



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC**

IAGO AMORIM RANGEL BRANDÃO

**ANÁLISE QUANTO AO USO DE JARDINS FLUTUANTES NA REDUÇÃO
DE CARGA ORGÂNICA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Campina Grande – PB

2021

IAGO AMORIM RANGEL BRANDÃO

**ANÁLISE QUANTO AO USO DE JARDINS FLUTUANTES NA REDUÇÃO DE
CARGA ORGÂNICA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Patrícia Hermínio
Cunha Feitosa

Coorientadora: Prof^ª. Ma. Elis Gean Rocha

Campina Grande – PB

2021

IAGO AMORIM RANGEL BRANDÃO

ANÁLISE QUANTO AO USO DE JARDINS FLUTUANTES NA REDUÇÃO DE CARGA
ORGÂNICA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Aprovado em: ____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

_____ Nota _____

Prof^ª. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa - UFCG
(Orientadora)

_____ Nota _____

Prof^ª. Ma. Elis Gean Rocha - UFCG
(Coorientadora)

_____ Nota _____

Prof^ª. Dra. Dayse Luna Barbosa - UFCG
(Examinador Interno)

_____ Nota _____

Eng. Diva Guedes de Araújo Neta - UFCG
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

A minha mãe Suênia, ao meu pai Weberton (*in memoriam*) e ao meu irmão Ítalo, por todo o companheirismo e amor à família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Suênia, que não mediu esforços para a realização dessa graduação, pelo amor, apoio, preocupação e por se fazer presente sempre. Sem você, nada disso seria possível, só tenho a agradecer por tudo que você é para mim.

Agradeço ao meu pai, Weberton (*in memoriam*), pelos ensinamentos deixados, pela força que me deu, de onde quer que ele esteja, e pelo amor que só cresce, passe o tempo que for.

Ao meu irmão, Ítalo, pela sua sabedoria, sua dedicação, pela companhia, seu apoio e pelo exemplo de perseverança.

A minha namorada, Laura, pelo seu apoio incondicional, pelo seu amor, carinho e compreensão até nos momentos mais difíceis, pelo exemplo de superação, força e sabedoria. Obrigado por estar comigo e me ajudar a enfrentar esse desafio.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram a passar por esse obstáculo de forma mais alegre, pois sem eles a graduação seria ainda mais difícil. Sou grato em especial para os amigos que fiz no colégio e estão ao meu lado até hoje, em particular a Pedro Serpa, Iann Carvalho, Arthur Lima, Iago Batista, Lucas Tavares, Lucas Queiros, Wictor Hugo, Maria Eduarda e Ricardo Nóbrega. E as novas amizades que a UFCG me proporcionou, que pretendo levar para o resto da vida.

Agradeço a toda a minha família, em especial meus primos Luiz Henrique e Lucas Amorim, que são primos que eu posso chamar de irmãos. Sou grato por cada conversa, cada ensinamento, todos os momentos de festas em família e por todo o carinho.

Só tenho a agradecer a minha orientadora, Patrícia, e a minha coorientadora, Elis, por toda a paciência, todos os ensinamentos, por tirar todas as minhas dúvidas, e por me aceitar para que fosse possível a realização desse trabalho. Sou grato também a Igor e todos que fazem parte do Laboratório de Saneamento, por me ajudar com os experimentos e por me ensinarem sempre.

Por fim, também sou grato a todos os professores e profissionais da UFCG, que participaram, diretamente ou indiretamente, da minha formação, todos me ensinaram algo, seja conteúdo acadêmico ou aprendizado para a vida.

RESUMO

Visando a melhoria do tratamento de águas residuárias, o presente trabalho faz parte de uma pesquisa que vem sendo realizada pelo grupo do Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, e foi desenvolvido para avaliar a capacidade de redução dos parâmetros de matéria orgânica, através de um sistema de jardins flutuantes que utilizam a tecnologia de fitorremediação em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), localizada na cidade de Campina Grande – PB. A ETE, localizada no bairro do Glória, possui duas lagoas para o tratamento de esgoto, uma anaeróbia e uma facultativa. O sistema de jardins está implantado na lagoa anaeróbia, onde foram coletadas amostras em quatro pontos, sendo 3 deles na lagoa anaeróbia e o último no ponto de saída da lagoa facultativa. Devido a pandemia da Covid-19, o sistema ficou sem acompanhamento por praticamente 10 meses. Após esse período foram feitas três coletas para a caracterização do tratamento realizado pelo sistema após esse hiato do projeto. Os parâmetros analisados foram: temperatura; pH; Turbidez; Condutividade Elétrica; Oxigênio Dissolvido; DBO e DQO. O sistema implantado apresentou redução em 19% da DBO, entre o ponto antes e depois dos jardins flutuantes, apesar de demonstrar uma menor variação dos dados da DQO, ocorreu um aumento médio após os jardins implantados, assim como na condutividade elétrica e na turbidez, muito provavelmente por conta do funcionamento desse tipo de sistema que pode ser mais eficiente em reduzir matéria orgânica biodegradável frente a não biodegradável e aumentar o número de íon dissolvidos. O estudo mostrou que a fitorremediação por jardins flutuantes tem bons resultados e apresenta potencial para ser estudado cada vez mais para que seja possível melhorar parâmetros que não performaram da maneira esperada.

Palavras-chave: jardins flutuantes; fitorremediação; esgoto; matéria orgânica.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Percentual de composição do esgoto | 18 |
| Figura 2- Representação do esquema de uma ilha flutuante | 26 |
| Figura 3 – Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa | 27 |
| Figura 4- Bacias do esgotamento da cidade de Campina Grande - PB | 28 |
| Figura 5 - Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Glória | 29 |
| Figura 6 - Planta de tratamento preliminar da ETE do Glória, Campina Grande - PB | 30 |
| Figura 7 - Projeto da ETE do Glória, Campina Grande - PB | 31 |
| Figura 8 - Processo de construção e preparação das placas de EPS para os jardins flutuantes. | 32 |
| Figura 9 - Configuração atual do sistema de jardins flutuantes na lagoa anaeróbica..... | 33 |
| Figura 10 - Fotos durante o acompanhamento do sistema | 34 |
| Figura 11 - Localização dos pontos de coleta de efluente nas lagoas de estabilização em 2021 | 35 |
| Figura 12 - pH na caracterização prévia do sistema..... | 38 |
| Figura 13 - Turbidez na caracterização prévia do sistema | 39 |
| Figura 14 - Condutividade elétrica na caracterização prévia do sistema | 40 |
| Figura 15 - DQO na caracterização prévia do sistema | 41 |
| Figura 16 - Temperatura média durante o monitoramento..... | 42 |
| Figura 17 - pH durante o monitoramento | 43 |
| Figura 18 - <i>Boxplot</i> do pH durante o monitoramento..... | 44 |
| Figura 19 - Diferença entre os valores da mediana do pH durante a caracterização e o monitoramento..... | 45 |
| Figura 20 - Turbidez durante o monitoramento | 46 |
| Figura 21 - Turbidez em cada ponto coletado no mês de março de 2021, durante o monitoramento do sistema..... | 47 |
| Figura 22 - <i>Boxplot</i> da turbidez durante o período analisado..... | 48 |
| Figura 23 - Dados da chuva em Campina Grande - PB durante o monitoramento do sistema | 48 |
| Figura 24 - Eficiência da turbidez durante o período analisado | 49 |
| Figura 25 - <i>Boxplot</i> do Oxigênio Dissolvido durante o período analisado | 50 |
| Figura 26 - Condutividade Elétrica durante o monitoramento | 51 |
| Figura 27 - <i>Boxplot</i> da Condutividade Elétrica durante o período analisado | 52 |
| Figura 28 - Eficiência da Condutividade Elétrica durante o período analisado | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 29 - DBO durante o monitoramento | 54 |
| Figura 30 - <i>Boxplot</i> da DBO durante o período analisado | 56 |
| Figura 31 - Eficiência da DBO durante o período analisado..... | 57 |
| Figura 32 - DQO durante o monitoramento | 58 |
| Figura 33 - <i>Boxplot</i> da DQO durante o período analisado..... | 59 |
| Figura 34 - Eficiência da DQO durante o período analisado | 60 |
| Figura 35 - <i>Boxplot</i> da relação DQO/DBO | 62 |
| Figura 36 - Comparação com dados da CAGEPA | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Características físico químicas dos esgotos domésticos | 18 |
| Tabela 2 - Especificidades dos projetos das lagoas que compõem a ETE do Glória | 31 |
| Tabela 3 - Temperatura média na caracterização prévia do sistema | 37 |
| Tabela 4 - pH na caracterização prévia do sistema | 38 |
| Tabela 5 - Turbidez na caracterização prévia do sistema..... | 39 |
| Tabela 6 - Condutividade Elétrica na caracterização do sistema | 40 |
| Tabela 7 - Oxigênio Dissolvido na caracterização prévia do sistema | 40 |
| Tabela 8 - DQO na caracterização prévia do sistema..... | 41 |
| Tabela 9 - pH durante o monitoramento do sistema..... | 44 |
| Tabela 10 - Comparação do pH durante a caracterização e o monitoramento | 45 |
| Tabela 11 - Turbidez analisada durante o monitoramento do sistema | 47 |
| Tabela 12 - Comparação da turbidez durante a caracterização e o monitoramento do sistema | 49 |
| Tabela 13 - Condutividade elétrica durante o monitoramento do sistema | 52 |
| Tabela 14 - Comparação entre a condutividade elétrica durante a caracterização e o monitoramento do sistema..... | 53 |
| Tabela 15 - DBO durante o monitoramento do sistema | 55 |
| Tabela 16 - Taxa de redução da DBO | 56 |
| Tabela 17 - DQO durante o monitoramento do sistema..... | 58 |
| Tabela 18 - Comparação da DQO durante a caracterização e do monitoramento do sistema . | 59 |
| Tabela 19 - Relação DQO/DBO | 61 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Etapas do tratamento de esgoto..... | 23 |
| Quadro 2 - Detalhamento dos substratos mistos utilizados em cada jardim flutuante..... | 33 |
| Quadro 3 - Métodos de ensaio dos parâmetros de qualidade da água analisados segundo o <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA, 2012). | 35 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CE – Condutividade Elétrica

CV – Coeficiente de Variação

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITB – Instituto Trata Brasil

OD – Oxigênio Dissolvido

PC – Ponto de Coleta

pH – Potencial hidrogeniônico

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

SJF – Sistema de Jardins Flutuantes

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1.INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 2.OBJETIVOS..... | 16 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 16 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 17 |
| 3.1 ESGOTO DOMÉSTICO..... | 17 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DO ESGOTO DOMÉSTICO..... | 17 |
| 3.2.1 Características Físicas..... | 19 |
| 3.2.2 Características Químicas..... | 20 |
| 3.3 TRATAMENTO DE ESGOTO..... | 22 |
| 3.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO..... | 23 |
| 3.5 FITORREMEDIAÇÃO..... | 24 |
| 3.5.1 Jardins Flutuantes..... | 25 |
| 4.MATERIAIS E MÉTODOS..... | 27 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 28 |
| 4.1.1 Esgotamento Sanitário da Bacia do Glória..... | 29 |
| 4.2 SISTEMA DE JARDINS FLUTUANTES..... | 31 |
| 4.3 MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE..... | 34 |
| 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS..... | 36 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 37 |
| 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PRÉVIA..... | 37 |
| 5.2 DADOS DO MONITORAMENTO DO SISTEMA..... | 42 |
| 5.2.1 Temperatura..... | 42 |
| 5.2.2 pH..... | 42 |
| 5.2.3 Turbidez..... | 46 |

| | | |
|---|-----------------------------|----|
| 5.2.4 | Oxigênio dissolvido | 50 |
| 5.2.5 | Condutividade Elétrica..... | 51 |
| 5.2.6 | DBO ₅ | 53 |
| 5.2.7 | DQO | 57 |
| 5.2.8 | Relação DQO/DBO..... | 61 |
| 5.3 COMPARAÇÃO COM OS DADOS DA CAGEPA ANTES DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA..... | | 62 |
| 5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ETE E AS DIFERENÇAS REGISTRADAS NO MONITORAMENTO | | 65 |
| 6.CONCLUSÕES | | 66 |
| 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 68 |

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população brasileira, conseqüentemente e de forma proporcional, cresce às necessidades relacionadas à estruturação urbana nas cidades, tais como: sistema hospitalar, distribuição de água, planejamento do tráfego urbano e, evidentemente, de saneamento básico.

No contexto brasileiro, o saneamento básico ainda é um ponto em desenvolvimento e que precisa de maior atenção, visto que segundo a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, divulgada em 2017 pelo IBGE, cerca de 39,7% dos municípios brasileiros ainda não possuem serviço de esgotamento sanitário.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (ITB, 2021), no Ranking do Saneamento Básico de 2019, que avalia os serviços de água e esgoto dos 100 municípios mais populosos do país, Campina Grande - PB ocupou a 22ª posição dentre os melhores serviços de saneamento do Brasil.

Apesar da boa colocação, acima da média nacional, ainda existem áreas sem esse serviço, que é básico e essencial para a vida humana. É necessária uma ampliação no sistema sanitário, como também o aprimoramento do sistema com manutenções constante para que ele possa atender a toda a comunidade com qualidade e continuidade, assim como melhorias nas unidades de tratamento.

Para tal, pesquisas devem ser cada vez mais incentivadas para que seja possível melhorar o sistema de tratamento de esgotos no Brasil. Com base nisso, existem as pesquisas quanto ao tratamento dos efluentes domésticos, visando a redução da matéria orgânica, uma delas com base no método de fitorremediação, por meio do sistema de jardins flutuantes.

De acordo com Oliveira *et al.* (2006) a fitorremediação é uma tecnologia que utiliza plantas para a descontaminação de águas contaminadas por poluentes. Em consonância com a fitorremediação, os jardins flutuantes são uma das variações das “ilhas flutuantes artificiais”, isto é, plantas que servem para fazer a descontaminação da água, porém em um sistema construído com mecanismos de controle.

Assim, partindo do problema existente, o objetivo desta pesquisa é analisar a eficiência da fitorremediação através de um sistema de jardins flutuantes instalado em uma estação de tratamento de esgotos, analisando as taxas de redução dos parâmetros de matéria orgânica avaliados, bem como comparar os dados de monitoramento com os dados de operação da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) antes da instalação do sistema.

