão em detalhes do funcionamento dos sistemas de tratamento da ETE Alagado, suas especificidades, rotinas de trabalho e

controle operacional. Realização do levantamento das instalações com a intenção de identificar as características das unidades e processos do tratamento. Além de levantar dados sobre as condições estruturais e equipamentos existentes. As visitas técnicas também tiveram o intuito de compreender em detalhes a forma de coleta de amostras utilizadas na estação e as metodologias realizadas nas análises laboratoriais.

Durante a visita técnica, além da experiência de estar presencialmente na estação, do conhecimento adquirido na prática e das dúvidas sanadas graças ao acompanhamento e ensinamento do co-orientador Cristiano Mano, gerente da estação, foram também realizados registros fotográficos com o aparelho celular de todas as unidades visitadas. As fotografias serão apresentadas nos resultados da caracterização operacional. Foram registrados vídeos do funcionamento do desarenador, das lagoas de alta taxa e do efluente final, porém não é possível anexá-los neste documento.

Através dessa primeira etapa, foi produzido o fluxograma detalhado da ETE Alagado pelo programa Canva. O fluxograma indica todo o caminho que o afluente percorre, desde a entrada da estação até sua liberação no rio Alagado. O fluxograma conta com as linhas de líquido do efluente, as linhas dos resíduos sólidos retirados e as linhas do lodo biológico, que é produzido nos reatores anaeróbios e do lodo químico, raspado no tanque de flotação. É mostrado também as unidades de gestão desse lodo gerado nas unidades.

4.2. ETAPA 2: ANÁLISE DE DADOS SECUNDÁRIOS

Nesta segunda etapa, foram utilizados os dados secundários disponibilizados pela CAESB, no intervalo temporal de janeiro de 2017 a outubro de 2022. Apesar de ser sido solicitados dados brutos, foram enviados médias mensais dos parâmetros. Os parâmetros mensurados e disponibilizados foram: Coliformes Totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, E. coli, pH, Fósforo total (Pt), Sólidos Suspensos, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3), Nitrogênio total, e Sólidos Suspensos. Os pontos de monitoramento foram o afluente à estação, o efluente dos RAFAs, o efluente das Lagoas de Alta Taxa, o afluente ao Polimento Final, lodo Flotado (químico) e o Efluente do Polimento Final. A partir das médias mensais disponibilizadas pela CAESB, foi realizado o diagnóstico dos sistemas, a partir da utilização de ferramentas estatísticas, como médias aritméticas, representada pela equação 4.1, valor máximo e mínimo, desvio padrão para o valor do pH (incerteza dos valores).

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad \text{Equação 4.1}$$

Os dados secundários de série histórica foram verificados no quesito de frequência do monitoramento de cada variável, a quantidade e extensão temporal, a ausência de dados e a representatividade dos dados quanto às variações sazonais.

Para a avaliação da eficiência do tratamento da estação, foi realizado o cálculo da eficiência de remoção segundo a Equação 4.2. A eficiência de remoção é sempre apresentada em porcentagem.

$$\%remoção = \frac{Concentração\ Afluente - Concentração\ Efluente}{Concentração\ Afluente}\ x\ 100 \qquad \text{Equação 4.2}$$

As operações foram aplicadas primeiramente nos dados dos parâmetros de DBO, DQO, *E. coli*, SS, fósforo total e nitrogênio total, por serem os parâmetros monitorados tanto no afluente à estação quanto no efluente final. Também foi realizado o cálculo da eficiência de remoção do conjunto tratamento preliminar + reatores RAFA, das lagoas de alta taxa e do polimento final, para se ter um panorama dos funcionamentos de cada unidade da estação.

4.3. ETAPA 3: DIAGNÓSTICO FINAL

A partir dos resultados das análises, foi realizada a análise global, e assim, realizou-se o diagnóstico do desempenho da ETE Alagado em relação à operação das unidades da estação, incluindo o diagnóstico da eficiência de remoção dos parâmetros analisados, principalmente de matéria orgânica e nutrientes, comparando seus resultados conforme os padrões estabelecidos pela legislação, como a resolução CONAMA n° 430/11 que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

Apontou-se também os possíveis problemas operacionais detectados com a análise qualitativa. Por fim, foram apresentadas recomendações com o objetivo de melhorias na Estação de Tratamento de Esgoto Alagado.

5. RESULTADOS

Como apresentado na metodologia, o diagnóstico operacional da ETE Alagado foi realizado a partir da visita técnica, que teve como objetivo o entendimento dos sistemas de tratamento, e de dados secundários de monitoramento. Foram fornecidas apenas as médias mensais dos dados de monitoramento da ETE de 2017 a outubro de 2022, apesar de no Peticionamento Online terem sido solicitados dados brutos de monitoramento.

5.1. CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DA ETE ALAGADO

Inicialmente, a descrição da ETE Alagado apresentada na primeira parte do projeto tinha sido baseada em documentos pesquisados nas bases de dados e órgãos do governo Distrital. Já nesta segunda parte, a descrição será mais detalhada e fidedigna, elaborada a partir de visita técnica e documentação fornecida pela CAESB, resultando primeiramente no Fluxograma da Figura 5.1, produzido a partir dos estudos deste projeto, com acesso à documentos das plantas e observação presencial.

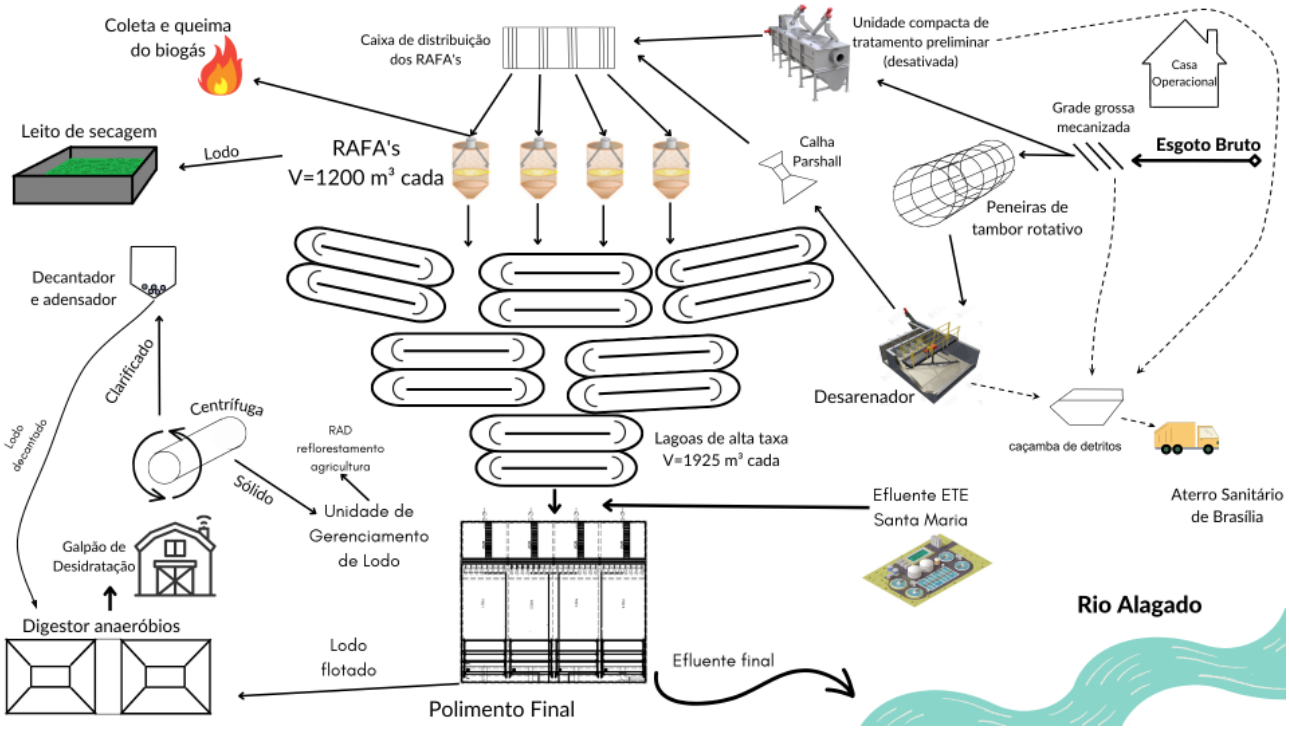


Figura 5.1 - Fluxograma da ETE Alagado

A visita técnica foi realizada no dia 28 de dezembro de 2022 em uma quarta-feira, realizando a caracterização operacional. Então foram observadas as instalações utilizadas

em cada etapa do sistema de tratamento, com o objetivo de caracterizar as unidades e os processos do tratamento.

Ao entrar na propriedade da ETE Alagado, se encontra o estacionamento e a casa operacional da estação, onde ficam o segurança, os funcionários de limpeza e os demais funcionários. A visão que se tem da unidade de tratamento preliminar é mostrada na Figura 5.2 a seguir, onde se pode ver as caçambas de detritos e as escadas para a unidade.



Figura 5.2 - Visão do tratamento preliminar a partir da entrada do terreno da ETE Alagado

Após a coleta nas residências pela rede de coleta, o esgoto bruto passa primeiramente pela grade grossa mecanizada com 25 mm, apresentada na Figura 5.3. Em seguida, há duas peneiras de tambor rotativo em paralelo, como pode-se visualizar na Figura 5.4. As peneiras de tambor possuem grade fina, para retenção de sólidos finos. As duas primeiras estruturas do tratamento preliminar compõem o gradeamento grosso e fino da estação e realizam a separação dos resíduos grosseiros e finos em suspensão provenientes de usos incorretos da rede de esgotos.



Figura 5.3 - Grade grossa mecanizada do tratamento preliminar



Figura 5.4 – Peneiras de tambor rotativa com grade fina

Em seguida, o afluente entra na unidade do desarenador, que é na mesma estrutura. O desarenador da estação está apresentado na Figura 5.5 a seguir, sua finalidade é remover os flocos de areia através da sedimentação, pois os grãos de areia sedimentam e a matéria orgânica dissolvida permanece no líquido para as demais unidades. Essa remoção nos desarenadores funciona através da circulação de raspadores de fundo que direcionam a areia para o classificador de areia, um transportador de rosca helicoidal, apresentado na Figura 5.6, que leva a areia sedimentada para a caçamba estacionária e posteriormente será destinada ao Aterro Sanitário de Brasília (ASB).



Figura 5.5 – Desarenador do tratamento preliminar



Figura 5.6 - Transportador de areia e caçamba estacionária de detritos

A estação possui uma unidade compacta de tratamento preliminar nova, construída em material inox, porém ela está desativada temporariamente, pois apresentou problemas e agora está aguardando reparos pela empresa que forneceu os equipamentos. Uma parte da unidade compacta e o "*by-pass*" podem ser vistos na Figura 5.7 e a lateral da Unidade Compacta na Figura 5.8 a seguir.