O projeto foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do Glória, em Campina Grande – PB, que foi construída para tratar esgotos domésticos provenientes dos bairros da zona leste da cidade. A ETE conta com um tratamento preliminar, uma calha Parshall e duas lagoas de estabilização, uma anaeróbia e uma facultativa, os jardins flutuantes foram implantados na primeira lagoa, respectivamente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a eficiência de fitorremediação de um sistema de jardins flutuantes instalado em uma estação de tratamento de esgotos na redução de matéria orgânica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as variações de temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, DBO₅ e DQO nas lagoas de estabilização após a instalação do sistema de jardins;
- Comparar os dados de monitoramento com os dados de operação da CAGEPA antes da instalação do sistema;
- Identificar a viabilidade de utilização do sistema de jardins flutuantes na melhoria do tratamento realizado por lagoas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESGOTO DOMÉSTICO

A água é um elemento vital à vida do ser humano, seja para sua sobrevivência ou para o uso diário e, é a partir dessa segunda finalidade que se deriva o esgoto, isto é, o descarte da água após seu uso que se torna imprópria para o consumo.

O esgoto – ou águas residuais – pode ser definido como o resultado final após o uso da água limpa pela população. Considerando que o uso da água possui diversas finalidades sociais, o esgoto também possui diversas classificações, tais como: esgoto doméstico, comercial, industrial, agrícola, de superfície, infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (MENDONÇA, 2017).

As classificações são divididas em dois grandes grupos principais: os esgotos sanitários e os esgotos industriais. O primeiro deles é constituído em grande maioria de resíduos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e uma parcela irrisória de resíduos industriais (JORDÃO; PESSOA, 2011).

O esgoto doméstico é oriundo, principalmente, do uso da água pela população nas residências, edifícios residenciais e quaisquer outras edificações que possuem instalações sanitárias, como banheiros, cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e outros tipos de utilização de água para fins domésticos (JORDÃO; PESSOA, 2011). O industrial, como o próprio nome já diz é específico do setor da indústria, assim como o esgoto agrícola é de origem da agricultura, com adição de produtos químicos provenientes da indústria utilizados no serviço agrícola (MENDONÇA, 2017).

Com base nisso, cada tipo de esgoto tem suas próprias características qualitativas e quantitativas. Como no presente trabalho foi analisado o esgoto doméstico, e devido à grande amplitude dos esgotos industriais, pois variam de indústria para indústria, até do mesmo setor, será descrito apenas as características do esgoto domiciliar.

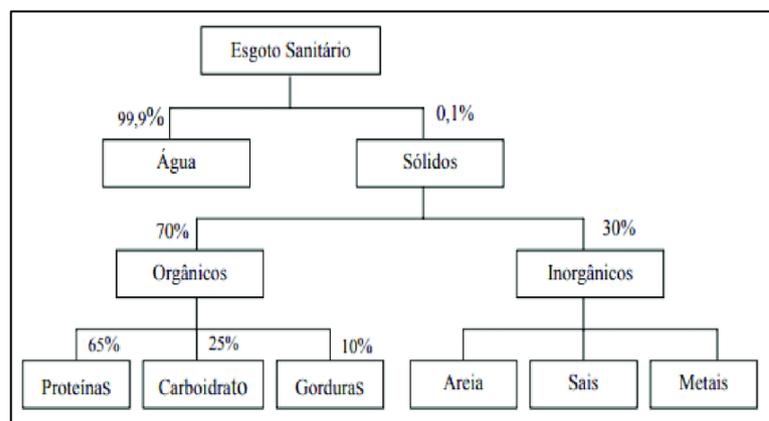
3.2 CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DO ESGOTO DOMÉSTICO

O tratamento das águas residuais tem como principal objetivo reduzir a carga de poluentes, microrganismos e todo tipo de material que provocam o crescimento de bactérias, vírus, bem como eliminar as fontes de patógenos para que possa ser despejado em um corpo receptor (MENDONÇA, 2017). Com base nisso, para que haja um tratamento adequado, faz-se necessário a caracterização quantitativa e qualitativa do esgoto.

A composição do efluente é feita em “peso” de material, o esgoto doméstico possui um peso muito mais elevado de água do que de sólidos suspensos. Cerca de 99,9% é respectivo à água e apenas 0,1% aos sólidos (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Porém, apesar de muito baixo a porcentagem de material não homogêneo, é por conta dele que ocorre os problemas de poluição e que faz necessário o tratamento do esgoto, pois a água é apenas o meio que os dejetos utilizam para transporte. Ele contém componentes físicos, químicos e biológicos, possui materiais orgânicos e inorgânicos, suspensos ou dissolvidos na água, como mostra a Figura 1 (MENDONÇA, 2017).

Figura 1- Percentual de composição do esgoto



Fonte: ÁVILA (2005)

Essa concentração dos constituintes do esgoto doméstico é classificada em três tipos: forte, médio e diluído (Tabela 1). E o tipo dependerá do dia, horário e do período sazonal em que se encontra (MENDONÇA, 2017). Em resumo, as características do esgoto doméstico se dividem em características físicas e químicas, conforme demonstrado a seguir.

Tabela 1- Características físico químicas dos esgotos domésticos

| Característica | Forte | Médio | Diluído |
|-------------------------------|-------|-------|---------|
| DBO _{5,20} (mg/L) | 400 | 220 | 110 |
| DQO (mg/L) | 1.000 | 500 | 250 |
| Carbono Org. Total (mg/L) | 290 | 160 | 80 |
| Nitrogênio total – NTK (mg/L) | 85 | 40 | 20 |
| Nitrogênio Orgânico (mg/L) | 35 | 15 | 08 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 50 | 25 | 12 |
| Fósforo Total (mg/L) | 15 | 08 | 04 |
| Fósforo Orgânico (mg/L) | 05 | 03 | 01 |
| Fósforo Inorgânico (mg/L) | 10 | 05 | 03 |
| Cloreto (mg/L) | 100 | 50 | 30 |
| Sulfato (mg/L) | 50 | 30 | 20 |
| Óleos e Graxas (mg/L) | 150 | 100 | 50 |

Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

3.2.1 Características Físicas

As características do esgoto doméstico são analisadas, com base nas seguintes grandezas:

- Matéria sólida;
- Temperatura;
- Odor;
- Cor;
- Turbidez

A matéria sólida, das características físicas, é a grandeza de maior importância - apesar de representar apenas 0,10% aproximadamente - em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A temperatura é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento, podendo ser muito mais elevadas dependendo da contribuição do esgoto industrial. O aumento da temperatura aumenta a velocidade da decomposição do esgoto, diminui a solubilidade do oxigênio e diminui a viscosidade do efluente, beneficiando assim a sedimentação (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os odores são causados pelos gases formados no processo da decomposição anaeróbia. De forma geral, são odores com as seguintes características: odor de mofo (típico de água residual fresca); odor de ovo podre (típico de água residual séptica, proveniente da decomposição anaeróbia da matéria orgânica); odores variados (depende do tipo de produto que tem naquele esgoto). Odores diferentes desses, geralmente mais específicos, são em decorrência de resíduos industriais (MENDONÇA, 2017).

A água residual não possui uma aparência agradável, além de ser muito perigosa. Isso se deve ao fato do elevado número de organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários, helmintos) causadores de doenças. Por conta dessa aparência, existem fatores que indicam o estado de decomposição do esgoto de forma imediata, aproximadamente, que são a cor e a turbidez (MENDONÇA, 2017).

Se a tonalidade está acinzentada, é uma cor típica de esgoto fresco. Esgoto na cor preta já é típico de velho e parcialmente decomposto. O esgoto pode assumir qualquer cor e isso ocorre devido às cargas de águas residuais industriais.

Já a turbidez não é comumente usada para controle de esgoto bruto, porém pode ser utilizada para caracterizar a eficiência do tratamento secundário, já que pode ser relacionada com a concentração de sólidos em suspensão (JORDÃO; PESSOA, 2011).

3.2.2 Características Químicas

As características químicas do esgoto domiciliar são divididas em dois grupos: matéria inorgânica e matéria orgânica.

➤ MATÉRIA INORGÂNICA

A matéria inorgânica da água residual doméstica é constituída, principalmente, pela presença da areia e de substâncias minerais dissolvidas. O primeiro constituinte deriva das águas de lavagem das cidades, isto é, das águas que vêm das ruas e solos que se infiltram através das juntas das tubulações, chegando nas galerias do esgoto de forma inadequada (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Para o tratamento do esgoto da matéria inorgânica é necessário a retirada de areia, esse processo chama-se de “desarenação” e encontra-se na primeira etapa do tratamento de esgotos, a etapa preliminar, através de caixas de areia, grades e barras (MENDONÇA, 2017).

➤ MATÉRIA ORGÂNICA

Em contraponto a primeira característica química, a matéria orgânica possui uma grande relevância, uma vez que ela é utilizada para o controle da poluição, tendo em vista que a sua presença nas águas residuais interfere diretamente na quantidade de oxigênio dissolvido no esgoto (FIGUEIREDO, 2009).

Cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica. Esses compostos orgânicos são uma combinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio. De acordo com Jordão e Pessoa (2011), as substâncias orgânicas são divididas em grupos de acordo com os compostos de cada um, podendo ser: proteínas, carboidratos ou óleos e graxas.

No esgoto doméstico, essa matéria orgânica ocupa 80% dos sólidos em suspensão e 40% dos sólidos dissolvidos. A análise gravimétrica dos sólidos, inicialmente, era utilizada na quantificação desta matéria presente nas águas. No entanto, em decorrência da imprecisão deste tipo de análise, os métodos indiretos começaram a ser utilizados para obter um parâmetro mais preciso para ser utilizado como referência. Desse modo passou a ser disseminado o uso da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) e a demanda química de oxigênio (DQO) (FIGUEIREDO, 2009).

✓ DBO_5

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) é um método padrão realizado em laboratório com intenção de representar o que ocorre no corpo d'água. O experimento é efetuado durante um período de incubação de 5 (cinco) dias a uma temperatura de 20° C. A

DBO₅ é um parâmetro que determina, de forma indireta, a concentração de matéria orgânica biodegradável através da quantidade de oxigênio consumido para a respiração dos microrganismos no ato de oxidar a matéria orgânica (VALENTE *et al.*, 2000).

A quantificação de matéria orgânica presente no corpo d'água, indicada pelo experimento da DBO, é de extrema importância para que possa conhecer o grau de poluição de uma água residuária. Esse valor é utilizado no dimensionamento das estações de tratamento do esgoto doméstico, bem como serve para medir a eficiência deste, uma vez que quanto maior o índice de DBO₅, maior será a poluição orgânica, sendo o inverso verdadeiro, conforme explica a literatura (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Usualmente, a DBO₅ dos esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg/L, de acordo com a condição do esgoto. Já nos tratamentos secundários, deseja-se atingir ao final uma redução para 20 a 30 mg/L de DBO₅ (JORDÃO; PESSOA, 2011).

✓ DQO

O segundo método é o da Demanda Química de Oxigênio (DQO), utilizado para estimar a concentração de matéria orgânica em termos de concentração de oxigênio consumido para oxidar este componente químico, seja ele biodegradável ou não. Esse experimento, conforme (VALENTE *et al.*, 2000), ocorre em meio ácido e em condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte, comumente sendo utilizado o dicromato.

Esse parâmetro é apenas estimativo, tendo em vista que nos corpos d'águas as condições não são tão energéticas, além de possuírem algumas espécies inorgânicas, tais como nitritos, compostos reduzidos de enxofre e substâncias orgânicas não são oxidadas. A grande vantagem entre a DQO e a DBO₅ é o tempo para realização do experimento, visto que a DQO leva cerca de duas horas para terminar o processo, já a DBO₅, como citado anteriormente, é realizada em cinco dias. Além disso, a DQO é preferível à DBO₅ em situações com despejos industriais, uma vez que valores elevados da relação DQO/DBO são indicativos de despejos industriais menos facilmente biodegradáveis. Outra vantagem é que este método não está sujeito à interferência da nitrificação que pode acontecer na determinação da DBO₅ (VALENTE *et al.*, 2000).

Em contraponto, como desvantagem, a DQO não permite conhecer a parcela da amostra que pode ser oxidada biologicamente. Normalmente, a DQO varia entre 200 e 800 mg/L nos esgotos domésticos, com um valor médio de 400mg/L, e se mantém entre 1,7 e 2,5 vezes o valor da DBO. Se ao final do experimento, a fração entre a DQO com a DBO₅ for inferior a 05 (cinco), o esgoto é considerado biodegradável (JORDÃO; PESSOA, 2011).

3.3 TRATAMENTO DE ESGOTO

O papel desempenhado pelos microrganismos no tratamento de esgotos domésticos depende do procedimento a ser utilizado. No caso do tratamento biológico, a metodologia ocorre inteiramente por mecanismos biológicos. Este método busca reproduzir os processos naturais que acontecem nos corpos d'águas após o lançamento de despejos. No corpo d'água ocorre o processo de autodepuração, que consiste em converter a matéria orgânica em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais (VON SPERLING, 1996).

A estação de tratamento de esgoto serve para que ocorra o mesmo fenômeno, porém com tecnologia aplicada para que o processo seja mais rápido, com condições controladas para uma melhor eficiência e em taxas mais elevadas para uma solução mais compacta (VON SPERLING, 1996).

A escolha do grau do tratamento de esgoto e da sua eficácia dependem do corpo receptor, pois são suas características, sua capacidade de autodepuração e diluição do corpo d'água, e as consequências do lançamento de águas residuais que vão definir os parâmetros a serem utilizados. Existem muitas alternativas para o tratamento, como a utilização de processos biológicos ou mesmo físico-químicos. No entanto, atualmente, grande parte das estações de tratamento de esgotos domésticos fazem o uso de processos biológicos (MENDONÇA, 2017).

As principais etapas do tratamento dos esgotos domésticos são: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

O tratamento preliminar tem como função remover os sólidos suspensos grosseiros e os sólidos suspensos fixos (principalmente areia). Para essa remoção são utilizadas grades, barras, remoção manual, peneiras e “desarenadores”, também chamados de caixas de areia (MENDONÇA, 2017).

O tratamento primário visa a remoção dos sólidos sedimentáveis e de parte da matéria orgânica, através da decantação primária, feita em tanques convencionais, com remoção frequente do lodo e também pode ser feito por fossas sépticas (VON SPERLING, 1996).

O tratamento secundário tem como objetivo a degradação da matéria carbonácea. Nessa etapa, as bactérias que realizam o tratamento, a partir da sua reprodução com o objetivo de se obter um aumento total em sua massa devido a matéria orgânica degradada, ou seja, nessa fase ocorre uma redução da matéria orgânica e a produção de lodo através das bactérias. Na grande maioria as ETEs só chegam até o nível de tratamento secundário (MENDONÇA, 2017).

Contudo existem casos que é obrigatório o tratamento terciário, pois devido as altas cargas de nitrogênio e fósforo pode ocorrer a eutrofização do corpo receptor. O tratamento

terciário, também conhecido por tratamento avançado, tem como objetivo a remoção de nutrientes – o nitrogênio e o fósforo – e também a desinfecção e a remoção de compostos tóxicos e contaminantes específicos (MENDONÇA, 2017). No Quadro 1, pode-se ver de forma resumida as etapas do tratamento de efluentes domésticos e seus principais objetivos.

Quadro 1 - Etapas do tratamento de esgoto

| Nível | Remoção |
|--------------|--|
| Preliminar | Sólidos suspensos grosseiros e arena Sólidos suspensos sedimentáveis |
| Primário | DBO suspensa (matéria orgânica componente dos sólidos suspensos sedimentáveis) |
| Secundário | DBO suspensa (matéria orgânica suspensa fina, não removida no tratamento primário) DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos) Nutrientes Organismos |
| Terciário | Metais pesados Sólidos inorgânicos dissolvidos Sólidos suspensos remanescentes |

Fonte: Mendonça (2017)

3.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

No tratamento do esgoto doméstico, as lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (JORDÃO; PESSOA, 2011).

O tratamento de efluentes através das lagoas de estabilização tem três objetivos: remover a matéria orgânica que ocasionam a contaminação; eliminar os microrganismos patogênicos que representam um grave perigo para a saúde; e utilizar o efluente para reuso, como agricultura, como exemplo (MENDONÇA, 2017).

As vantagens do sistema de lagoas são as seguintes: o baixo custo; não necessitam de componentes importados; consumo energético nulo; simples de serem construídos e operados; adaptam-se facilmente a variações sazonais; têm elevada estabilização da matéria orgânica; produzem efluente de alta qualidade com excelente redução de microrganismos patogênicos; entre outras. A desvantagem desse tipo de procedimento é que necessita de mais terreno do que qualquer outro tipo de tratamento de esgoto (MENDONÇA, 2017). As lagoas costumam ser classificadas de acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, são elas:

- Anaeróbias;
- Facultativas;
- Estritamente aeróbias;
- De maturação;
- De polimento;
- Aeradas;
- Com macrófitas

Dentre as classificações, destacam-se dois tipos, que são mais utilizadas para o tratamento de esgoto doméstico, que são: lagoas anaeróbias e facultativas.

Na lagoa de estabilização do tipo facultativa, as algas possuem uma função essencial, uma vez que produzem o oxigênio necessário por meio da fotossíntese. Nesse caso, o tratamento é realizado para que se otimize a presença das algas na água residual, trazendo um equilíbrio adequado entre a quantidade delas e de bactérias (VON SPERLING, 1996). Essas lagoas são as mais utilizadas e são chamadas de facultativas por conta das condições aeróbias mantidas na superfície, em que liberam oxigênio, e das condições anaeróbias mantidas na parte mais inferior da lagoa, local em que a matéria orgânica é sedimentada (MENDONÇA, 2017).

Em segunda posição, tem-se as lagoas classificadas como anaeróbias, sua característica principal é o desenvolvimento favorável de microrganismos adaptados à ausência de oxigênio nas águas residuais (VON SPERLING, 1996). Sempre que possível, as lagoas anaeróbias são projetadas para que trabalhem em conjunto com as lagoas facultativas ou aeradas mecanicamente. Por não necessitarem da ação da fotossíntese, esse tipo de lagoa pode ser construído com profundidades maiores do que as demais (MENDONÇA, 2017).

3.5 FITORREMEDIAÇÃO

Para auxiliar o tratamento dos esgotos domésticos, existem tecnologias utilizadas para buscar aumentar a eficácia do tratamento, uma dessas tecnologias é a fitorremediação. Trata-se de uma tecnologia que faz o uso de plantas como agente de descontaminação de águas, solos ou subsolos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Os poluentes orgânicos, dependendo de suas propriedades, podem ser degradados na zona radicular das plantas, ou então quando absorvidos podem ser volatilizados pelas mesmas. Poluentes inorgânicos – como o nitrato, fosfato, cromo, cobre e o zinco – por sua vez não podem ser degradados, mas sim fitorremediados via estabilização ou sequestro nos tecidos de plantas (LAMEGO; VIDAL; 2007).

As principais vantagens desse tratamento são: o baixo custo; pode ser aplicada em grandes áreas contaminadas; e a possibilidade de realizar o tratamento *in situ*, sendo essa maneira menos agressiva ao meio ambiente. Para a aplicação desse método, é necessário conhecer o tipo de poluente, sua concentração e a presença de toxinas no local, além disso é importante conhecer o metabolismo do sistema vegetal a ser implantado (OLIVEIRA *et al*, 2006).

A fitorremediação pode ser classificada com base na técnica que será utilizada, e depende da natureza dos agentes poluidores e da natureza química (VIEIRA *et al*, 2010). A classificação se dá pelos seguintes processos: Fitoextração; Fitoestimulação; Fitotransformação (Fitovolatilização e Fitodegradação); Fitoestabilização; Rizofiltração (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Um dos principais mecanismos da fitorremediação, aplicado no tratamento de efluentes é a rizofiltração. Trata-se de uma técnica em que são utilizadas plantas com a finalidade de promover a remoção dos contaminantes de um meio aquoso.

Nesse processo, utiliza-se um sistema hidropônico, em que as raízes das plantas permanecem em contato com o efluente, com isso ocorre a absorção e concentração dos contaminantes. O sistema radicular tem a função semelhante de um filtro mecânico, retendo material orgânico e mineral. A utilização de plantas aquáticas é justificada pela grande absorção de nutrientes, o rápido crescimento, a possibilidade de aproveitamento da biomassa e a facilidade da retirada das lagoas (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Os sistemas “wetlands” – zonas úmidas – têm sido uma opção viável na escolha para o tratamento de esgoto, por meio da rizofiltração. Esse sistema tem sido escolhido pela sua natureza simples, de fácil operação e por sua boa rentabilidade técnico-econômica. Nele, as plantas cultivadas em tanques, absorvem os sólidos suspensos, metais e patógenos (LAMEGO; VIDAL; 2007). Com base nisso, o sistema de *wetlands* possui uma variação, que segue na mesma linha de funcionalidade, que são os jardins flutuantes.

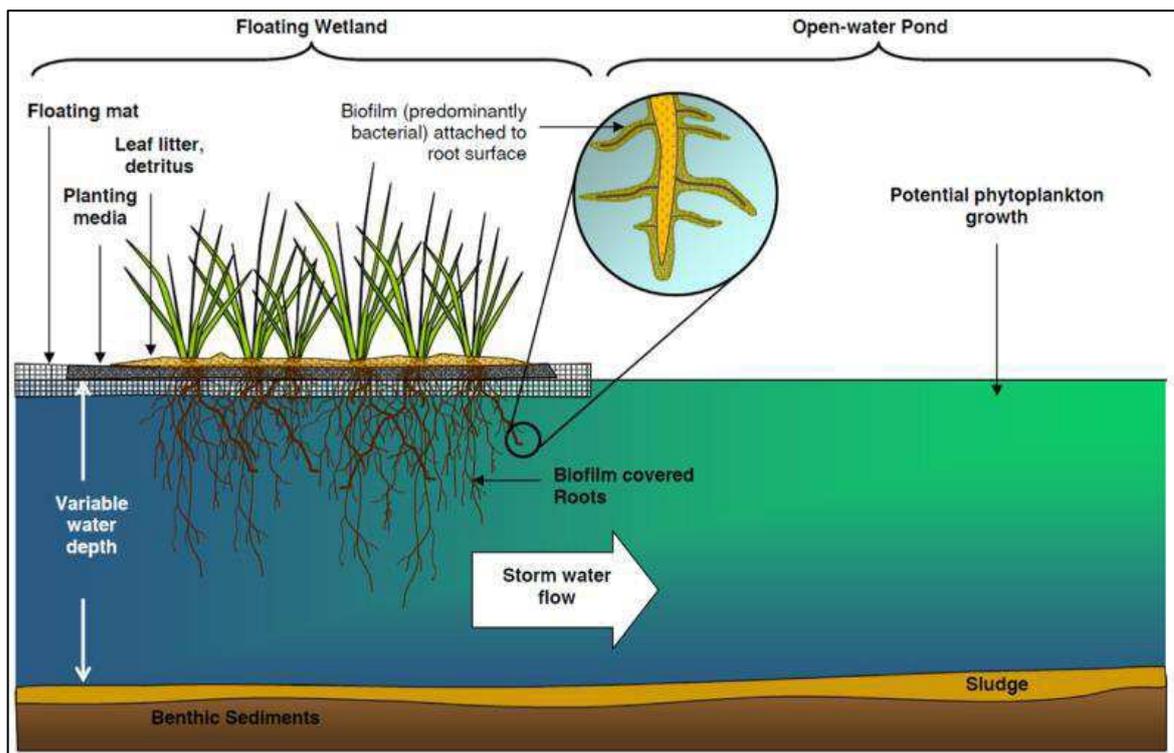
3.5.1 Jardins Flutuantes

O sistema de jardins flutuantes é uma das variações das “ilhas flutuantes artificiais”, que nada mais são do que plantas que servem para fazer a fitorremediação, porém construída com mecanismos de controle. As ilhas flutuantes artificiais vêm sendo utilizadas para a melhoria da qualidade da água. As plantas ficam com uma parte submersa, parte essa de extrema importância no sistema, pois conforme a água passa por ela os poluentes ficam retidos, através da absorção de nutrientes e metais, a sedimentação de contaminantes e também o

aprimoramento da floculação da matéria em suspensão. Ademais, as ilhas flutuantes melhoram as condições anaeróbias do ambiente aquático (YEH, 2015).

As ilhas flutuantes naturais existem em locais com a possibilidade do crescimento em excesso da planta, aumentando sua taxa de decomposição, em que a flutuabilidade é mantida por meio de gases presos dentro de uma matriz de material vegetal parcialmente decomposto e vivo. Mas a maioria dos outros sistemas é construído em uma estrutura com material flutuante (bambu, PVC, poliestireno, etc.), os quais são suportados por cabos presos às margens, ou construídos a partir de plantio sem solo, que depende da espessura do meio do plantio e das espécies de plantas emergente empregadas, as raízes podem estar completamente contidas no meio ou estender-se diretamente na coluna d'água (FAULWETTER et al., 2011). A representação de uma ilha flutuante é demonstrada na Figura 2.

Figura 2- Representação do esquema de uma ilha flutuante



Fonte: Adaptado de HARDING (2009).

As ilhas flutuantes ocorrem naturalmente em uma variedade de corpos d'água, esse sistema consiste em uma esteira orgânica flutuante espessa que favorece o crescimento das plantas. A parte superior do tapete é a zona radicular, composta por raízes. Sob essa zona existe a camada de turfa, que possui turfa decomposta e detritos de plantas em decomposição, cuja espessura é determinada pela profundidade de enraizamento das plantas. Abaixo da camada de

turfa existe uma zona de água livre em que a profundidade varia de acordo com o nível de água do corpo d'água (YEH, 2015).

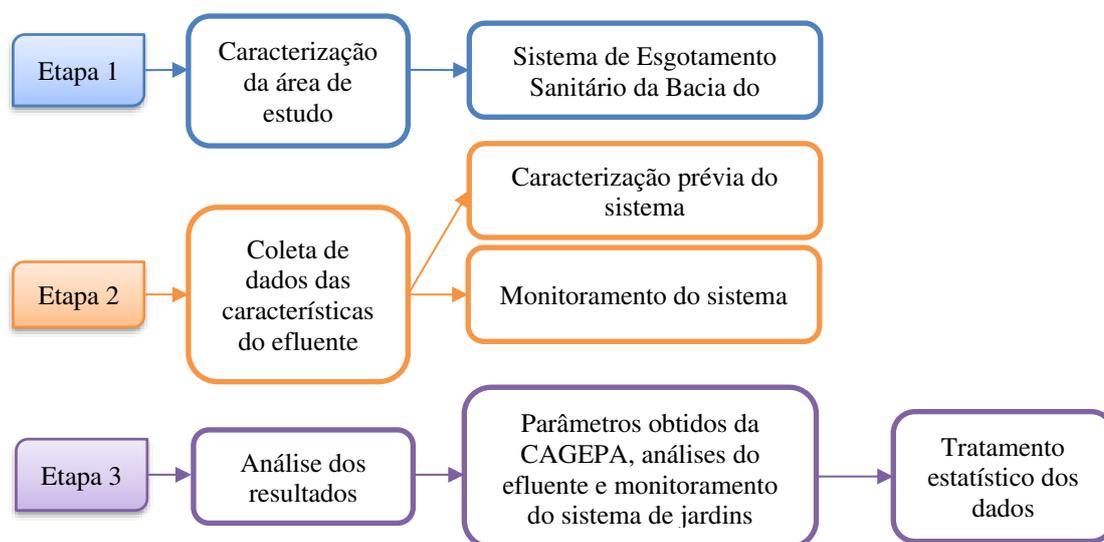
Ainda de acordo com Yeh et al. (2015), existem diferentes nomenclaturas para as ilhas artificiais flutuantes (*Artificial Floating Islands – AFI*), que variam de acordo com a sua escala, complexidade ou até mesmo a preferência dos autores das pesquisas, esses nomes são: leitos flutuantes artificiais/*wetlands*, *wetlands* de tratamento flutuante (*Floating Treatment Wetland - FTW*), sistemas de jardins flutuantes, sistema flutuante integrado, leito flutuante ecológico integrado (*Integrated Ecological Floating Bed - IEFB*) e assim por diante. No presente trabalho será nomeado como sistemas de jardins flutuantes (SJF).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos propostos, optou-se pelo método indutivo e sistemático, uma vez que a pesquisa ocorreu com base na análise do uso de jardins flutuantes na redução de carga orgânica na Estação de Tratamento de Esgoto no bairro do Glória, da cidade de Campina Grande/PB, bem como com a reunião de informações sobre o tema. Partindo, portanto, deste caso específico para, com isso, chegar-se a uma conclusão sobre este método de tratamento.