Figura 5.7 - Unidade compacta de tratamento preliminar e *by-pass*



Figura 5.8 – Lateral da Unidade Compacta do Tratamento Preliminar

Após o tratamento preliminar, o esgoto passa pela Calha Parshall, que mede a vazão de escoamento e segue para a caixa de distribuição dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente, apresentada na Figura 5.9. Na foto, pode-se observar um reator RAFA em segundo plano, é a única foto do RAFA registrada na visita técnica. Ademais, pode-se visualizar a cidade do Gama ao fundo, constatando a proximidade com essa região administrativa.



Figura 5.9 - Caixa de distribuição dos RAFA's, um dos RAFA's e a cidade ao fundo.

O biogás resultante da atividade anaeróbia dos reatores possui metano em sua composição, um dos principais contribuintes para o efeito estufa, portanto, pela questão ambiental, o biogás é coletado e queimado na ETE Alagado. Destaca-se que não há reaproveitamento do biogás, sendo que é um gás que possui alto potencial energético, então poderia ser utilizado para gerar calor ou eletricidade. Recomenda-se a adoção desse reaproveitamento energético, pois essa geração poderia suprir uma parcela da demanda de energia da ETE e otimizaria a sua eficiência energética, resultando em vantagens econômicas (Lopes, *et al*. 2020; Lima e Passamani, 2012).

Já o efluente líquido é distribuído entre dez lagoas de alta taxa, sendo que há doze lagoas na ETE, duas não recebem efluente líquido pois estão sendo utilizadas

temporariamente para acúmulo de lodo, porém, elas já estão em processo de desativação. Uma lagoa não estava com a estrutura de chicanas completa, pois havia sido feita sua limpeza recentemente e seu emprego no tratamento foi necessário de forma urgente, então ela passou a receber esgoto naquelas condições pela necessidade de voltar o mais rápido possível à atividade. Portanto, o custo de oportunidade de mantê-la operando mesmo sem chicanas compensava mais do que o impacto que se teria ao encaminhar o afluente diretamente para o polimento final. Então a ausência de chicanas não teve tanta interferência na qualidade do efluente final. A lagoa está apresentada na Figura 5.10.



Figura 5.10 - Lagoa de Alta Taxa sem as chicanas completas

Nas Figuras 5.11 e 5.12 são apresentadas as lagoas de alta taxa com chicanas em boas condições, estas são utilizadas para assemelhar o seu funcionamento ao de um reator fluxo pistão (RPF), objetivando aumentar o tempo de contato entre o esgoto, as microalgas e as bactérias heterotróficas.



Figura 5.11 - Lagoa de Alta Taxa com chicanas em bom estado



Figura 5.12 - Lagoa de Alta Taxa com chicanas completas

Na Figura 5.13 a seguir mostra a estrutura de coleta superficial do efluente tratado por uma lagoa, a estrutura funciona por diferença de nível, com três comportas com alturas de 60 cm, 45 cm e outra de 30 cm, que são os níveis de funcionamento da lagoa.

Observa-se também que a coloração do líquido é bastante esverdeada, já diferente da coloração na caixa de distribuição dos RAFA's (Figura 5.9). Isso se dá, possivelmente, pela presença e ação das algas, autotróficas, que possuem clorofila em sua composição interna.



Figura 5.13 - Sistema de coleta do efluente das lagoas de alta taxa (Fonte: autoria própria)

Após essa unidade, o líquido se soma ao efluente da ETE Santa Maria na tubulação subterrânea e ambos iniciam o tratamento terciário físico-químico na unidade do polimento final, que objetiva a remoção de algas e fósforo. O canal de entrada é constituído por uma estrutura em concreto armado, com uma Calha Parshall para medição

de vazão e atuar como unidade de mistura rápida (UMR) para maximizar o contato do coagulante de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) com os colóides, eliminando as forças de repulsão entre os colóides. A Calha Parshall foi dimensionada para a vazão máxima de projeto, então, suas dimensões são padronizadas para a garganta de 18 polegadas. Essa unidade é apresentada na Figura 5.14, que mostra em mais detalhes a adição do coagulante.



Figura 5.14 - Calha Parshall como UMR e a adição do coagulante

Esse coagulante também atua como precipitante de fósforo, através da adsorção de natureza eletrostática com os íons fosfatos (PO_4^{3-}), formando precipitados insolúveis de fósforo. No começo do funcionamento dessa unidade, o coagulante utilizado era o Cloreto Férrico ($FeCl_3$), porém, por questões operacionais e de logística foi adotado o atual coagulante de sulfato de alumínio.

Ao formar espécies hidrolisadas com cargas positivas, o coagulante diminui o pH, entretanto, as reações de coagulação dos colóides e precipitação do fósforo somente funcionam quando o pH da água está entre 5,5 e 7,0. Porém, a regulação do pH é realizada pelo próprio sulfato de alumínio.

Em seguida, o líquido passa pela caixa de distribuição de vazão, distribuindo-o equalizadamente nos tanques de flotação, a alimentação é controlada através de uma comporta de acionamento eletro-mecânico, controlada pelo sistema de automação da unidade de flotação. Os quatro tanques floculadores são estruturas de concreto armado com volume unitário de 35 m³, sendo alimentados por uma tubulação com diâmetro nominal de 400 mm. Cada tanque de floculação possui um motor, redutor, eixo e hélice (inox), esse conjunto de mistura é capaz de introduzir uma potência de 20 W/m³ de tanque, sendo que cada um possui profundidade de 2,7 m e dimensões laterais de 4 m. No tanque floculador é adicionado o polieletrólito catiônico, o polímero floculante que promove a aglomeração dos coágulos e precipitados, formando os flocos. A Figura 5.15 apresenta uma visão da unidade de polimento final com a vista do conjunto de tanques floculadores e flotadores.



Figura 5.15 - Estrutura Polimento Final

O sistema de estocagem e dosagem de produtos químicos é composto por: seis tanques de estocagem de 15.000 litros cada, nove bombas dosadoras, válvulas, tubulações e o sistema de estocagem/dosagem de polímero é composto por dois tanques de 5.000 litros cada. Ademais, a saturação do reciclo é realizada em um tanque de pressurização com 7,7 m³, onde se dará o contato do reciclo e o ar comprimido, que é produzido através

de dois compressores dispostos em uma área abrigada. Uma visão aérea da unidade de polimento com visão dos tanques é mostrada na Figura 5.16.



Figura 5.16 - Visão aérea da unidade de Polimento Final (Fonte: Atlas CAESB)

Das câmaras de floculação, o efluente segue para os tanques de flotação, onde se injetará o reciclo saturado com ar. As microbolhas se aderem aos flocos formados pelas duas etapas anteriores, as interações entre a partícula e a microbolha podem ser: colisão e adesão entre a bolha e a partícula, formação de bolhas na superfície das partículas, aprisionamento de bolhas em flocos, e captura das bolhas pelos flocos (arraste). E assim esse conjunto ascende, formando o lodo flotado que é raspado por braços raspadores com 4 m de comprimento, afastados entre si por 1,5 m, operando a uma velocidade variável, encaminhando o lodo para a praia de recolhimento, situada na lateral superior do tanque, com descarga na caixa de coleta de lodo flotado, uma visão da unidade do conjunto de floculadores e flotadores é apresentada na Figura 5.17.



Figura 5.17 – Sistema de Floculação e Flotação da ETE Alagado

O material do lodo flotado raspado e coletado é bombeado para a parte mais elevada na propriedade, para os digestores (ou reatores) anaeróbios de lodo. As bombas encaminham o lodo para um dos dois digestores, cada reator dispõe de uma válvula manual de manobras, que permite que um dos reatores seja selecionado para receber o lodo flotado. Sua estrutura é de concreto apoiado no solo e o volume de cada tanque é 1.100 m³, que é o volume calculado necessário para a digestão do lodo gerado. O biogás resultante da atividade anaeróbia é coletado e direcionado ao queimador de gases, que se localiza atrás desses reatores. Nesses reatores anaeróbios o lodo será estabilizado e após a estabilização, o lodo é encaminhado para a caixa de lodo digerido, localizada entre os dois reatores, o registro está apresentado na Figura 5.18 a seguir.



Figura 5.18 - Caixa de lodo digerido entre os digestores

A caixa de lodo digerido possui duas bombas, uma para recirculação do lodo dirigido para os reatores anaeróbios, e a outra bomba encaminha o lodo digerido para a centrífuga no galpão de desidratação. Neste galpão, há um equipamento de preparo da solução de polímero, que mistura o polieletrólito em pó com água e sua capacidade é de 5.000 L. A centrífuga encontra-se instalada no mezanino superior do galpão de desidratação e dispõe de quadro de comando próprio.

A centrífuga tem capacidade mínima de 20 m³/h e objetiva remover parte da água presente no lodo efluente dos digestores, até se atingir uma concentração mínima de 25% e garantir a retenção de 85% dos sólidos afluentes, no mínimo. Para isto, há a adição do floculante polieletrólito para auxiliar o processo de separação dos sólidos da água. Enquanto estiver desidratando, a centrífuga Hércules, da Pieralisi, encaminhará a torta da

desidratação para caçambas removíveis por caminhões, posteriormente encaminhadas para a Unidade de Gerenciamento de Lodo em Samambaia. Devido ao armazenamento, o chorume gerado no Galpão de Torta é encaminhado para uma elevatória de chorume que o bombeia para um poço de visita interligado à entrada da ETE Alagado.

O clarificado, ou sobrenadante, da centrífuga é encaminhado para o "decantador e adensador", ou chamado "DAD", localizado ao lado do reator anaeróbio (RAFA) 2. Nesta estrutura há um conjunto raspador que direciona o lodo para o fundo do tanque, esse lodo decantado é bombeado novamente para a caixa de lodo digerido (entre os dois reatores anaeróbios). Já o sobrenadante do decantador é encaminhado para o mesmo poço de visita que o do chorume. Portanto, a Figura 5.19 mostra uma visão de satélite do arranjo da unidade de desidratação do lodo flotado.