Além disso, do ponto de vista procedimental, utilizou-se a pesquisa de campo e o método experimental como forma de aprofundar o tema, onde se observou a eficiência da fitorremediação do sistema de jardins flutuantes no tratamento de esgotos da cidade de Campina Grande/PB para coleta de dados, análise e interpretação dos resultados, de maneira a garantir a compreensão prática da pesquisa realizada.

Figura 3 – Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021).

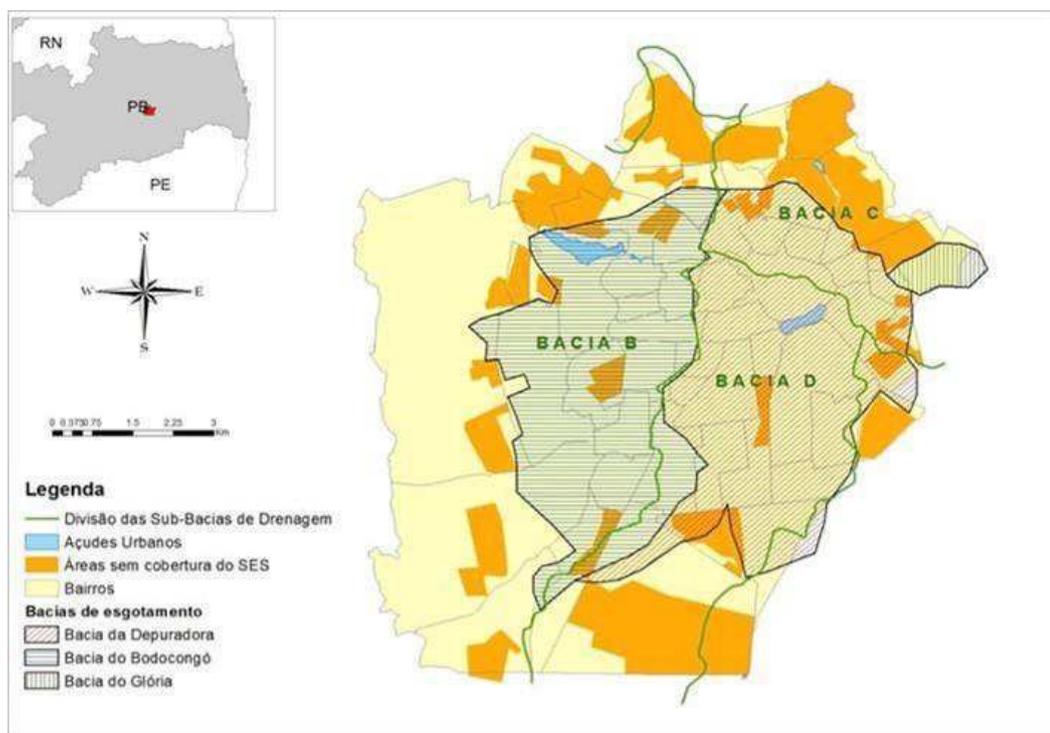
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na estação de tratamento de esgoto do bairro Glória, na cidade de Campina Grande, Paraíba - Brasil. De acordo com a estimativa do IBGE em 2021, a cidade possui uma população de 411.807 habitantes, com área territorial de 591,658 km² e densidade demográfica de 648,31 hab/km² (IBGE, 2021).

Segundo o Instituto Trata Brasil (ITB, 2021) no Ranking do Saneamento Básico de 2021, que tem como base o SNIS (2019) e avalia os serviços de água e esgoto dos 100 municípios mais populosos do país, Campina Grande ocupa a 22^a posição nacional, a 2^a do Nordeste – atrás apenas de Vitória da Conquista (BA) – e a 1^a do estado da Paraíba.

Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2014), o Sistema de Esgotamento Sanitário da cidade Campina Grande é composto pelas bacias do Bodocongó, Depuradora e Glória que estão inseridas, em sua totalidade, nas áreas de abrangência das três sub-bacias do Sistema de Drenagem Pluvial (Figura 4).

Figura 4- Bacias do esgotamento da cidade de Campina Grande - PB



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2015).

Ainda que a cidade de Campina Grande esteja bem colocada no Ranking do Saneamento Básico, existem grandes áreas urbanas que não possuem rede coletora. Nessas áreas predominam os sistemas individuais, incluindo a deposição inadequada dos efluentes a céu aberto, valas, riachos, córregos e nos canais de drenagem pluvial (LOPES, et al. 2016).

Outro problema do sistema está no fato de que cerca de 97% do esgoto coletado pelas bacias de captação de Bodocongó e da Depuradora, estão sendo desviados de seu tratamento planejado, quer seja por falta de manutenção do sistema, por ligações clandestinas de esgotos às redes pluviais ou pelo desvio de esgoto bruto para irrigação de cultivos. Dessa forma, apenas 3% da vazão total do esgoto transportado pelo Interceptor do Bodocongó chegam ao processo de tratamento, comprometendo todo o sistema de esgotamento sanitário dessas principais bacias (GOMES, 2013).

4.1.1 Esgotamento Sanitário da Bacia do Glória

A bacia do Glória foi a escolhida para este trabalho devido seu tamanho reduzido, bem como pelo fato de possuir como etapa de tratamento uma lagoa anaeróbia, reproduzindo as condições normalmente encontradas em sistemas descentralizados, e pela sua localização para acesso e instalação dos jardins flutuantes.

A ETE do bairro Glória (Figura 5), em funcionamento desde 2006, foi construída para tratar efluentes domésticos provenientes dos bairros da zona leste da cidade de Campina Grande-PB, abrangendo os bairros Glória I, Glória II e uma parcela dos bairros Belo Monte e Jardim América. A ETE foi projetada e construída com tratamento preliminar (grade de barras e caixa de areia), também é composta por uma calha Parshall e duas lagoas de estabilização, sendo uma anaeróbia (destacado em azul), com profundidade de 3,5 m e área 1290,97 m², e uma facultativa secundária (destacado em amarelo), com profundidade de 2,0 m e área de 3326,26 m² (LIMA et al., 2016).

Figura 5 - Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Glória

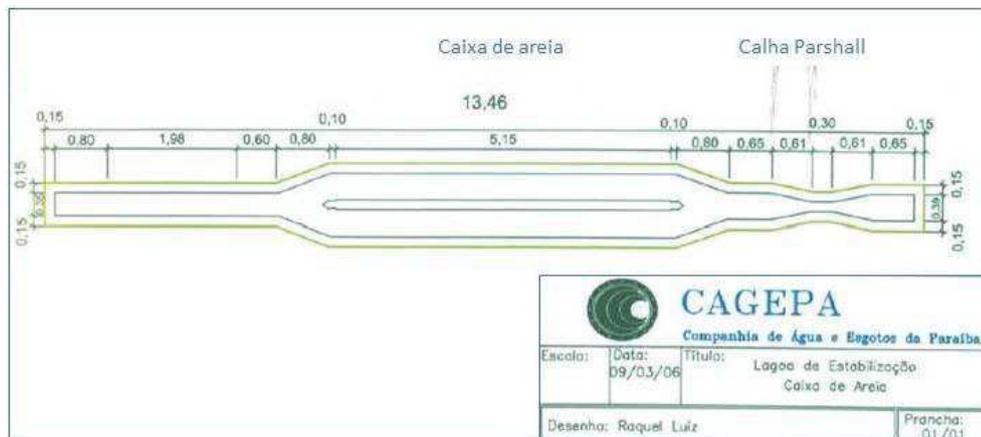


Fonte: Adaptado do Google Earth (2021).

A caixa de areia é constituída por dois canais paralelos com 5,15 m de comprimento, largura 0,40 m e profundidade do depósito de areia de 0,23 m. Para a medição da vazão, a estação conta com uma calha Parshall de garganta $W = 6''$ (15 cm), cuja vazão mínima é 1,4 l/s e a máxima 107 l/s (CAGEPA, 2005, apud, ARAÚJO, 2007). O detalhamento da caixa de areia e da calha Parshall podem ser observados na planta do projeto na Figura 6.

O tratamento secundário é realizado em duas lagoas de estabilização, sendo uma anaeróbia e outra facultativa secundária. A lagoa anaeróbia recebe o esgoto vindo do tratamento preliminar por uma tubulação submersa, de ferro fundido com diâmetro de 300 mm, estando o nível de descarga da tubulação a 60 cm do fundo da lagoa. Posteriormente, o efluente desta lagoa passa por um dispositivo de saída e escoar por um canal de passagem, que alimenta a lagoa facultativa através de quatro pontos de entrada construídos com tubulação de ferro fundido submersa de 200 mm de diâmetro, sendo o nível de descarga da tubulação igualmente a 60 cm do fundo da lagoa (ARAÚJO, 2007).

Figura 6 - Planta de tratamento preliminar da ETE do Glória, Campina Grande - PB



Fonte: Acervo CAGEPA (2005).

Por fim, o efluente da lagoa facultativa é descarregado através de um dispositivo de saída, constituído por uma caixa de concreto colocada junto ao dique no ponto de descarga onde existe um vertedor triangular. Da soleira da caixa, uma canalização transporta o efluente final para o corpo receptor, o riacho Cardoso que, atualmente, recebe águas pluviais, águas residuais tratadas e não tratadas de parte dos bairros que não possuem sistema de esgotamento sanitário, além de parte do esgoto que chega à estação, mas não entra nas lagoas por problemas na manutenção (ARAÚJO, 2007). As especificidades dos projetos das lagoas anaeróbica e facultativa secundária da Estação de Tratamento de Esgoto do Glória são apresentadas na Tabela 2.

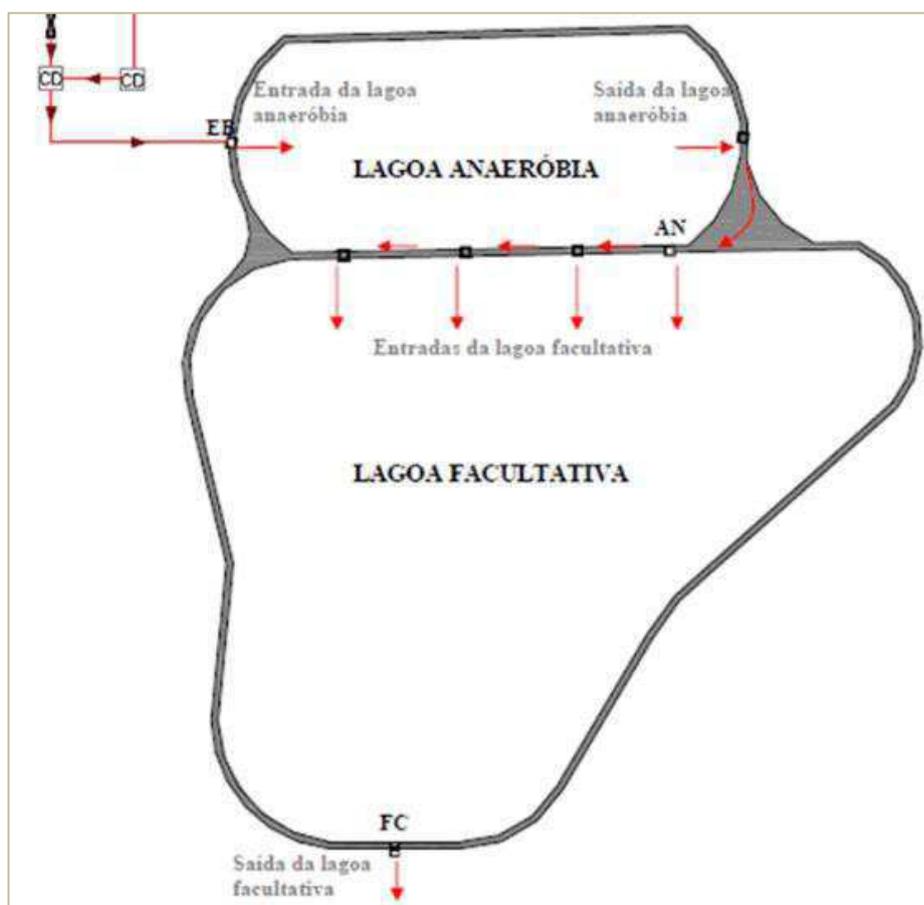
Tabela 2 - Especificidades dos projetos das lagoas que compõem a ETE do Glória

| Características | Lagoa anaeróbia (AN) | Lagoa facultativa (FC) |
|---|----------------------|------------------------|
| Área (m ²) | 1.020 | 3.362 |
| Volume (m ³) | 3.570 | 6.724 |
| Profundidade (m) | 3,5 | 2 |
| Vazão média afluyente (m ³ /dia) | 1.019,52 | 1.019,52 |
| TDH (dias) | 3,5 | 6 |
| Carga orgânica superficial (kgDBO ₅ /há.dia) | - | 410 |

Fonte: CAGEPA (2005 apud ARAÚJO, 2007).

Estão identificadas, na Figura 7, as etapas que contemplam o tratamento feito na estação e a localização dos pontos de entrada e saída dos efluentes bruto e tratado.

Figura 7 - Projeto da ETE do Glória, Campina Grande - PB



Fonte: Araújo (2007).

4.2 SISTEMA DE JARDINS FLUTUANTES

Este trabalho acompanhou o comportamento de um sistema de jardins flutuantes em funcionamento, a partir do segundo ano após a instalação e após a mudança da configuração do sistema, esse sistema foi iniciado em 2019 como projeto da tese de doutorado de Elis Gean

Rocha, e todas as etapas de construção foram realizadas no ano da instalação, apenas algumas mudanças foram realizadas no ano de 2021. As estruturas flutuantes foram construídas de poliestireno expandido (EPS), material que foi estudado por Ijaz et al. (2015), onde foram cortadas em formato retangular com covas para a inserção das plantas de acordo com o padrão de crescimento de cada espécie (Figura 8).

Nos substratos foram utilizados materiais de composição orgânica e inorgânica. As variações da composição do substrato de acordo com a planta e a fileira estão descritas no Quadro 1.

Essa variação foi feita para melhor avaliar a eficiência de cada composição do jardim flutuante no tratamento do efluente através das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras. Importante destacar que nesse sistema, se utiliza o bagaço da cana-de-açúcar que passou por um processo de desfibramento realizado em equipamento adequado, semelhante a uma forrageira, posteriormente, a fibra foi seca ao ar livre e utilizada nos substratos mistos.

Figura 8 - Processo de construção e preparação das placas de EPS para os jardins flutuantes.



Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 2 - Detalhamento dos substratos mistos utilizados em cada jardim flutuante

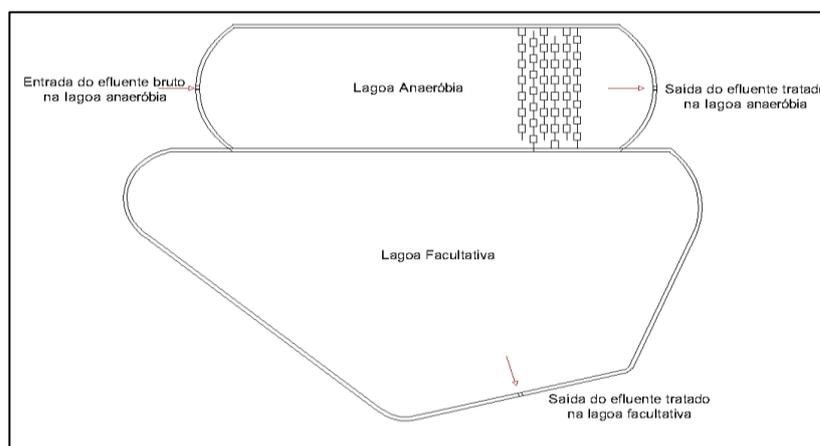
| Fileira | Planta | Substrato orgânico | Substrato inorgânico |
|---------|--|--|--|
| 1 | <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) | Fibra de cana de açúcar (0,12 m ³) | EPS triturado (0,06 m ³) Brita (0,04 m ³) |
| 2 | <i>Tradescantia zebrina</i> (coração-roxo) | Fibra de cana de açúcar (0,09 m ³) Fibra de coco (0,09 m ³) | Brita (0,04 m ³) |
| 3 | <i>Callisia fragrans</i> (planta de cestos) | Fibra de cana de açúcar (0,09 m ³) Fibra de coco (0,09 m ³) | Brita (0,04 m ³) |
| 4 | <i>Canna x generalis</i> (Biri/Cana da Índia) | Fibra de cana de açúcar (0,18 m ³) | Brita (0,04 m ³) |
| 5 | <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (Taioba) | Fibra de cana de açúcar (0,18 m ³) | Brita (0,04 m ³) |
| 6 | <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) | Fibra de cana de açúcar (0,12 m ³) | EPS triturado (0,06 m ³) Brita (0,04 m ³) |

Fonte: Autoria própria (2021).

As plantas utilizadas nesse projeto foram coletadas no *campus* Sede da Universidade Federal de Campina Grande e cedidas pela Prefeitura Universitária, a saber: *Cyperus papyrus* (papiro), *Tradescantia zebrina* (coração-roxo), *Callisia fragrans* (planta de cestos), *Canna x generalis* (biri/cana-da-Índia) e *Xanthosoma sagittifolium* (taioba) (Quadro 2). Das cinco espécies utilizadas, apenas a *Callisia fragrans* (planta de cestos), não havia sido estudada em projetos anteriores realizados no Laboratório de Saneamento da UFCG.

Para o processo de montagem, cada jardim seguiu uma mesma sequência. Todos foram construídos na própria ETE para facilitar a instalação do jardim na lagoa, devido seu volume, e também para evitar perda de material. Na primeira etapa o sistema foi instalado em fileiras espaçadas a cada 10 m, após um ano de avaliação, essa configuração foi alterada para a forma de barreira (Figura 9). Configuração na qual esse trabalho acompanhou e analisou os dados (Figura 10).

Figura 9 - Configuração atual do sistema de jardins flutuantes na lagoa anaeróbica



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 10 - Fotos durante o acompanhamento do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

4.3 MONITORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE

Após a reconfiguração do sistema de jardins flutuantes, foi realizado o monitoramento quinzenal, por meio de coletas de amostras do efluente, a fim de avaliar os parâmetros de temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, DBO₅ e DQO, seguindo a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, para assim determinar a eficiência dos jardins quanto à remoção de matéria orgânica na lagoa anaeróbia, conforme apresentado no Quadro 3.

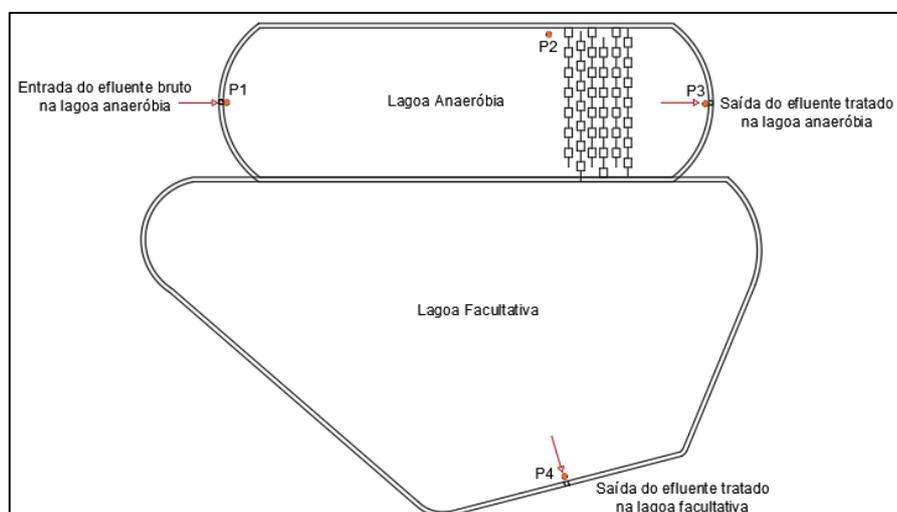
Quadro 3 - Métodos de ensaio dos parâmetros de qualidade da água analisados segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

| Parâmetro | Método |
|------------------------|-------------------------------------|
| Temperatura | Termômetro de mercúrio |
| pH | Método Instrumental – pHmetro |
| Turbidez | Determinação por turbidímetro |
| Condutividade Elétrica | Método instrumental condutivímetro |
| Oxigênio Dissolvido | Winkler modificado pela AZIDA |
| DBO ₅ | Método Padrão Modificado – Oxímetro |
| DQO | Método da refluxação fechada |

Fonte: Autoria própria (2021).

As coletas de monitoramento ocorreram no período da manhã, a cada 15 dias, do mês de dezembro de 2020 até agosto de 2021, foi realizado um total de 15 (quinze) coletas, para análise da eficiência do sistema de jardins flutuantes na redução de matéria orgânica e melhoria da qualidade da água em lagoas anaeróbias. Foram posicionados 3 pontos de coleta (PC) distribuídos ao longo da lagoa anaeróbia, o P1 na entrada de efluente, o P2 antes do sistema de jardins flutuantes e o P3 na saída do efluente, além de um último ponto (P4) na saída do efluente na lagoa facultativa (Figura 11).

Figura 11 - Localização dos pontos de coleta de efluente nas lagoas de estabilização em 2021



Fonte: Autoria própria (2021)

Nesse processo de análise, após a coleta da amostra, é auferida a temperatura do efluente *in situ*, e o oxigênio fixado nos frascos de DBO. As amostras são acondicionadas em cooler com gelo e transportadas para o Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande – PB, onde as demais análises foram realizadas.

Para que fosse possível analisar os dados obtidos de forma mais segura e precisa, dentro do limite dos equipamentos e esforços, foi realizado o experimento em triplicata para conseguir obter um valor representativo entre os três, além disso, para a realização dos cálculos, os dados que, por algum motivo, deram errado foram excluídos.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

No procedimento estudado, após a etapa da coleta, foi utilizado a estatística descritiva, para descrever e sumarizar o conjunto de dados, a partir disso construiu-se gráficos e tabelas, para que fosse realizado as comparações entre os dados obtidos a cada coleta.

Todos os dados coletados passaram por uma análise descritiva, cálculo de média, desvio padrão e coeficiente de variação, além da determinação de máximos, mínimos, mediana e outliers. Os gráficos do tipo *boxplot* foram construídos para comparação dos dados ponto a ponto, devido à grande variabilidade sazonal encontrada.

O gráfico em *boxplot* apresenta um diagrama em forma retangular, que utiliza os valores máximos, mínimos, primeiro e terceiro quartil, mediana e outliers dos dados a serem analisados. A faixa central do gráfico contém os valores que estão entre o primeiro e o terceiro quartil, ou seja, que estão entre 25 e 75% da amostra, além de indicar a posição da mediana. Outlier é o nome que se dá para os valores que não são representativos, com base nos demais dados analisados, eles indicam uma anomalia. Esse tipo de gráfico é excelente para verificar a dispersão dos dados, além de obter uma amostra representativa de como sua amostra se comporta diante das várias coletas de dados.

Para buscar entender se o sistema de jardins flutuantes, implantado na ETE do Glória, obteve sucesso no objetivo de otimizar o tratamento realizado pelas lagoas de estabilização, comparou-se os dados registrados antes e depois da implantação do sistema. Para tanto, foram utilizados os dados de monitoramento da CAGEPA, empresa responsável pela operação da estação, dos anos de 2017 e 2018.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PRÉVIA

Inicialmente é importante salientar que após o primeiro ano de monitoramento do sistema de jardins flutuantes, houve uma interrupção no projeto devido as restrições causadas pela pandemia da Covid-19. Assim, entre março e dezembro de 2020 o sistema ficou parado, sem manutenção e ajustes. Em dezembro de 2020, ao retomar as atividades, foram realizadas três coletas de reconhecimento para caracterizar o efluente antes da remodelação do sistema.

Para essa caracterização prévia, foram coletadas amostras em três pontos (P1, P3 e P4), o P2 não foi coletado pois em dezembro a disposição dos jardins na lagoa era diferente da atual, e avaliados os mesmos parâmetros de monitoramento do projeto descritos no item 4.3, com exceção da DBO, tendo em vista que houve problemas na obtenção dos dados, tanto por erros de procedimento e leitura, como por problemas com a incubadora do laboratório. Os dados podem ser observados a seguir (Tabela 3).

- Temperatura

Tabela 3 - Temperatura média na caracterização prévia do sistema

| Temperatura | | | |
|--------------|--------|--------|--------|
| Ponto/Coleta | 11/dez | 16/dez | 18/dez |
| 1 | 27,00 | 30,00 | 29,00 |
| 2 | - | - | - |
| 3 | 27,00 | 28,00 | 27,00 |
| 4 | 27,00 | 29,00 | 28,00 |
| Média | 27,00 | 29,00 | 28,00 |

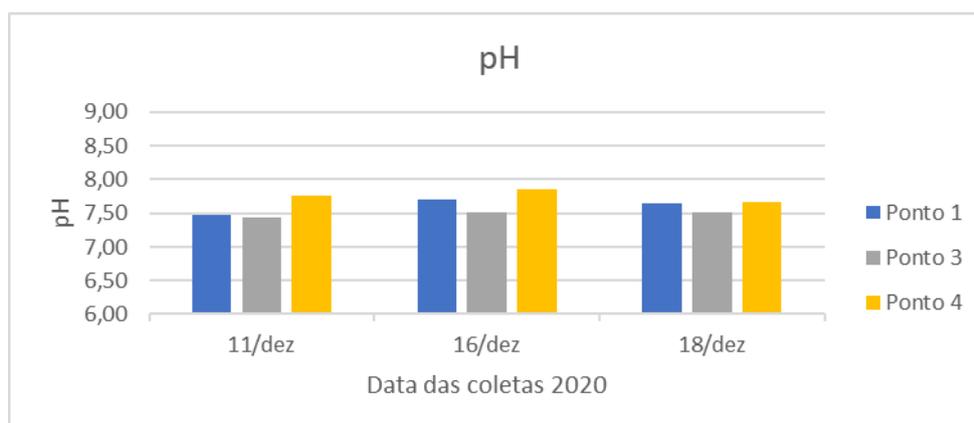
Fonte: Autoria própria (2021).

A temperatura média no período de caracterização do sistema variou de 27 °C a 29 °C, sendo a menor temperatura na primeira coleta (dia 11 de dezembro), e a maior na segunda (dia 16 de dezembro).

- pH

No período de caracterização, o pH sofreu uma redução do P1 para o P3, e um aumento para o P4, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - pH na caracterização prévia do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

O P1 obteve um valor mínimo de 7,47 na primeira coleta e uma máxima de 7,70 na segunda coleta. O P3 teve mínima de 7,43 também na primeira coleta, mas teve máxima de 7,52 na terceira coleta. Por fim, o P4 registrou valor mínimo na última coleta, que foi de 7,67, e o máximo na segunda coleta, com valor de 7,86

Com base nos registros feitos, é possível analisar a dispersão em termos relativos ao valor médio, de acordo com o Coeficiente de Variação (CV), como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - pH na caracterização prévia do sistema

| pH na Caracterização Prévia | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| pH mínimo | 7,47 | 7,43 | 7,67 |
| pH máximo | 7,70 | 7,52 | 7,86 |
| Média | 7,60 | 7,49 | 7,76 |
| Desvio Padrão | 0,10 | 0,04 | 0,08 |
| CV (%) | 1,28 | 0,54 | 1,00 |

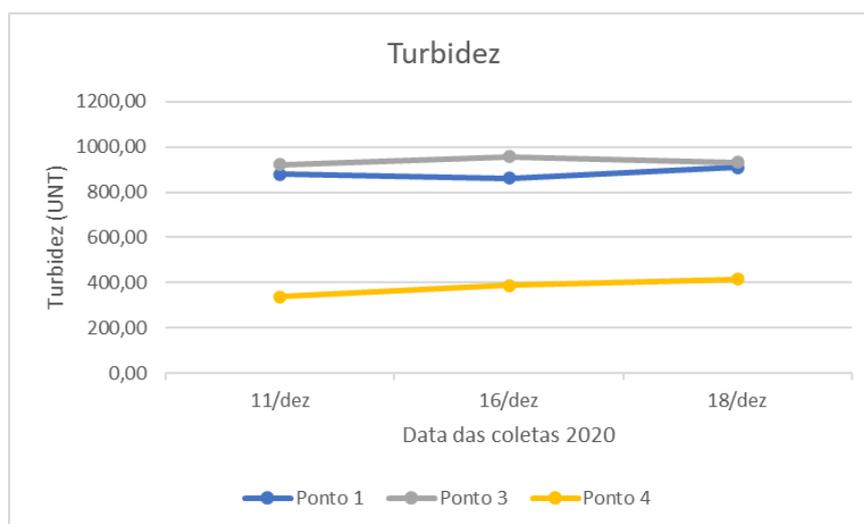
Fonte: Autoria própria (2021).