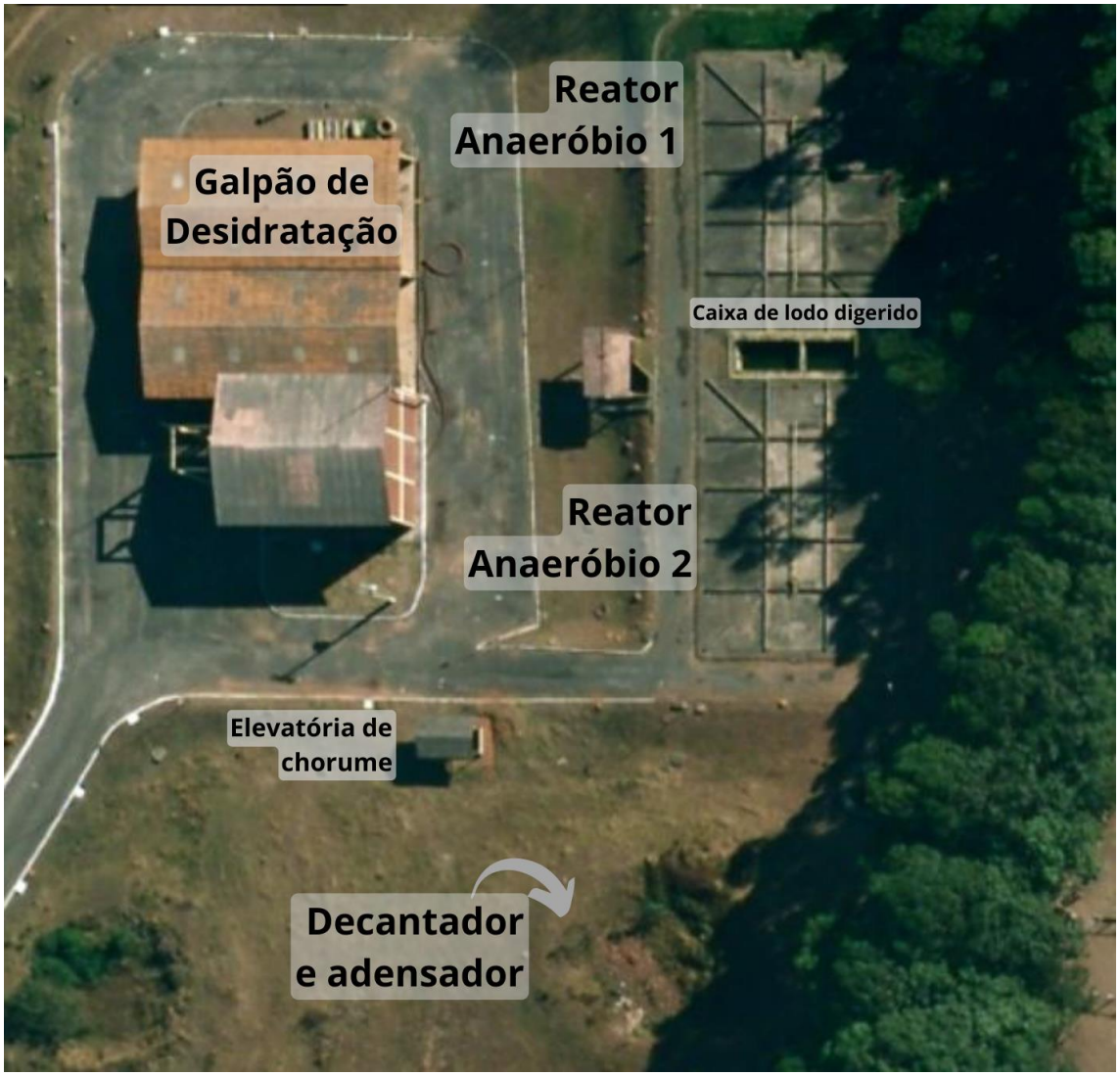


Figura 5.19 - Visão aérea da unidade de digestão e desidratação do lodo flotado (Fonte: Atlas CAESB)

Retornando ao Polimento Final, o efluente tratado é coletado por baixo, por um tubo coletor PVC ocre (Ø400mm Vinilfort), que encaminha para quatro comportas vertedoras e deságua na última estrutura, mostrada nas Figuras 5.20 e 5.21. Na qual se observa que o efluente está clarificado, percebe-se que houve remoção de cor e de turbidez. Na fotografia também se observa formação de espuma, que deve ser devido à turbulência da queda livre, porém, há uma barreira a essa espuma, portanto, em seguida o efluente é despejado no Rio Alagado, o corpo receptor classe 3.



Figura 5.20 - Efluente Tratado



Figura 5.21 – Vista frontal das comportas do efluente final

Em suma, a Figura 5.22 apresenta um fluxograma resumido dos esquemas do Polimento Final.

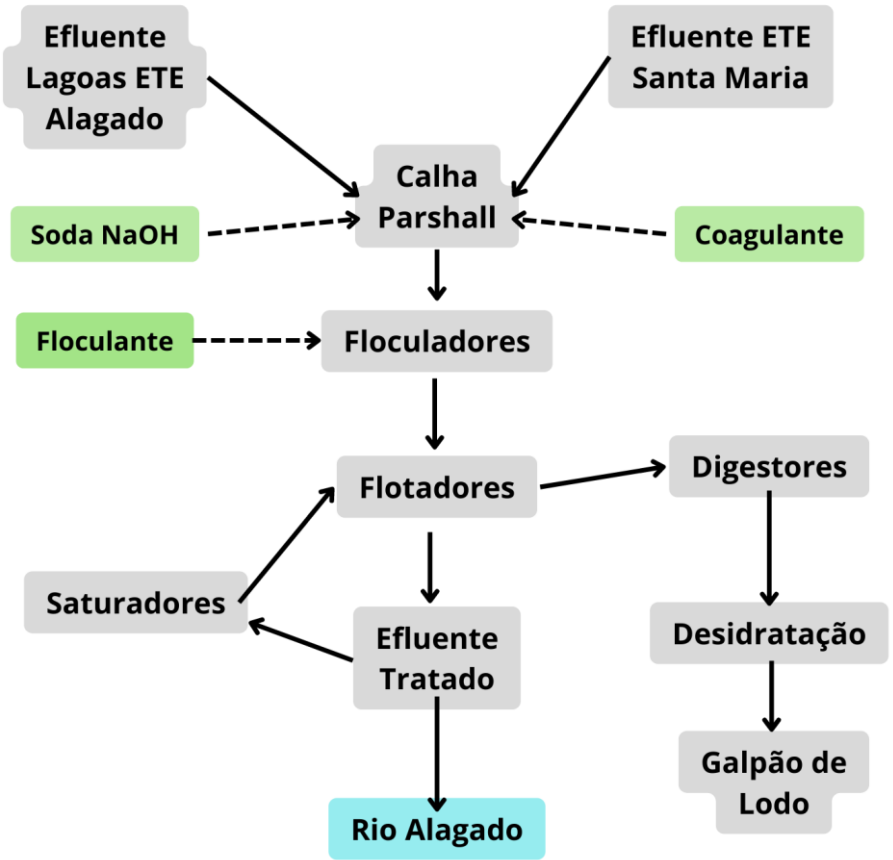


Figura 5.22 - Fluxograma do Polimento Final

Em suma, não foram verificados problemas operacionais, pois em apenas uma visita técnica e sem dados brutos de monitoramento, apenas médias mensais, não foi possível a identificação de problemáticas.

Entretanto, durante a visita foram registradas duas observações sobre a estação, uma delas é a presença de gado bovino na extensão territorial da ETE Alagado, principalmente próximo ao tratamento preliminar, o galpão de desidratação e as lagoas de estabilização, como foi registrado na Figura 5.23. Porém, há relatos de que a pastagem desses bovinos ocorre há anos, sem interferências, e não apresenta prejuízos ao funcionamento da estação



Figura 5.23 – Presença de gados na propriedade

Outra observação da visita foi que na sexta-feira (23/12/22) anterior à visita técnica, ocorreu um forte temporal na localidade da estação, com forte ventania que resultou em danos, destruiu o telhado do galpão de desidratação e no dia 28/12 da visita, trabalhadores estavam realizando a restauração do telhado, por esta razão não houve registros fotográficos desse galpão. Outro dano causado pela forte ventania foi a derrubada de uma árvore perto do ponto que o efluente da ETE Santa Maria se junto ao da ETE Alagado, como se vê na Figura 5.24 a seguir.



Figura 5.24 – Árvore caída devido temporal na semana anterior

5.2. AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES AFLUENTES A ETE E EFLUENTES AO POLIMENTO FINAL

Primeiramente, um foco nos dados de afluente à estação e efluente do polimento final, que por sua vez é a junção dos efluentes dos sistemas de tratamento das ETE Santa Maria e Alagado, para se ter uma ideia da ação da Estação de Tratamento Alagado como um todo, para se ver o efeito atenuador que a estação realiza sobre o esgoto poluente.

Desta forma, na Figura 5.25 são apresentas as médias mensais dos anos 2017 a 2022 das concentrações afluentes e efluentes de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) da ETE Alagado, assim como o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 430/2011.

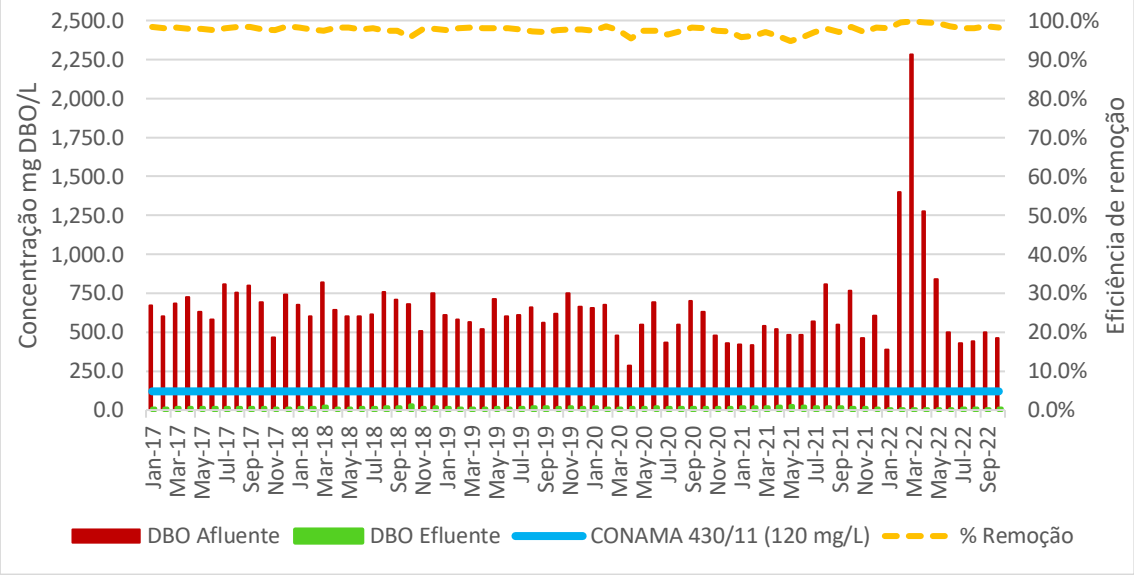


Figura 5.25 – Gráfico da concentração média mensal de DBO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado, comparado com a legislação no período de janeiro de 2017 a outubro de 2022.