A maior dispersão ocorreu no P1, no valor de 1,28%, demonstrando que houve pouca alteração nos valores de pH durante o período da caracterização.

- Turbidez

A turbidez no P1 permaneceu menor que a turbidez do P3, e ambos os pontos de coleta registraram valores maiores que o P4, localizado na saída da lagoa facultativa (Figura 13).

Figura 13 - Turbidez na caracterização prévia do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 5, mostra a dispersão dos dados coletados para a turbidez na caracterização prévia do sistema. É possível identificar que o P4 obteve o maior CV dentre todos os três pontos coletados, com o valor de 8,37%, o que indica que houve uma alteração relevante nos valores obtidos, visto que registrou valor mínimo de 338 UNT e máximo de 415 UNT.

Tabela 5 - Turbidez na caracterização prévia do sistema

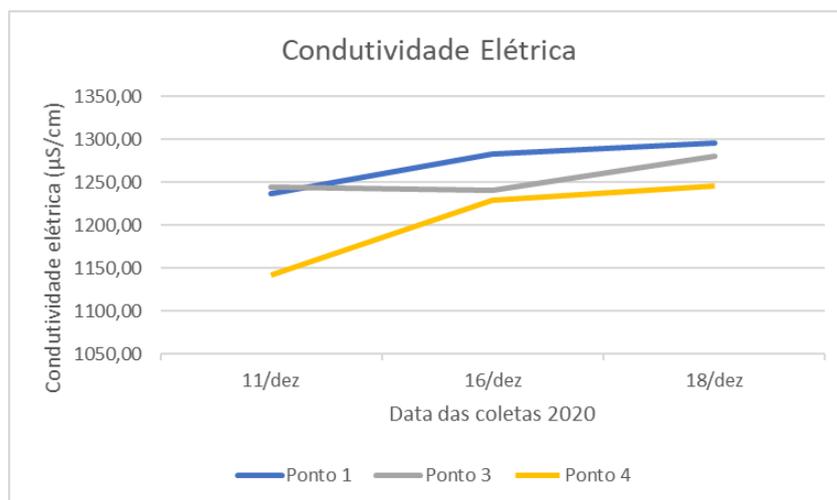
| Turbidez na Caracterização Prévia | | | |
|--|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Turbidez mínimo | 862 | 921 | 338 |
| Turbidez máximo | 908 | 957 | 415 |
| Média | 883 | 936 | 380 |
| Desvio Padrão | 18,99 | 15,17 | 31,82 |
| CV (%) | 2,15 | 1,62 | 8,37 |

Fonte: Autoria própria (2021).

- Condutividade elétrica

A caracterização prévia do sistema foi analisada e representada na Figura 14 e na Tabela 6, nelas pode-se observar que entre a primeira coleta e a última, todos os pontos coletados sofreram aumento da condutividade elétrica. O PC 03, na segunda amostra demonstrou uma pequena redução, mas logo em seguida ocorreu um aumento no último registro.

Figura 14 - Condutividade elétrica na caracterização prévia do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 6 - Condutividade Elétrica na caracterização do sistema

| Condutividade Elétrica na Caracterização Prévia | | | |
|---|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Condutividade Elétrica mínimo | 1237 | 1240 | 1142 |
| Condutividade Elétrica máximo | 1296 | 1280 | 1246 |
| Média | 1272 | 1254 | 1205 |
| Desvio Padrão | 25,31 | 17,99 | 45,55 |
| CV (%) | 1,99 | 1,43 | 3,78 |

Fonte: Autoria própria (2021).

- Oxigênio Dissolvido

A Tabela 7, apresenta os dados coletados na caracterização prévia. É possível identificar que o P1 registrou valores de OD, sendo o maior registro de 2,9 mg/L, mas no ponto de saída da lagoa anaeróbia (P3) o valor encontrado foi de 0 mg/L, em todas as amostras. Contudo, na lagoa facultativa, o OD voltou a aparecer, em duas das três amostras coletadas, apesar de serem valores baixos, registrando o máximo de 2,7 mg/L.

Tabela 7 - Oxigênio Dissolvido na caracterização prévia do sistema

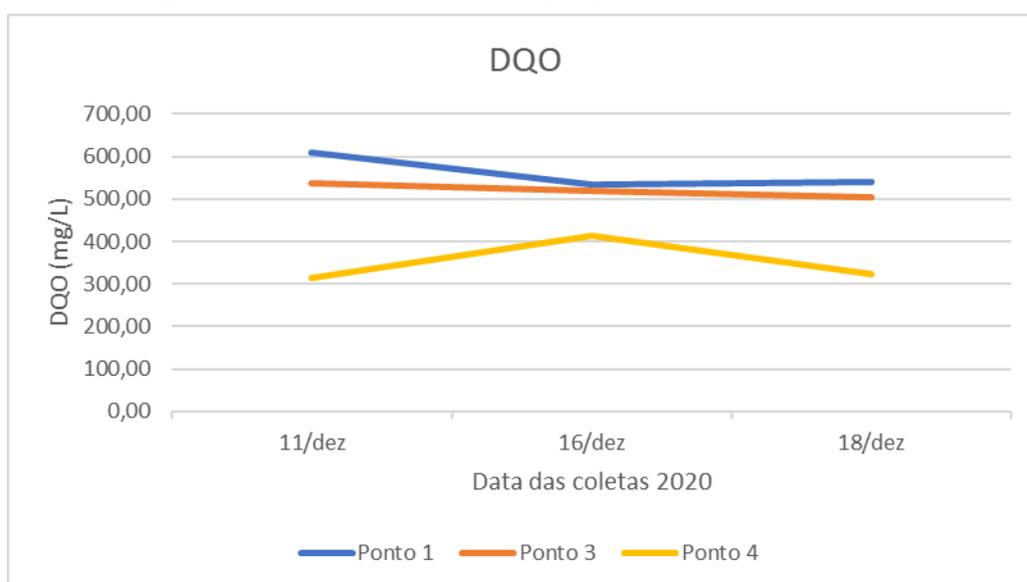
| Oxigênio Dissolvido na Caracterização Prévia | | | |
|--|----------|----------|----------|
| | Ponto 01 | Ponto 03 | Ponto 04 |
| OD mínimo | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| OD máximo | 2,9 | 0,0 | 2,7 |
| Média | 1,8 | 0,0 | 1,8 |
| Desvio Padrão | 1,3 | 0,0 | 1,2 |
| CV (%) | 71,40 | 0,00 | 70,86 |

Fonte: Autoria própria (2021).

- DQO

Durante a caracterização do sistema, a DQO no P1 obteve seu valor máximo na primeira coleta, assim como o P3, que teve uma redução gradativa a cada coleta, no entanto, o P4 registrou o maior valor na segunda coleta (Figura 15).

Figura 15 - DQO na caracterização prévia do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

Como observado na Figura 15, o P4 foi o que teve uma maior variação comparando as três coletas, mas se manteve com valor médio menor que o P1 e o P3. A estatística descritiva dos dados de DQO estão na Tabela 8.

Tabela 8 - DQO na caracterização prévia do sistema

| DQO na Caracterização Prévia | | | |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| DQO | Ponto 01 | Ponto 03 | Ponto 04 |
| DQO mínimo | 533 | 504 | 315 |
| DQO máximo | 609 | 536 | 414 |
| Média | 560 | 519 | 351 |
| Desvio Padrão | 34,72 | 13,11 | 44,61 |
| CV (%) | 6,20 | 2,53 | 12,72 |

Fonte: Autoria própria (2021).

Com base na média obtida dos dados, houve uma redução da DQO na lagoa anaeróbia (P1 ao P3) de cerca de 7%, e no sistema completo (P1 ao P4) a redução foi de 37%. Apesar da redução da DQO, os valores médios ainda estão relativamente altos, o que significa que há presença de matéria orgânica, biodegradável e não-biodegradável, no lançamento do efluente tratado no corpo hídrico receptor.

5.2 DADOS DO MONITORAMENTO DO SISTEMA

5.2.1 Temperatura

Segundo Jordão e Pessoa (2011) a temperatura das águas residuárias, de forma geral, é um pouco superior as águas de abastecimento, podendo ser mais elevada se houver despejos industriais. O aumento da temperatura aumenta a velocidade da decomposição do esgoto, reduz a solubilidade do oxigênio, além de diminuir a viscosidade do efluente, beneficiando assim a sedimentação.

A temperatura média durante o monitoramento do sistema variou de 29,6 °C, temperatura máxima no dia 07 de maio de 2021, até 24,1 °C, temperatura mínima no dia 04 de agosto de 2021. O que indica que as primeiras coletas, apresentadas no presente trabalho, foram realizadas no verão, dias mais quentes, e a partir da metade do mês de maio a temperatura foi caindo, visto que se inicia o período de inverno, conseqüentemente mais frio (Figura 16).

Figura 16 - Temperatura média durante o monitoramento

| Temperatura | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ponto/Coleta | 18/fev | 26/mar | 09/abr | 23/abr | 07/mai | 21/mai | 04/jun | 18/jun | 02/jul | 21/jul | 04/ago | 18/ago |
| 1 | 28,50 | 26,00 | 27,50 | 30,30 | 30,50 | 27,00 | 25,00 | 26,00 | 26,00 | 25,00 | 24,00 | 26,00 |
| 2 | 28,00 | 29,00 | 28,00 | 29,30 | 29,50 | 25,50 | 25,00 | 25,80 | 26,50 | 24,00 | 23,80 | 25,70 |
| 3 | 27,50 | 29,00 | 27,50 | 28,50 | 28,70 | 25,50 | 26,00 | 24,80 | 26,80 | 24,00 | 23,70 | 27,10 |
| 4 | 26,50 | 30,00 | 28,00 | 29,50 | - | 26,50 | 25,50 | 24,90 | 26,50 | 25,80 | 24,80 | 26,40 |
| Média | 27,63 | 28,50 | 27,75 | 29,40 | 29,57 | 26,13 | 25,38 | 25,38 | 26,45 | 24,70 | 24,08 | 26,30 |

Fonte: Autoria própria (2021).

Metcalf e Eddy (2016) afirmam que as temperaturas ideais para atividades biológicas estão entre 25,0 °C e 35,0 °C e suas variações afetam o desempenho de processos no tratamento biológico porque as constantes de equilíbrio de produtos de solubilidade e as constantes de taxas específicas de reações dependem da temperatura.

Desse modo, é de se esperar que ocorra uma maior eficiência no tratamento durante as épocas mais quentes do ano, pois é possível afirmar que no verão a atividade biológica é mais intensa, o que pôde ser percebido nos dados analisados no presente trabalho. Ademais, a temperatura em todos os meses não fugiu do esperado, apesar de ter registrado uma diferença na média, entre os dois períodos de análise, de 4,5 °C.

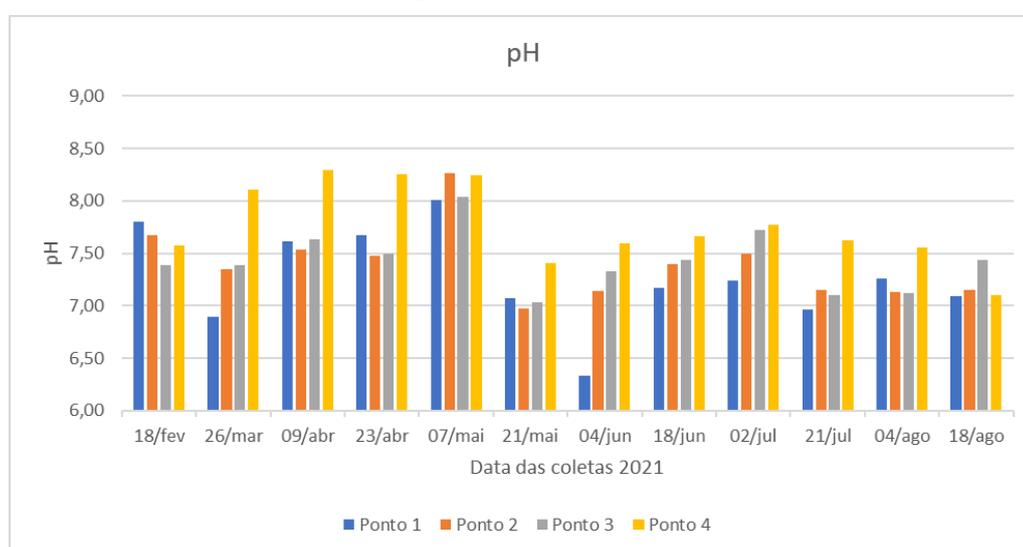
5.2.2 pH

O pH é um parâmetro fundamental para o controle operacional das estações de tratamento de esgoto, pois é de extrema importância para a digestão anaeróbia e para os processos oxidativos. O valor de pH dos esgotos varia entre 6,5 e 7,5, valores inferiores a 6,0

caracterizam esgotos velhos ou sépticos. Além disso, é estabelecido por lei (Resolução CONAMA Nº 430) que o lançamento de esgoto nos corpos d'água devem obedecer a um valor limite, visto que para a existência da vida aquática é necessária uma faixa de pH entre 6,0 e 9,0 (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Como mostra a Figura 17, o P1 é o que possui uma maior variação, com valor mínimo de 6,3 no dia 04 de junho de 2021, e valor máximo de 8,0, no dia 07 de maio de 2021. Essa variação pode ter ocorrido porque esse é o ponto de entrada do efluente, que depende da carga de entrada no dia e hora da coleta.

Figura 17 - pH durante o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

O pH no P4, na grande maioria das coletas, é maior que o pH nos pontos da lagoa anaeróbia, essa diferença pode estar relacionada a ocorrência de liberação de gás sulfídrico na lagoa, pelas bactérias anaeróbias, diminuindo o pH na primeira lagoa. Ademais, a lagoa facultativa tende a ter o pH levemente alcalino, se ela apresentar cor verde-escuro esse fator é verdadeiro, porém se ela estiver na cor verde-amarela ou pálida, pode estar ocorrendo o processo de acidificação da lagoa, como descrito por Mendonça (2017).

Florentino (1992), que realizou análises em Guarabira – PB, próximo a cidade de Campina Grande, complementa que o pH diminuiu na lagoa anaeróbia, devido as atividades metabólicas das bactérias acidogênicas que na degradação da matéria orgânica presente no esgoto, liberam entre outros, ácido acético e propiônico, responsáveis pelo abaixamento no valor do pH da lagoa. Já no efluente da lagoa facultativa o aumento do pH, está associada ao processo de fotossíntese das algas que ao consumirem todo o dióxido de carbono dissolvido na massa líquida da lagoa, proveniente da oxidação da matéria orgânica pelas bactérias, passarão

a utilizar o dióxido de carbono do sistema carbônico, com a consequente liberação de íons hidroxila que aumenta o pH.

Na Tabela 9 pode-se analisar a dispersão dos dados coletados nos quatro pontos de coleta, durante o monitoramento. Como citado anteriormente, o P1 é o que mais possui variação nos resultados, fato esse que pode ser observado de acordo com o CV de 6,03 %, que apesar de não ser tão alto, mostra que houve alteração na média dos valores registrados.

Tabela 9 - pH durante o monitoramento do sistema

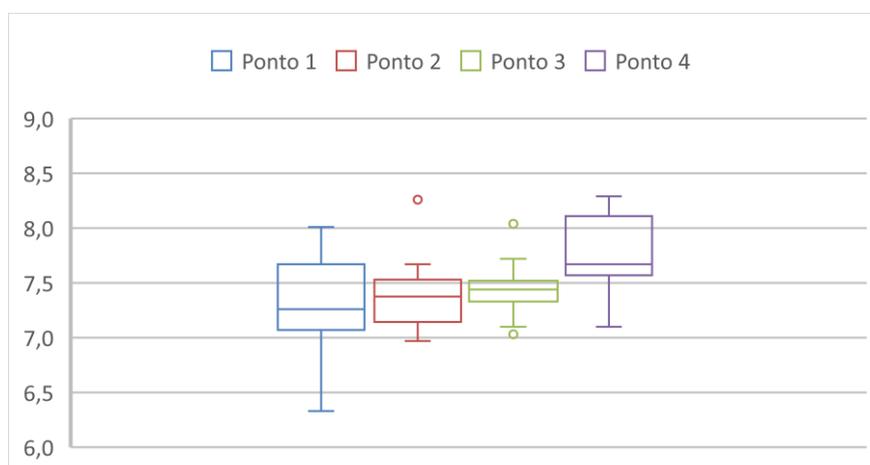
| pH no Monitoramento | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| pH mínimo | 6,33 | 6,97 | 7,03 | 7,10 |
| pH máximo | 8,01 | 8,26 | 8,04 | 8,29 |
| Média | 7,26 | 7,40 | 7,43 | 7,76 |
| Desvio Padrão | 0,44 | 0,33 | 0,27 | 0,36 |
| CV (%) | 6,03 | 4,45 | 3,64 | 4,66 |

Fonte: A autoria própria (2021).

Os valores médios obtidos indicam que o pH do esgoto em todos os pontos estão dentro dos limites para as lagoas de estabilização, de acordo com a literatura de Jordão e Pessoa (2011). Além disso, o último ponto está na faixa permitida pelo CONAMA, que possibilita a continuidade da vida aquática nos corpos d'água.

Para uma análise mais completa de parâmetros que tendem a variar muito, como o pH, a mediana tem uma importância fundamental, pois ela é mais representativa do que a média em si. Com isso, um gráfico em *boxplot* mostra melhor essa relação de valores obtidos para o pH (Figura 18).

Figura 18 - *Boxplot* do pH durante o monitoramento



Fonte: A autoria própria (2021).

Através da Figura 18, pode-se observar que é notório que houve um aumento gradativo do pH entre o P1 e o P4. O terceiro ponto foi o que obteve uma menor variação frente aos outros pontos coletados, ou seja, os valores registrados no P3 tendem a permanecer na mesma faixa de valor.

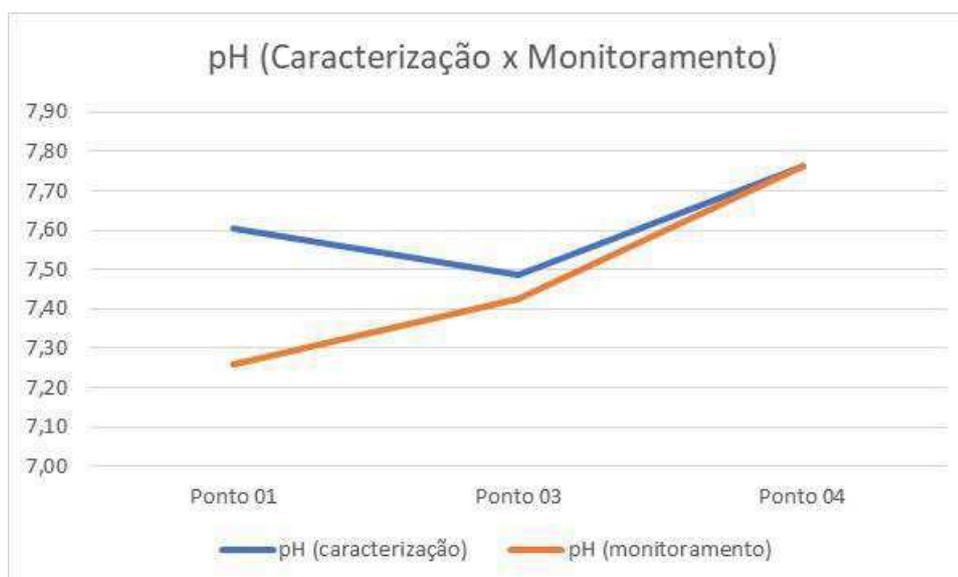
A Tabela 10 e a Figura 19 mostram a diferença obtida do período de caracterização prévia do sistema com o de monitoramento. De acordo com a média, houve uma pequena redução nos valores dos pontos 01 e 03, porém o ponto 04 permaneceu o mesmo. Apesar disso, quando é analisado a mediana, que mostra uma melhor representatividade dos dados, pode-se perceber que houve uma redução em todos os pontos coletados.

Tabela 10 - Comparação do pH durante a caracterização e o monitoramento

| Comparação entre pH (Caracterização x Monitoramento) | | | |
|---|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Média pH (caracterização) | 7,60 | 7,49 | 7,76 |
| Mediana pH (caracterização) | 7,64 | 7,51 | 7,76 |
| Média pH (monitoramento) | 7,26 | 7,43 | 7,76 |
| Mediana pH (monitoramento) | 7,21 | 7,42 | 7,64 |
| Diferença (média) | 5% | 1% | 0% |
| Diferença (mediana) | 6% | 1% | 2% |

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 19 - Diferença entre os valores da mediana do pH durante a caracterização e o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

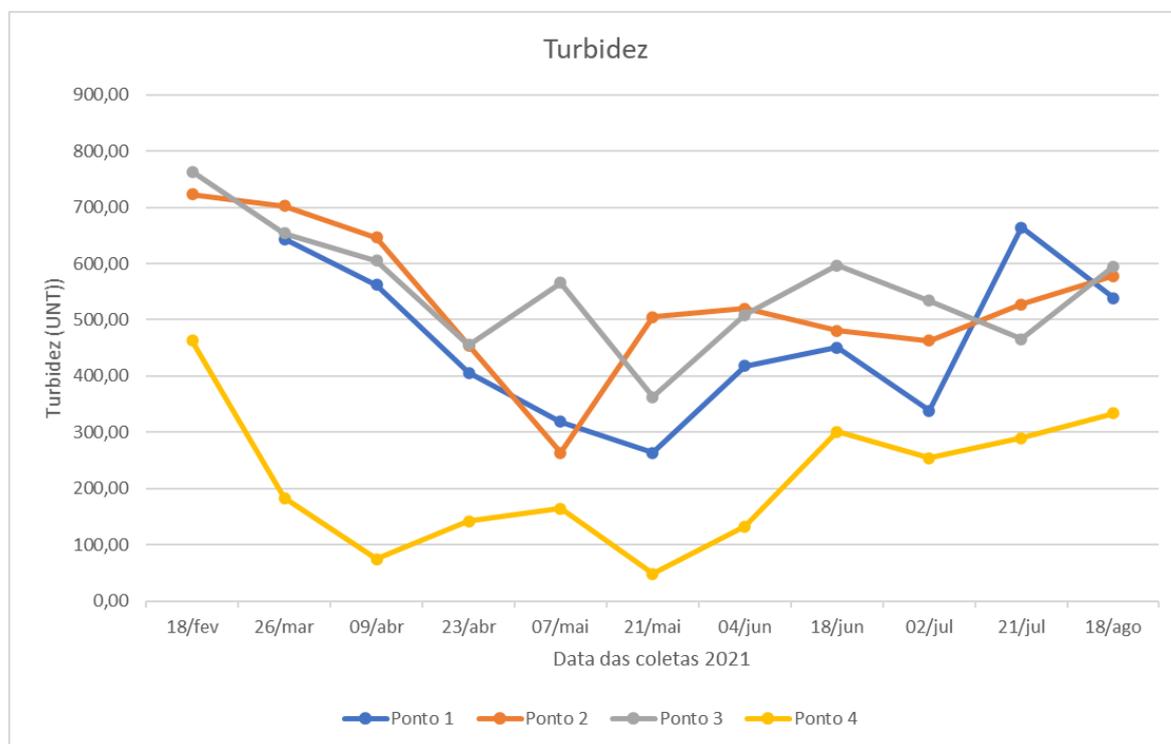
Como citado no item 5.1, no período de caracterização prévia foram utilizados apenas três pontos de coleta, por isso, na comparação não foram apresentados os dados do segundo ponto de coleta do monitoramento.

5.2.3 Turbidez

De acordo com Jordão e Pessoa (2011) a turbidez não é frequentemente utilizada para o monitoramento do esgoto bruto, contudo, é possível utilizar na caracterização da eficiência do tratamento secundário, tendo em vista que pode ser relacionada com a concentração de sólidos em suspensão. Bem como é um importante parâmetro para verificação da eficiência do sistema de jardins flutuantes.

No decorrer do monitoramento, é possível identificar que a turbidez possui uma variação significativa em todos os pontos coletados. A partir da análise do gráfico da Figura 20 é perceptível que o P1 se encontra com uma turbidez menor que os outros pontos da lagoa anaeróbia (P2 e P3) em quase todos os dias de coleta, esse fato pode estar relacionado com a quantidade de sólidos em suspensão existentes na lagoa, aumentando o número de partículas e, conseqüentemente, aumentando a turbidez dos pontos seguintes.

Figura 20 - Turbidez durante o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

Outro fato interessante é que o P3 (ponto após o sistema de jardins flutuantes), em grande parte das coletas, apresentou uma turbidez maior que no P2 (ponto anterior ao sistema

de jardins flutuantes), esse fato pode ser devido ao aumento de clorofila-a juntamente com os sólidos suspensos (NÓBREGA, 2021).

O último ponto de coleta, presente na lagoa facultativa, permaneceu sempre abaixo dos pontos anteriores, o que significa que as lagoas, juntamente com o sistema de jardins implantado, estão conseguindo reduzir o grau de turbidez ao longo do tratamento. A Figura 21 mostra essa diferença de turbidez em cada ponto da ETE.

Figura 21 - Turbidez em cada ponto coletado no mês de março de 2021, durante o monitoramento do sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 11 mostra a relação entre os pontos máximos, mínimos e a dispersão dos dados em cada um dos pontos coletados. O P3 foi o que obteve uma menor variação dos seus resultados, com um CV de 18,53%, de forma oposta, o que obteve uma maior oscilação de valores foi o P4, com um CV de 54,37%, com valor mínimo de 48 UNT no dia 21 de maio de 2021, e valor máximo de 463 UNT no dia 18 de fevereiro de 2021.

Tabela 11 - Turbidez analisada durante o monitoramento do sistema

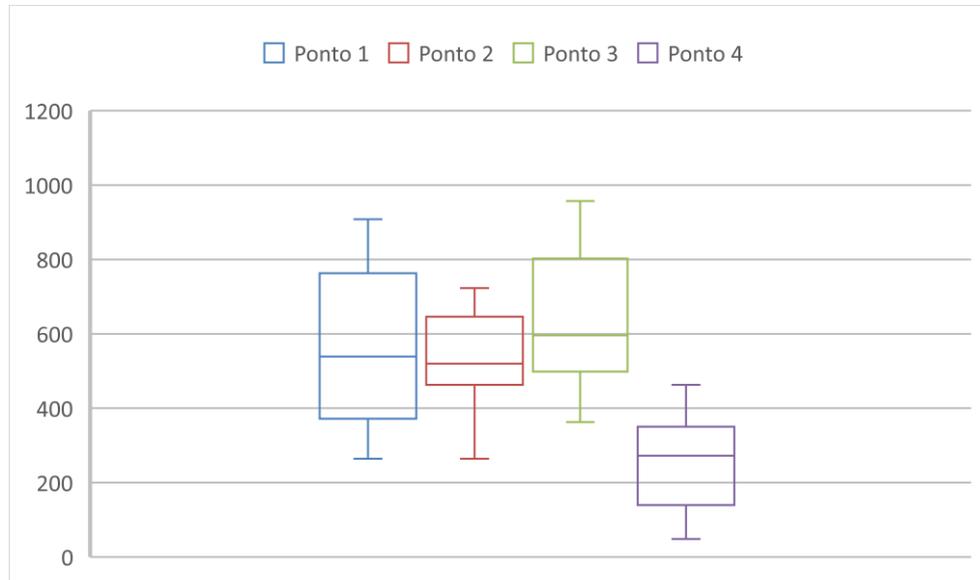
| Turbidez no Monitoramento | | | | |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Turbidez mínimo | 264 | 264 | 363 | 48 |
| Turbidez máximo | 664 | 723 | 763 | 463 |
| Média | 460 | 533 | 555 | 217 |
| Desvio Padrão | 130 | 123 | 103 | 118 |
| CV (%) | 28,29 | 23,09 | 18,53 | 54,37 |

Fonte: Autoria própria (2021).