A partir dos dados apresentados na Figura 5.25, conclui-se que a remoção de matéria orgânica efetuada na ETE Alagado é eficiente, na qual a mínima eficiência de remoção registrada no período é de 94,7%, todas as demais são acima. O limite máximo de DBO permitido pela Resolução CONAMA n° 430/2011 para o lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários é de 120 mg/L. Esse limite só poderá ser ultrapassado em caso de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% da DBO, o qual a estação também apresenta eficiências acima de 60%. Portanto, a ETE Alagado atende todas as exigências da Resolução em relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Verifica-se também da Figura 5.25, que houve valores mais discrepante que os demais entre fevereiro e abril de 2022, atingindo um valor máximo de 2.281,10 mg/L de DBO afluente em março. Entretanto, a DBO efluente foi de 5,0 mg/L, resultando em uma eficiência de remoção de 99,8%, demonstrando a alta qualidade de tratamento da estação. Outra forma de medir a carga orgânica é através da DQO, cujos valos afluentes e efluentes estão apresentados na Figura 5.26.

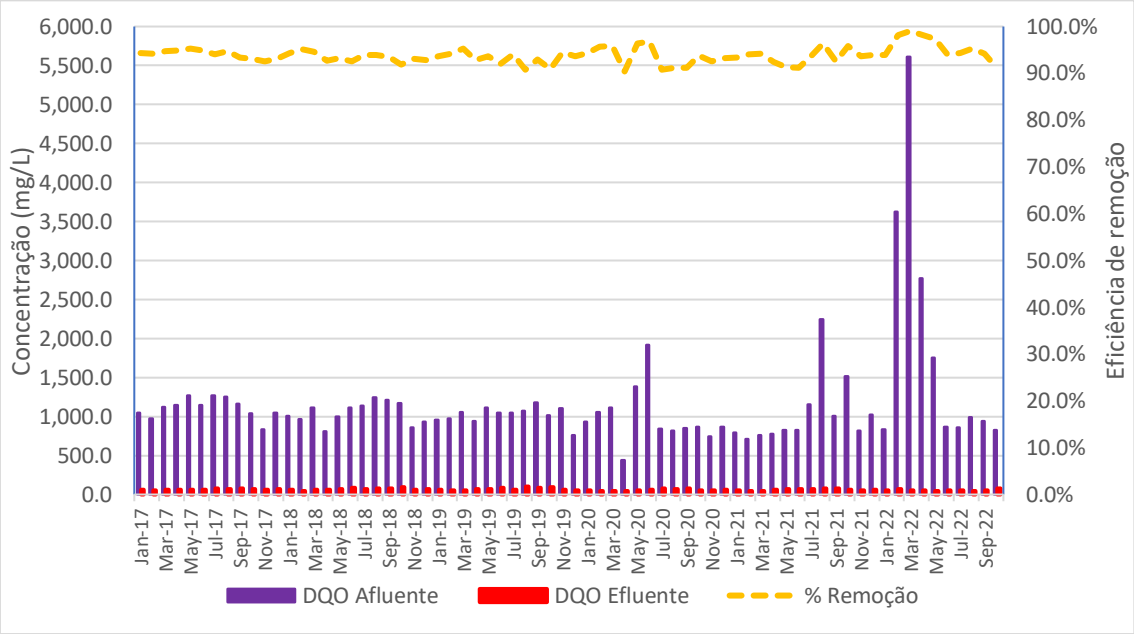


Figura 5.26 – Gráfico da concentração média mensal de DQO no afluente e efluente final, remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado, comparado com a legislação no período analisado.

Em relação à remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) da Figura 5.26, conclui-se os mesmos apontamentos feitos sobre a DBO na Figura 5.25, pois apresentou o mesmo comportamento de altos valores afluentes no começo de 2022, nos meses de fevereiro (3.625 mg/L), março (5.613,30 mg/L) e abril (2.771,30) valores maiores que os demais. Apesar desse fato, manteve a alta eficiência de remoção, obtendo 99,0%. A diferença para a Figura 5.22 é que a Demanda Química de Oxigênio não é um parâmetro de lançamento definido por legislação. Ressalta-se também que, apesar dos dados serem médias mensais, ainda se pode observar a variabilidade dos dados de DQO afluente, a qual é uma característica típica de esgotos sanitários.

Além disso, a Figura 5.27 a seguir demonstra os valores à base logarítmica de *E. coli*, que é utilizada como indicador microbiológico de contaminação fecal, por ser uma bactéria que habita naturalmente o intestino de qualquer ser humano e dos animais. A partir de 2020, pararam de monitorar o parâmetro de Coliformes Totais, mas continuaram monitorando o parâmetro de *E.coli*. Os dados de E. coli apresentaram uma remoção mínima de 98,5% (setembro de 2018) e máxima de 99,99966%, o que, em relação à *E.coli* é uma média de eficiência baixa, pois um padrão de eficiência satisfatório seria acima de 99,9999% de remoção, o que não é observado nos dados médios mensais monitorados na estação. Esse comportamento é esperado, afinal, as tecnologias empregadas na estação

não tem como principal objetivo desativar organismos patógenos, ademais, não há etapa de desinfecção. Acredita-se que a maior influência na desativação desses micro-organismos seja nas lagoas de alta taxa, devido à grande incidência de luz solar que tem ação desinfetante.

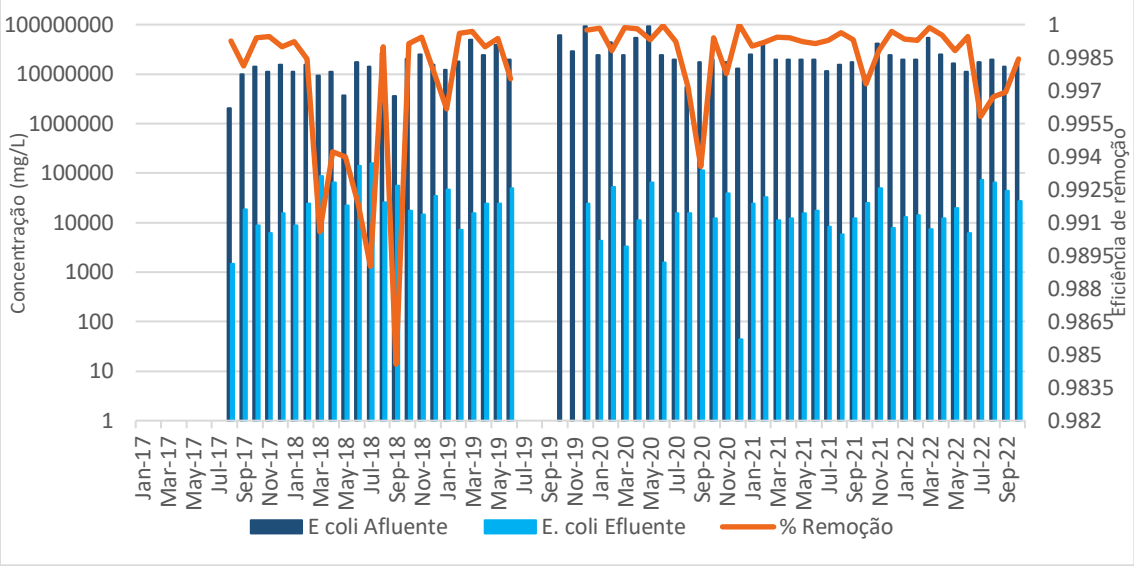


Figura 5.27 – Gráfico da análise logarítmica da concentração média de *Escherichia coli* e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado

A Figura 5.28 a seguir apresenta a representação gráfica dos dados monitorados de Sólidos Suspensos (SS) no período já citado. No qual nota-se novamente os valores de afluente muito altos nos meses fevereiro, março e abril, atingindo de 2.771,3 até 5.613,3 mg/L nesse período. Contudo, a eficiência de remoção se manteve acima de 98%, resultando concentrações de 16,8 até 24,6 mg/L nesses meses.

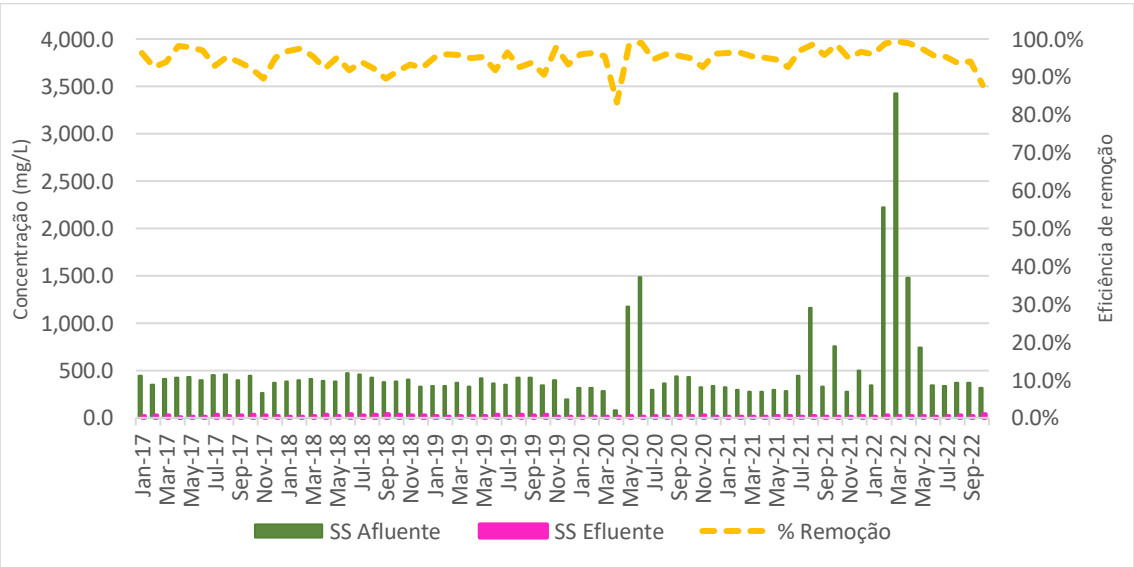


Figura 5.28 - Gráfico de concentração média de Sólidos Suspensos e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado.

Os dados de monitorados de Fósforo Total (Ptot) afluente e efluente final são apresentados na Figura 5.29. Em relação à legislação, a Resolução CONAMA n° 430/11 define que o órgão ambiental competente poderá definir padrões específicos para este parâmetro de Fósforo, para o caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trechos onde ocorra a captação para abastecimento público (CONAMA, 2011). No caso da ETE Alagado, não há um limite para concentração de fósforo no efluente definido nem na licença de operação e nem na outorga, a única referência utilizada pelos operadores da estação para estabelecerem um desempenho esperado é o da Resolução do CONAMA n° 357/05, que define que a concentração de fósforo total num corpo de classe 3 deve ser no máximo de 0,15 mg/L. Devido ao fenômeno de capacidade de diluição dos rios, a concentração no efluente pode ser maior, portanto os operadores estimam uma padrão de eficiência de 90% e fósforo total abaixo de 1 mg/L.

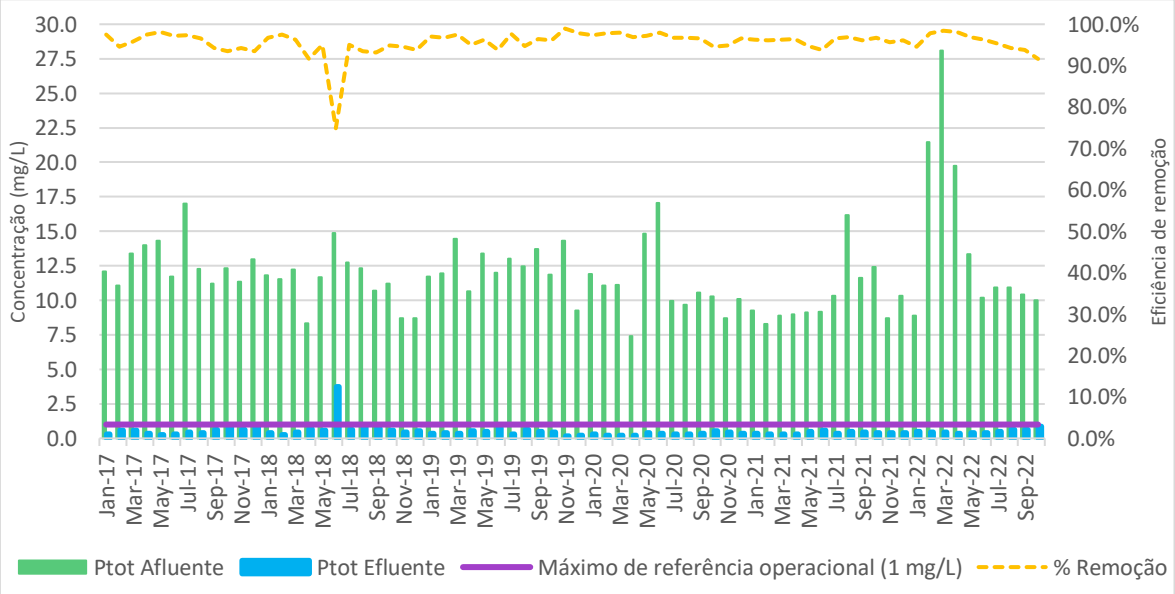


Figura 5.29 - Gráfico de concentração média de Fósforo Total e remoção do tratamento adotado pela ETE Alagado no período analisado

Observa-se da Figura 5.29 então todos as médias mensais possuem uma remoção de fósforo total acima de 90%, com exceção ao mês de Junho de 2018, quando o P_{tot} efluente foi igual a 3,7 mg/L, o máximo valor de todos os anos, e a remoção alcançou apenas 74,9% de eficiência.

A Figura 5.30 expõe outro nutriente essencial para o desenvolvimento das microalgas, o Nitrogênio. Os valores plotados são da concentração de nitrogênio amoniacal (NH_3) no efluentes das Lagoas de Alta Taxa e do efluente final da estação.

Constata-se na Resolução CONAMA n° 430/2011 que há um padrão de 20 mg N/L para Nitrogênio Amoniacal em lançamentos de efluentes de qualquer fonte poluidora. Porém, para o lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, que os padrões se tornam a critério do órgão ambiental competente, devido as características locais, e isso torna não exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total. Então percebe-se que se o padrão de 20 mg/L fosse exigido na localidade, a ETE Alagado estaria lançando efluente com nitrogênio amoniacal N-NH_3 acima do permitido, pois todos os valores desse parâmetro no efluente estão acima de 20 mg/L em todos os meses.

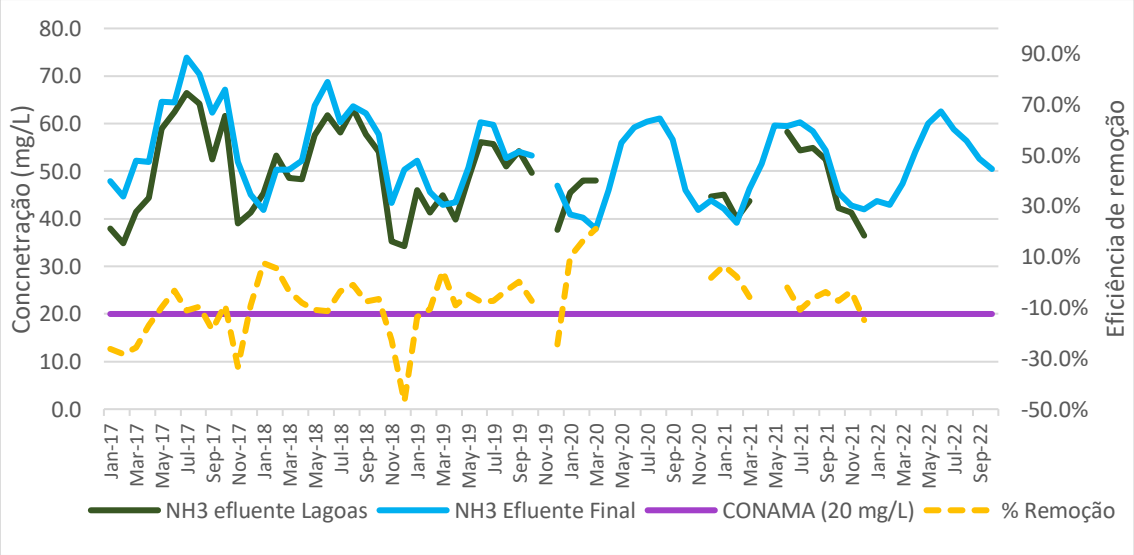


Figura 5.30 - Gráfico de concentração média de Nitrogênio Amoniacal efluente das Lagoas, efluente final e eficiência de remoção

Nota-se da Figura 5.30 que a eficiência de remoção do efluente das lagoas para o efluente final é negativa, isso ocorre quando o parâmetro do efluente tem valor mais alto que no afluente, a razão é a junção do efluente da ETE Santa Maria, que se mistura e deve elevar o teor de nitrogênio amoniacal no afluente do polimento final. Verifica-se também que durante a pandemia, não foram feitas medições de NH_3 nos efluentes das unidades, apenas o efluente final, e o mesmo ocorreu com os outros parâmetros das unidades intermediárias, por motivos de segurança pelo perigo de contaminação com o vírus durante a medição e coleta.

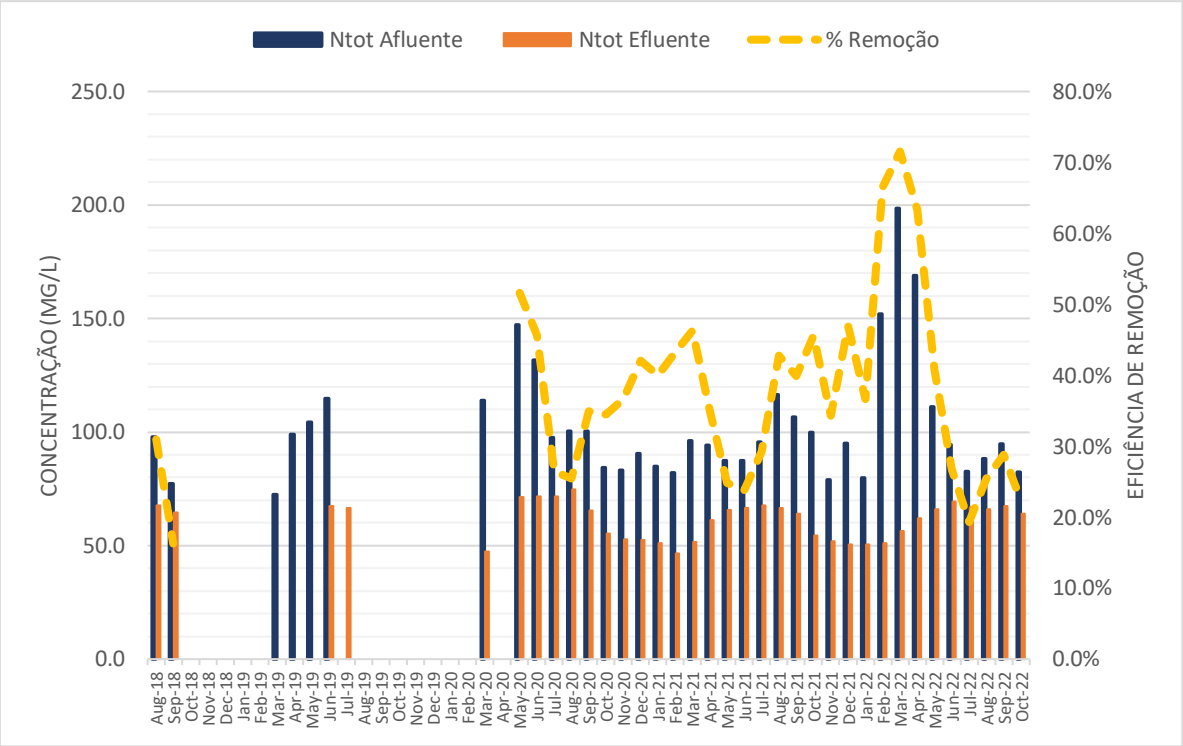


Figura 5.31 – Gráfico concentração de nitrogênio total afluente à estação, efluente do polimento final e eficiência de remoção

Como se observa no gráfico da Figura 5.31, em 2017 o Nitrogênio não era medido até o mês de julho. Em 2018 e 2019, houveram muitos meses sem registro de concentração do afluente, até que em 2020 passaram a registrar as concentrações tanto do afluente quanto do efluente, resultando em médias mensais completas e o cálculo da curva de eficiência de remoção, que variou de 16,3% (setembro/2018) a 71,6% (março/2022). No mês de valor máximo de remoção é também o mês de concentração máxima afluente (198,6 mg/L), que também coincide com o mês de elevados valores de carga orgânica fora do esperado.

A primeira condição de lançamento de efluentes de esgotamento sanitário que é citada na Resolução CONAMA n° 430/2011 é o pH do efluente estar entre 5 e 9. Na Tabela 5.1 a seguir têm-se uma análise estatística do valor médio e desvio padrão dos valores médios mensais de pH entre os anos de 2017 e 2022.

Tabela 5.1 - Valor médio e desvio padrão dos valores de pH do afluente à estação e o efluente do polimento final da ETE Alagado

Ano	Valor pH	
	Afluente	Efluente
2017	7,4 ±0,1	6,9 ± 0,3
2018	7,3 ± 0,2	6,9 ± 0,3
2019	7,2 ± 0,1	7,0 ± 0,2
2020	7,4 ± 0,2	6,9 ± 0,2
2021	7,4 ± 0,1	6,7 ± 0,1
2022	7,4 ± 0,2	7,0 ± 0,2

Logo, observa-se a partir dos dados apresentados na Tabela 5.1 que todos os valores de pH do efluente final da ETE Alagado se situam acima de 5 e abaixo de 9, estando assim em conformidade com a legislação ambiental vigente (CONAMA 430/11).

5.3. AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DAS UNIDADES QUE COMPÕEM A ETE ALAGADO

Em relação à frequência do monitoramento de dados, nota-se na planilha de dados disponibilizada pela CAESB, que nos meses de: abril a novembro de 2020 não há presença dos parâmetros do Afluente ao Polimento Final, do Efluente das Lagoas de Alta Taxa, do Efluente dos RAFAs e do Lodo Flotado. Os dados destes mesmos pontos de monitoramento/coleta estão ausentes no mês de abril e maio de 2021, sendo que os dados faltantes do Efluente dos RAFAs são de janeiro a maio de 2021, e a partir desse ano não há dados do Loto Flotado.

O período de dados ausente de 2020 é justamente o do início da pandemia do novo coronavírus no Distrito Federal, no qual houve grandes restrições no monitoramento e análise de amostras devido ao risco de contaminação por contato com o efluente. Entretanto, mesmo com dados faltantes em determinados meses e pontos de monitoramento das unidades internas, não houve ausência de dados médios mensais do afluente à estação e nem do efluente do polimento final, possibilitando a realização o cálculo da eficiência de remoção global da estação.

A Figura 5.32 apresenta a média anual dos dados monitorados nas unidades citadas acima, da qual pode-se inferir que as concentrações conforme o esgoto perpassa as unidades de tratamento. Nota-se que os únicos pontos afluentes medidos são o Afluente

à Estação e o Afluente ao Polimento final, pois o Polimento Final recebe o efluente da ETE Santa Maria, então esse monitoramento informa a alteração que a ETE Santa Maria causa no efluente das lagoas da ETE Alagado.

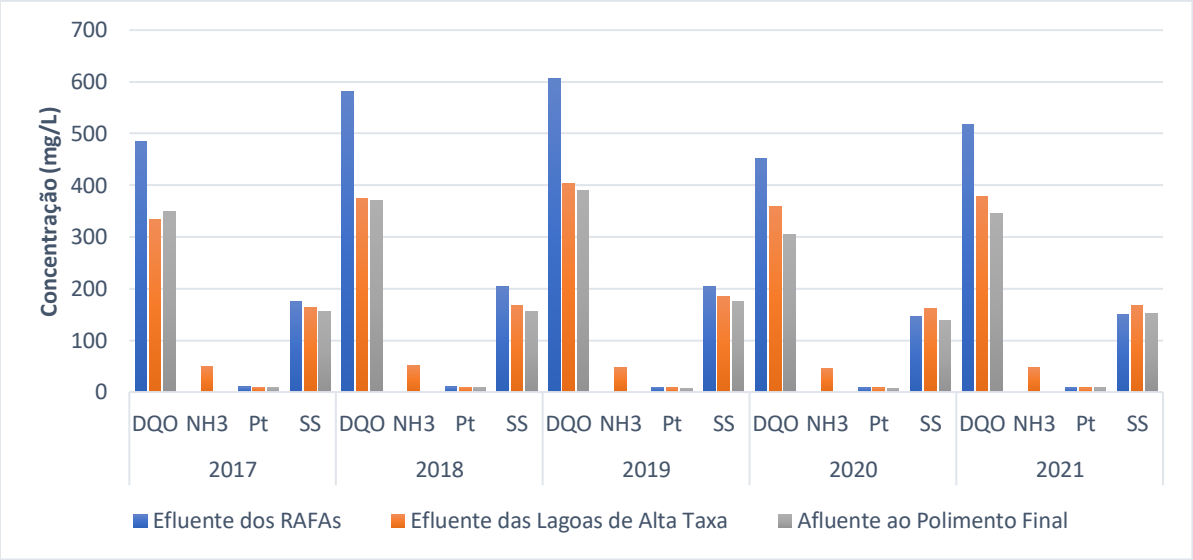


Figura 5.32 – Gráfico das médias anuais dos parâmetros afluentes e efluentes das unidades

Por fim, a Figura 5.33 mostra as remoções em cada unidade de tratamento. Conclui-se que a unidade de Polimento Final é a unidade com maior taxa de remoção dos parâmetros analisados: DQO, E. coli, SS, Fósforo total e Nitrogênio total. Nota-se que o Nitrogênio Amoniacal apresentou porcentagem negativa, ou seja, o nitrogênio amoniacal do efluente das lagoas de alta taxa é menor do que o resultante da mistura com o efluente da ETE Santa Maria.

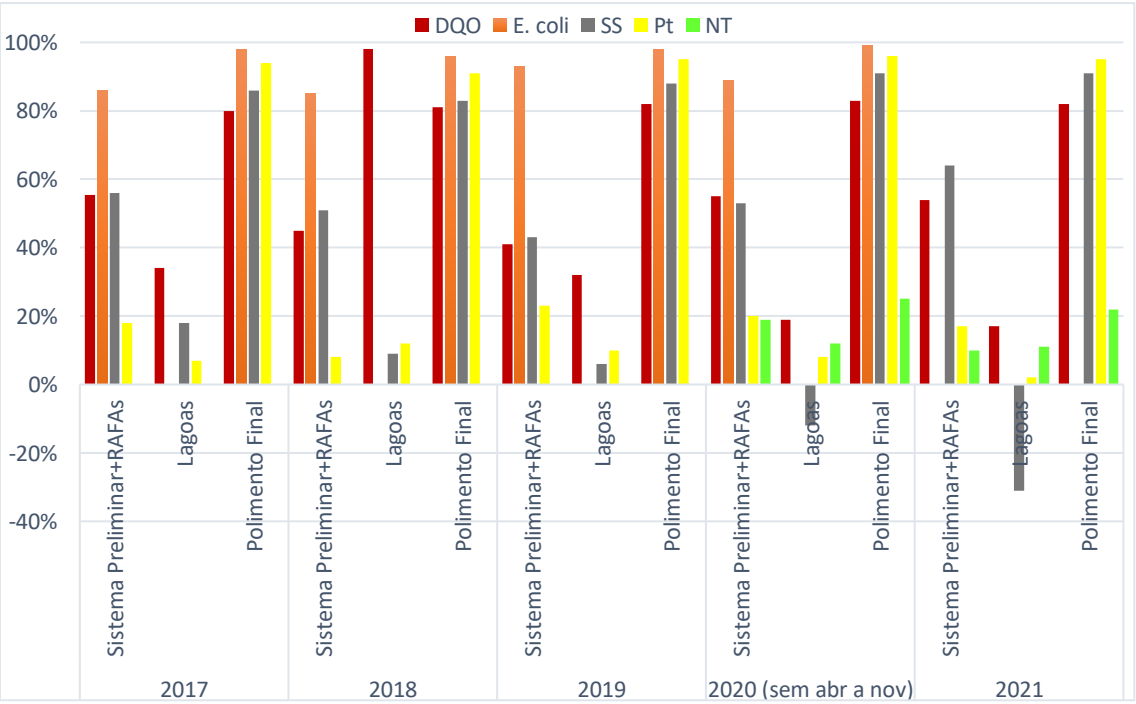


Figura 5.33 – Eficiência de remoção média anual das unidades de tratamento

5.4. SAZONALIDADE

Para a avaliação da sazonalidade nas concentrações dos parâmetros monitorados os dados de precipitação total diária em mm dos dias 01/01/2017 até o dia 31/10/2022, que coincidem com o período de dados fornecido pela CAESB, foram obtidos no site da Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A estação mais próxima da ETE Alagado e que possuía dados disponíveis no site, foi a Estação Ponte Alta, no Gama, cujo código é D8114, conforme apresentado na Figura 5.31, assim como a indicação da localização da Estação Meteorológica e a ETE Alagado.



Figura 5.34 – Localização da Estação Meteorológica Ponte Alta e a ETE Alagado

Então, foram feitas análises estatísticas dos dados diários, como mostra a Tabela 5.2, plotada do gráfico da Figura 5.35, obtendo as médias mensais, para assim podê-las comparar às médias mensais da ETE Alagado.

Tabela 5.2 – Médias mensais da precipitação diárias da Estação Ponte Alta – Gama (mm)

	Precipitação média mensal (mm)					
	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**
Janeiro	5,948	1,981	2,761	13,632	6,135	5,903
Fevereiro	7,964	3,514	9,614	10,434	15,636	11,429
Março	4,226	8,929	4,542	9,129	3,994	4,071
Abril	2,527	2,587	7,040	6,107	1,227	1,860
Maio	1,303	0,690	2,606	0,355	0,045	0,168
Junho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,633	0,000
Julho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Agosto	0,000	1,006	0,006	0,000	0,000	0,000
Setembro	0,000	1,000	0,160	1,640	0,947	0,100
Outubro	0,794	5,832	3,361	7,845	2,845	1,561
Novembro	8,933	12,748	5,307	4,500	6,747	-
Dezembro	7,142	3,613	6,039	9,413	9,994	-

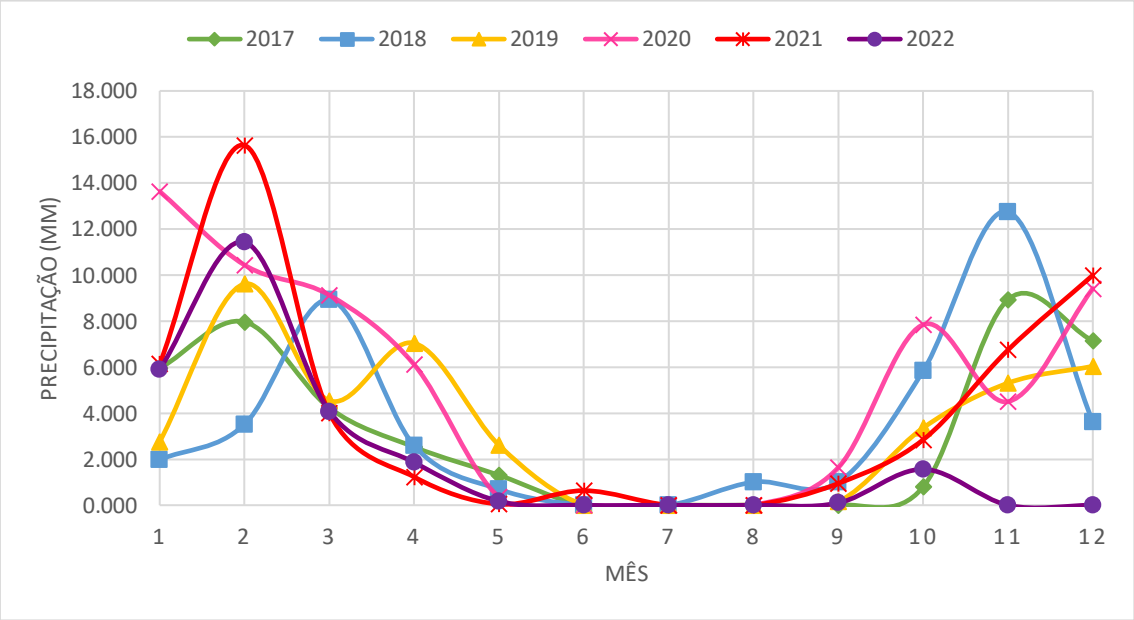


Figura 5.35 – Gráfico da média mensal da precipitação total diária

Constata-se então que o período seco da região, está compreendido entre os meses de maio a setembro, que possuem baixa ou nula precipitação, e o período chuvoso nos meses de outubro a abril. Então, para realizar uma relação do efeito da sazonalidade do clima e os dados dos parâmetros da ETE, utilizou-se os dados de DBO afluente médios mensais, que estão apresentados na Figura 5.36 a seguir, para se ter uma noção da carga orgânica do esgoto bruto.

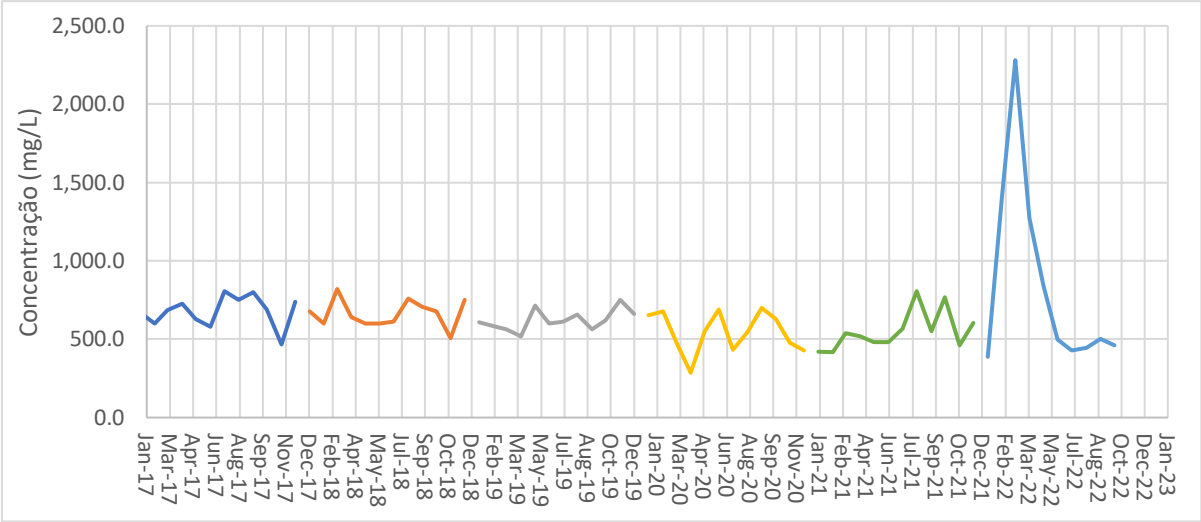


Figura 5.36 - Gráfico das médias mensais de DBO afluente da ETE Alagado

Como dito nas avaliações anteriores, os meses de fevereiro, março e abril de 2022 apresentaram valores muito acima do esperado, que são períodos que coincidem com o período chuvoso, entretanto, dificulta a interpretação dos valores dos demais meses. A Figura 5.37 apresenta um gráfico das médias mensais da concentração de DBO afluente, DBO efluente e a eficiência de remoção. Na qual, nota-se que a sazonalidade não interferiu na eficiência de remoção, pois manteve-se no padrão acima de 90% de remoção, mesmo o efluente sendo a junção do efluente de duas estações de tratamento, portanto, se houver influência da sazonalidade no esgoto bruto, o polimento final equaliza essa variabilidade, mantendo a eficiência constante.

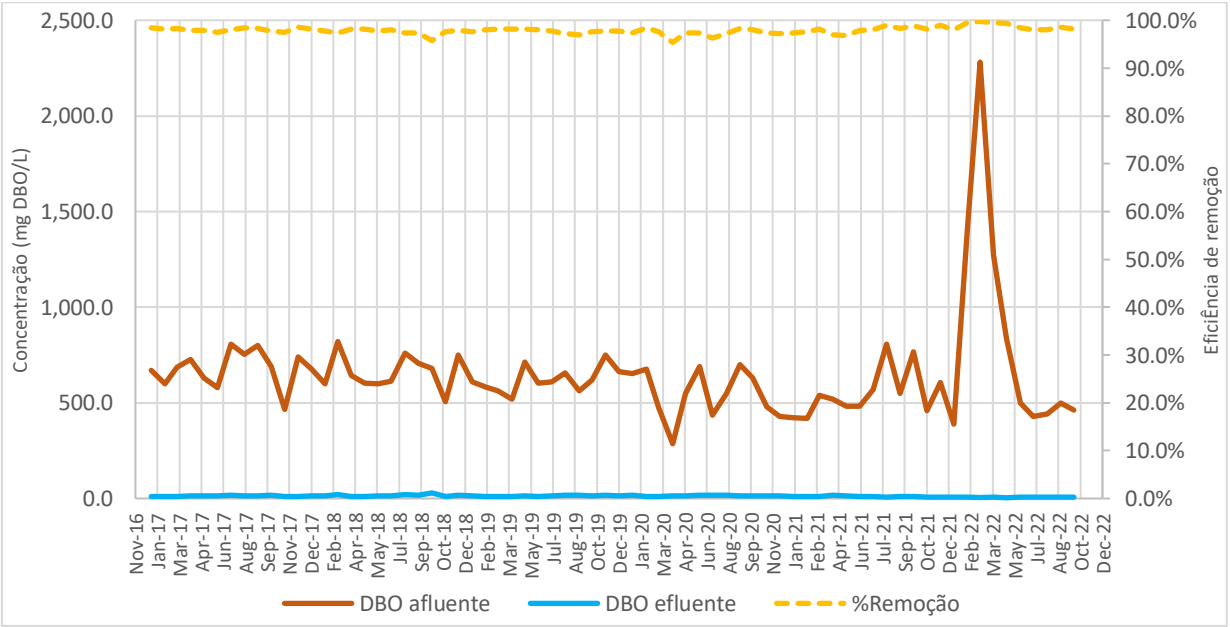


Figura 5.37 - Gráfico das médias mensais da concentração de DBO afluente, DBO efluente e a eficiência de remoção

Outra alternativa foi realizar uma média aritmética da DBO afluente dos meses do período chuvoso, que são de outubro a abril, e dos meses do período de seca, que são os meses de maio a setembro, os resultados estão apresentados na Tabela 5.3 a seguir.

Tabela 5.3 - Análise estatística do período chuvoso e do período seco

Sazonalidade	Mês	Média mensal DBO afluente	Média sazonalidade
Período Chuvoso	Janeiro	569,5	667,9
	Fevereiro	712,9	
	Março	894,3	
	Abril	660,9	
	Novembro	532,6	
	Dezembro	637,2	
Período Seco	Maio	636,4	621,1
	Junho	575,2	
	Julho	576,8	
	Agosto	661,0	
	Setembro	636,6	
	Outubro	640,8	

Afere-se da Tabela 5.3 que as médias aritméticas da DBO afluente no período chuvoso (667,9) é maior que a DBO afluente no período seco (621,1), porém, não é estatisticamente significante, isso não evidencia influência da sazonalidade, afinal, os dados fornecidos foram médias mensais, o que não permitiu uma análise estatística mais criteriosa nem do desempenho dos sistemas de tratamento da ETE Alagado e nem da sazonalidade.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

- O projeto consistiu na avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto Alagado em Santa Maria/DF, operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. Realizando o tratamento que consiste na remoção de matéria orgânica e inorgânica, sólidos totais, remoção potencial do indicador *E. coli*, contaminantes, óleos e graxas, resíduos sólidos, e nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) que provocam a reprodução excessiva de algas e cianobactérias, fenômeno conhecido como eutrofização.
- A ETE Alagado é composta por um sistema de tratamento preliminar, constituído por grades grossas, grades finas e desarenadores, em seguida, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, depois lagoas aeróbias de alta taxa e por fim o polimento final de tratamento físico-químico, que recebe o efluente da ETE Santa Maria e é constituído por coagulação, floculação e flotação, posteriormente o efluente tratado é despejado no Rio Alagado.
- A avaliação ocorreu por análise de dados históricos disponibilizados pela CAESB em planilhas através de solicitação pelo peticionamento online. Os parâmetros monitorados e avaliados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Coliformes Totais, *E.coli*, Sólidos Suspensos, pH, Fósforo Total e Nitrogênio Total em relação à continuidade e frequência de dados. Os dados fornecidos foram as médias mensais dos anos 2017 a outubro de 2022, período que compreende a disseminação da pandemia do novo coronavírus, o que resultou na ausência de alguns dados médios mensais dos pontos de monitoramento, coleta e análise de algumas unidades de tratamento. Porém, os dados mensais do afluente à estação e o efluente do polimento final permaneceram sendo monitorados, o que viabilizou a avaliação de eficiência de remoção da ETE Alagado.
- Conclui-se que a ETE Alagado apresenta desempenho satisfatório e conformidade com a Resolução CONAMA n° 430/2011, pois demonstra altos índices de eficiência de remoção dos parâmetros monitorados pela CAESB, obtendo índices acima de 90% e dentro dos padrões de lançamento da legislação ambiental vigente. No período de fevereiro, março e abril de 2022 os parâmetros do afluente à estação apresentaram valores mais elevados que o esperado, principalmente a DBO, DQO, SS, Ptot e Ntot. Possivelmente, pode ter ocorrido um erro de coleta

no amostrador, que provavelmente coletou amostras de um nível muito profundo, carregando então dedimentos para a análise da fase líquida, refletindo em valor atípicos. Contudo, mesmo com concentrações afluente extrapoladas, as porcentagens de remoção desses constituintes ao final do tratamento foram entre 98 a 99% de eficiência, conferindo a alta qualidade da estação.

- Devido à grande possibilidade de desativação da ETE Santa Maria por questões latifundiárias, recomenda-se que a CAESB opere reformas nas unidades de tratamento da ETE Alagado para comportar toda a vazão extra que deve ser recebida. Podendo considerar-se a adoção de sistema de lodos ativados para a futura vazão.
- Outra recomendação seria para a instalação de um sistema de aproveitamento energético do biogás produzido nos reatores anaeróbios, tanto os de fluxo ascendente após o tratamento preliminar, quanto os digestores do lodo. Como dito anteriormente, o biogás possui alto potencial energético, então poderia ser utilizado para gerar eletricidade. Recomenda-se, então, a realização de pesquisas do potencial energético do biogás produzido na ETE Alagado para avaliar se é viável o investimento.
- Recomenda-se fortemente que, para projetos acadêmicos seguintes, a CAESB forneça dados brutos diários, para que se obtenham resultados e análises mais fidedignos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. (2014). Planos de Recursos Hídricos e o Enquadramento de Corpos d'Água. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=f2Yj9NYID9w&t=236s. Acesso em: 24 fev. 2023.

ANA. (2020). Enquadramento dos Corpos d'Água em Classes. Brasília, 57p.

APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21ª ed.

Aragão, B. (2021). Avaliação de Desempenho de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Operada pela CAESB: Estudo de Caso da ETE Planaltina. Monografia de Projeto Final. Departamento de Engenharia de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p.

Borges, M. C. P., *et al*. (2022). The Brazilian National System for Water and Sanitation Data (SNIS): Providing information on a municipal level on water and sanitation services. Journal of Urban Management, v.11, Issue 4, 2022, pages 530-542, ISSN 2226-5856. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S222658562200070X?via%3Dihub. Acesso em 23 fev 2023.

BRASIL. (2021). Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021. Ministério de Desenvolvimento Regional, Brasília, DF. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/panorama/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 03 set. 2022.

BRASIL. Constituição (1891). Constituição da República Federativa do Brasil. Rio de Janeiro, RJ: Sala das Sessões do Congresso Nacional Constituinte, 1891, 3° da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao91.htm. Acesso em: 18 set. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.433/1997, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei nº 11.445/2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 20 ago. 2022.

BRASIL. Lei n° 14.026/2020, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7. Acesso em: 20 ago. 2022.

BRASIL, Ministério das Cidades; Agência Nacional de Águas. Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Distrito_Federal/Relatorio_Geral/Bras%C3%ADlia.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. (2022). Do SNIS ao SINISA: Informações para planejar o Saneamento Básico. Secretaria Nacional de Saneamento. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/cadernos-tematicos/DO_SNIS_AO_SINISA_SANEAMENTO_BASICO_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Acesso: 03 out. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre a condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Publicado no D.O.U. Acesso: 03 out. 2022.

BRASIL. (2014). Resolução n° 02 de 17 de dezembro de 2014. Aprova o enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal em classes, segundo os usos preponderantes, e dá encaminhamentos. Sistema Integrado de Normas Jurídicas do DF – SINJ. Disponível em: https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/78743/sema_crh_res_3_2018.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

Bogoni, J. A., Silva, P. G. (2015) Introdução à Estatística Básica: Aula 4. UFSC – Florianópolis. Disponível em: http://www.liaaq.ccb.ufsc.br/files/2013/10/Aula-4.pdf. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRK. (2020). Os Impactos da Relação entre Saneamento e Minorias. Saneamento em Pauta. Disponível em: https://blog.brkambiental.com.br/saneamento-e-minorias/. Acesso em: 02 out. 2022.

CAESB. Atlas ETE's DF. Disponível em: https://atlascaesb.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=9babae05a8a1444180cdf3df83f67fb7. Acesso em: 18 ago. 2022.

Caiusca, A. (2019) Nitrogênio: Elemento químico predominante no ar atmosférico. EducaMaisBrasil. Disponível em: https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/nitrogenio. Acesso em: 01 set. 2022.

Campos, J.R. et al. (2001). Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.

Campos, J.R. (coordenador). (1999). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Coleção PROSAB. Editora ABES, Rio de Janeiro. 464p.

Chernicharo, C.A.L. (1997). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Volume 5: Reatores Anaeróbios. 2a. edição, DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Minas Gerais.

CODEPLAN. (2021) Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios 2021. Brasília - DF. Disponível em: https://pdad2021.ipe.df.gov.br. Acesso em: 06 fev 2023.

Coelho, P. (2017) Reatores UASB: Funcionamento, Vantagens e Desvantagens desses Reatores. Blog de Engenharia Química. Disponível em: https://www.engquimicasantossp.com.br/2017/05/reatores-uasb.html. Acesso em 12 set. 2022.

Cruls, L. (1984) Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil. Relatório Missão Cruls. Rio de Janeiro.

Faveretto, D.P.C. *et al*. (2015). Análise do Processo de Tratamento de Efluentes de Empresa de Laticínios da Região de Passo Fundo/RS. Revista CIATEC – Universidade de Passo Fundo (UPF), vol. 7, p. p. 18-30.

Fernandes, C. (2022). Brasília sobe cinco posições no ranking nacional do saneamento básico. Secretaria de Estado de Governo do Distrito Federal, 23 de março de 2022. Disponível em: https://cidades.df.gov.br/brasilia-sobe-cinco-posicoes-no-ranking-nacional-do-saneamento-basico/#:~:text=J%C3%A1%20o%20indicador%20de%20atendimento,Bras%C3%ADlia%20alcan%C3%A7a%2090%2C03%25. Acesso em: 7 set. 2022.

Freire, R.C. *et al*. (2019). Desempenho de uma ETE tipo UASB Seguido de FSA (Estudo de Caso). Anais do 30° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES. Natal – RN.

GDF (2017). Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Tomo IV – Produto 2.

Grandchamp, L. (2023). Definições Sobre A Atuação DA Agência Nacional De Águas No Saneamento Básico São Necessárias Para Estimular Setor. Jornal Contábil, Portal R7. Disponível em: https://www.jornalcontabil.com.br/definicoes-sobre-a-atuacao-da-agencia-nacional-de-aguas-no-saneamento-basico-sao-necessarias-para-estimular-setor/. Acesso em: 24 fev. 2023.

IBGE. (2021). Áreas Territoriais. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=53. Acesso em: 7 set. 2022.

Junior, G.N.R.C. (1998). Aplicabilidade do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (UASB) para o Tratamento de Resíduos Líquidos da Suínocultura. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 81p.

Júnior, R.P.C. (2018). Avaliação da Eficiência do Sistema de Lagoas de Alta Taxa como Pós-Tratamento dos Reatores UASB da ETE Paranoá/DF, na Garantia da Qualidade do Efluente Final da Estação. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 77p.

Kovaltchuk, G.E. (2011). Avaliação do Sistema de Flotação por Ar Dissolvido como Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios: Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 194p.194p.

Kramer, R. D. (2016). Avaliação do Desempenho Ambiental de Uma ETE Considerando a Presença dos Contaminantes Emergentes. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 204p.

Lopes, L. S., Rosa, A. P., Marco, J. S., Possetti, G. R. C., & Mesquita, T. C. R.. (2020). Energy potential of biogas and sludge from UASB reactors in the state of Paraná, Brazil. Revista Ambiente & Água, 15(Rev. Ambient. Água, 2020 15(1)). Disponível em: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2398. Acesso em: 13 fev. 2023.

Lima, A. C. G., Passamani, F. C. (2012) Avaliação do Potencial Energético do Biogás Produzido no Reator UASB da ETE-UFES. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. Disponível em: https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.

Manabosco, A.L., Freitas, G.F. (2018). Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento no Brasil. Instituto Trata Brasil. EXANTE Consultoria Econômica, 86p.

Mota, F.S.B., Sperling, M.V. (2009). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES.

Neiva, M. (2013). Cianotoxinas e suas implicações na saúde humana. 44f. Dissertação (Especialista Microbiologia Ambiental e Industrial) – UFMG, Belo Horizonte.

OMS. (2022). Aumento de Renda é Mais Prejudicial ao Meio Ambiente do que o Crescimento Populacional. Nações Unidas Brasil. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/173333-aumento-de-renda-e-mais-prejudicial-ao-meio-ambiente-do-que-o-crescimento-populacional#:~:text=Segundo%20o%20estudo%2C%20embora%20o,de%20gases%20de%20efeito%20estufa. Acesso em: 29 set. 2022.

Parente, V. R. (2021). Avaliação do Desempenho de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) Operadas pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72p.

Penetra, R.G. (1998). Pós-Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB). Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 185p.

Pessôa, C.A., Jordão, E.P. (2011) Tratamento de Esgotos Domésticos. 6a. edição, ABES - Assoc. Bras. De Eng. Sanit. e Ambiental, Rio de Janeiro.

Pinto, M.A.T. e Onoyama, M.T. (1991). Remoção de Matéria Orgânica, Fósforo e Nitrogênio de Esgotos Domésticos Utilizando o Processo de Lagoa de Alta Taxa. Revista DAE-SABESP, n°161, 8p.

Pinto, M.T. *et al*. (1997). ETE Samambaia – dos Projetos às Práticas dos Novos Conceitos no Processo de Tratamento de Esgotos por Lagoas de Estabilização. Anais do 19° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES. Foz do Iguaçu – PR.

Portela, M. (2023). ANA é transferida para o Meio Ambiente, mas manterá regulação do saneamento. Correio Braziliense Economia. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2023/01/5063590-ana-e-transferida-para-o-meio-ambiente-mas-mantera-regulacao-do-saneamento.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

Ribeiro, T. (2021). Diversidade da fauna no Lago Paranoá cresce com despoluição. Agência Brasil, Brasília. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2021-08/diversidade-da-fauna-no-lago-paranoa-cresce-com-despoluicao#:~:text=Ele%20lembra%20que%2C%20gra%C3%A7as%20a,%C3%A1gua%20para%20o%20Distrito%20Federal. Acesso em 18 set. 2022.

Rubim, C. (2017). Remoção de Nutrientes Em Esgotos Evita Descontrole Que Causa Danos. Edição n° 34. Revista TAE. Disponível em: https://www.revistatae.com.br/Artigo/25/remocao-de-nutrientes-em-esgotos-evita-descontrole-que-causa-danos#:~:text=No%20saneamento%2C%20os%20nutrientes%20s%C3%A3o,)%20e%20f%C3%B3sforo%20(P). Acesso em: 26 ago. 2022.

Saliba, P. D. (2016). Avaliação do Desempenho de Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário Composto de Reator UASB Seguido de Lodo Ativado: Estudo de Caso da ETE Betim Central-MG. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 159p.

Salles, P. (2015). Brasília: A Capital das Águas. Águas do Brasil. Disponível em: https://aguasdobrasil.org/artigo/brasilia-a-capital-das-aguas/. Acesso em: 18 set. 2022.

Santos, A. (coordenador) *et al*. (2019). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Imprece. 812p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/06_11_2019_ Prosab_Tratamento_de_Esgoto.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2021). Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Ministério de Desenvolvimento Regional - MDR. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel. Acesso em: 23 fev. 2023.

Soares, M. F., Caramori, I. (2022). Após 10 anos, Sistema Corumbá IV é inaugurado e vai fornecer água para 4 regiões do DF. TV Globo. Disponível em: https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2022/04/06/apos-10-anos-sistema-corumba-iv-e-inaugurado-e-vai-fornecer-agua-para-4-regioes-do-df.ghtml. Acesso em: 18 set. 2022.

Viera, C., *et al*. (2017). Clima e Hidrografia do Planalto Central: Explorando o Relatório Missão Cruls e suas Demais Bibliografias. 14f. Universidade de Brasília, Distrito Federal. Disponível em: http://cerratense.com.br/fotosdocumento/arquivopdf4/Clima%20e%20HIdrografia%20no%20relat%C3%B3rio%20da%20Miss%C3%A3o%20Cruls.pdf. Acesso em: 18 set. 2022.

Von Sperling, M. (1986). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 3 – Lagoas de Estabilização. DESA-UFMG, Belo Horizonte – MG.

Von Sperling, M. (1996) Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Vol. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Von Sperling, M. (2014). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG. 4a ed., 472 p.

UNESCO. (2015). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um Mundo Sustentável. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232272_por. Acesso em: 24 set. 2022.