A turbidez, assim como o pH, possui muita variação em cada coleta feita, com base nisso para uma melhor interpretação dos dados é aconselhável utilizar os valores da mediana, e não só da média. Como é mostrado no gráfico da Figura 22, o Ponto 1 (P1) apresenta a maior

variação dentre todos os pontos e a segunda maior mediana, ficando atrás apenas do P3. Esse fator ocorre devido a vazão de entrada na ETE, que influencia diretamente nesse parâmetro.

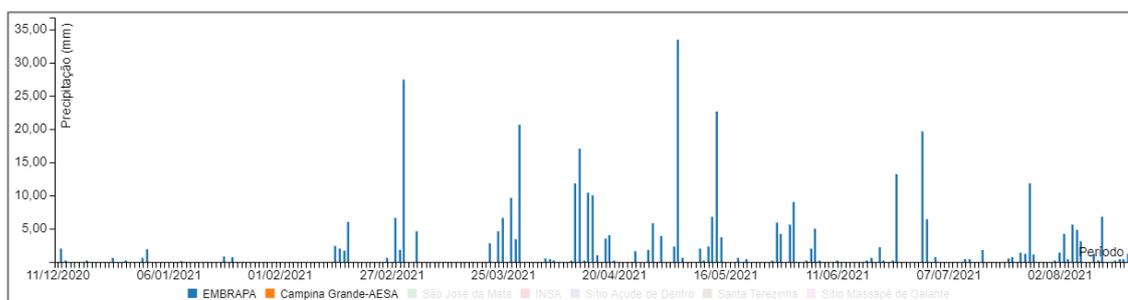
Figura 22 - *Boxplot* da turbidez durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

A vazão de entrada da ETE também é afetada pela chuva, devido à vazão de infiltração. Como o sistema apresenta problemas quando a essa vazão, devido à problemas de manutenção, chegando um volume de esgoto bem menor do que o de projeto, é perceptível o aumento desse valor em dias com registro de precipitação. O gráfico da Figura 23 mostra a precipitação registrada no período de monitoramento da ETE. Observa-se que, nos dias de coleta em que a turbidez está baixa ou está reduzindo, não houve chuva no dia da coleta nem no dia anterior, já em dias que a coleta ocorreu precipitação, ou no dia anterior, o valor de turbidez subiu.

Figura 23 - Dados da chuva em Campina Grande - PB durante o monitoramento do sistema



Fonte: AESA (2021).

Através da comparação entre os valores obtidos na caracterização prévia e no monitoramento, foi possível identificar uma redução considerável no valor médio, tanto como na mediana da turbidez em todos os pontos coletados (Tabela 12).

Tabela 12 - Comparação da turbidez durante a caracterização e o monitoramento do sistema

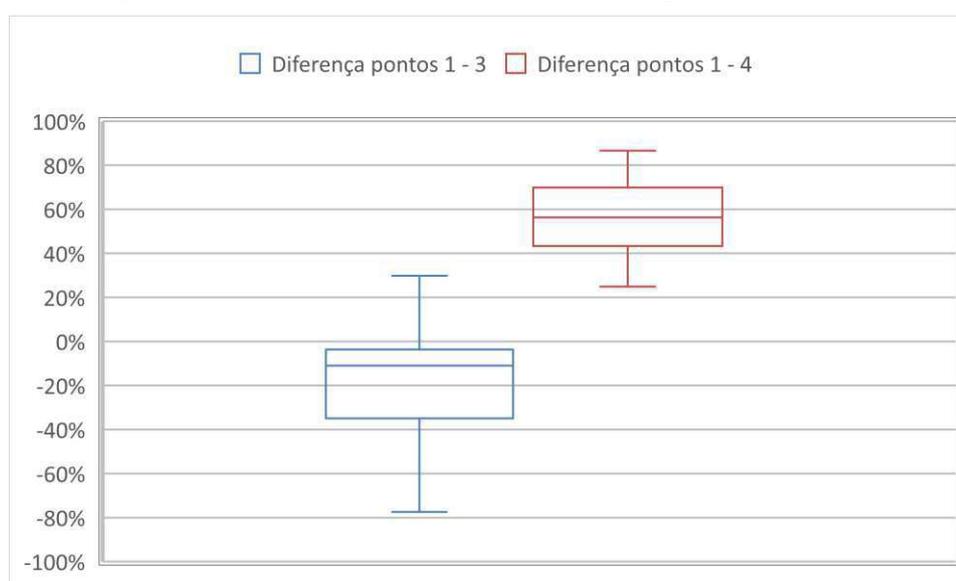
| Comparação entre Turbidez (Caracterização x Monitoramento) | | | |
|--|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Média Turbidez (caracterização) | 883 | 936 | 380 |
| Mediana Turbidez (caracterização) | 879 | 931 | 387 |
| Média Turbidez (monitoramento) | 460 | 555 | 217 |
| Mediana Turbidez (monitoramento) | 434 | 566 | 183 |
| Diferença (média) | 48% | 41% | 43% |
| Diferença (mediana) | 51% | 39% | 53% |

Fonte: Autoria própria (2021).

Não houve mudança do comportamento médio desse parâmetro com a inserção dos jardins na lagoa anaeróbia (P1 a P3), porém comprando os valores do P4, observa-se uma redução maior desse parâmetro no período em que os jardins foram monitorados. Durante a caracterização a turbidez foi 387 UNT (mediana), enquanto no monitoramento foi de 183 UNT.

Além de analisar os valores da caracterização e do monitoramento, tanto quanto à diferença entre eles, calcular a eficiência do sistema com o tempo indica como que o sistema está performando, por isso, é demonstrado na Figura 24 o quão eficiente é o sistema, analisando os intervalos dos pontos P1 – P3 (lagoa anaeróbia + jardins flutuantes) e P1 – P4 (lagoa anaeróbia + jardins flutuantes + lagoa facultativa).

Figura 24 - Eficiência da turbidez durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

No gráfico da eficiência, se a porcentagem for negativa quer dizer que houve um aumento na turbidez, de forma análoga, se a porcentagem for positiva houve uma redução.

Portanto, é possível verificar que na lagoa anaeróbia ocorreu um aumento médio de 11% na turbidez do efluente, pelos motivos já discutidos anteriormente, porém no tratamento como um todo foi obtido uma redução média de 56% na turbidez, e redução mínima de 25% e máxima de 87%, comprovando a eficiência da associação dos tratamentos na redução dos sólidos em suspensão.

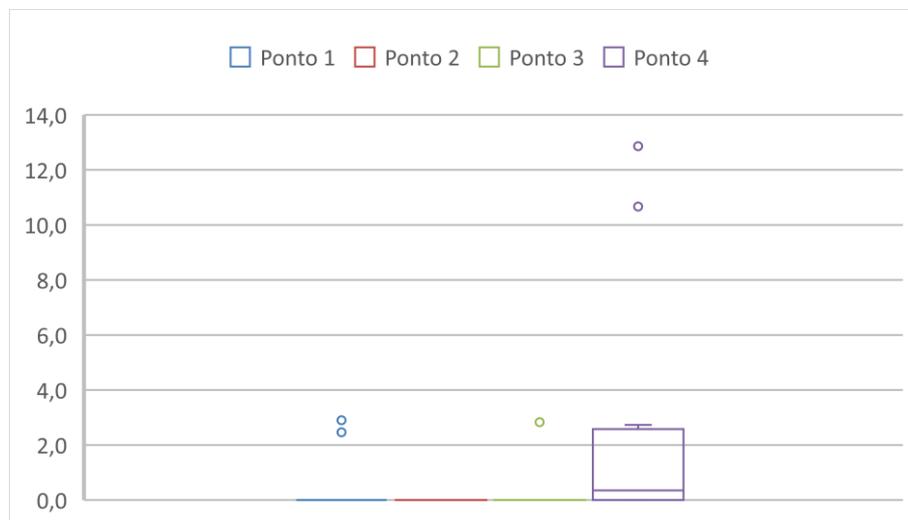
5.2.4 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é sem dúvida o parâmetro de melhor caracterização da qualidade de um corpo d'água (JORDÃO; PESSOA, 2011). A medição de OD serve para controle operacional e também para classificar os corpos d'água, pois se registrar valores menores que a concentração de saturação, indica que existe a presença de matéria orgânica, na maioria dos casos, por conta de despejo de águas servidas.

Os dados do monitoramento do OD podem ser observados no gráfico da Figura 25. Existem concentrações fora da média nos pontos P1, P3 e P4, pois o gráfico mostra que a tendência é que os três primeiros pontos registrem um valor de 0 mg/L de oxigênio dissolvido, e no último ponto apresente uma concentração máxima de 2,7 mg/L.

A inserção do sistema de jardins flutuantes não alterou, negativamente, a condição anaeróbia e facultativa das lagoas da ETE. O que se pode observar é que uma alta concentração de algas presentes nas lagoas podem afetar a concentração do OD pontualmente, registrada nos *outliers*, que podem representar uma anomalia no esgoto no dia daquela coleta, por exemplo, devido a liberação de oxigênio durante a fotossíntese, porém esse é um dado que não foi analisado nesse trabalho, devendo ser investigado em pesquisas futuras.

Figura 25 - *Boxplot* do Oxigênio Dissolvido durante o período analisado



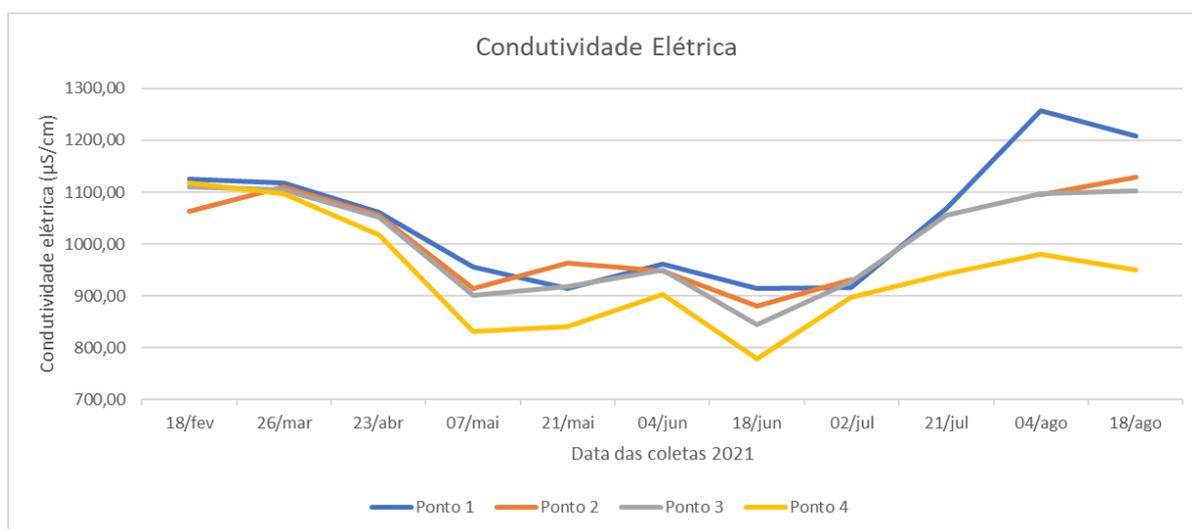
Fonte: Autoria própria (2021).

5.2.5 Condutividade Elétrica

De acordo com Silva (2007), a condutividade elétrica indica o quão capaz é um meio em transmitir corrente elétrica. Portanto, no meio líquido, tal fator indica a capacidade de transmissão de corrente elétrica, através da concentração de sais dissolvidos. Altos índices de condutividade elétrica podem indicar poluição no corpo hídrico, pois o aumento de íons, cátions e ânions, indicam aumento do material poluidor que, conseqüentemente, aumentam a condutividade.

Com base nisso, pode-se notar, na Figura 26, que os dados coletados no primeiro ponto apresentam condutividade, em grande maioria, acima dos demais pontos coletados. Em contraponto, o P4 fica, quase sempre, abaixo dos outros pontos, indicando uma redução da capacidade de condução elétrica, o que, conseqüentemente, aponta uma menor concentração de sais, íons ânions e cátions presentes no meio.

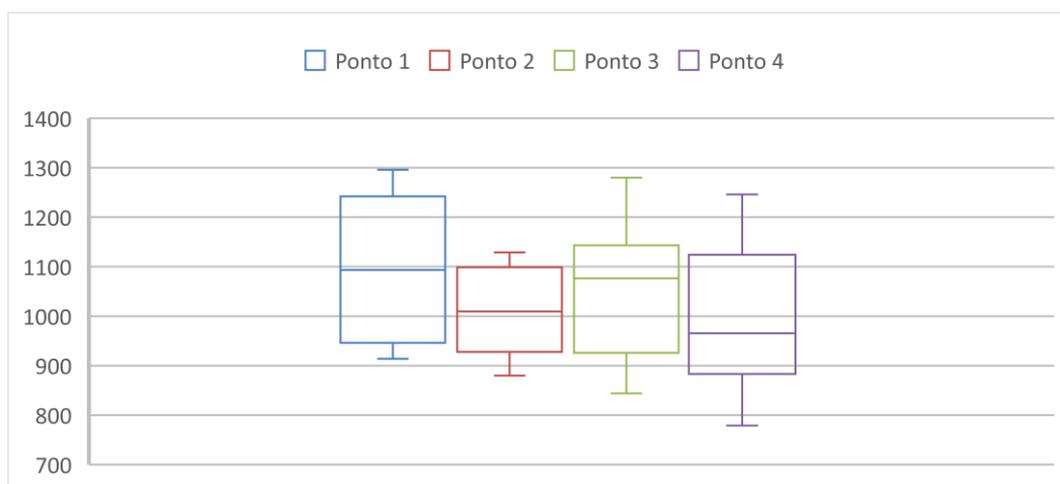
Figura 26 - Condutividade Elétrica durante o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

Comparando o P1 com o P2, percebe-se que há uma redução dos valores na mediana, já em relação ao P3, tem-se um aumento seguido de uma nova redução de condutividade (Figura 27). Os jardins podem estar influenciando nesse aumento entre o P2 e P3. Isso pode ser devido à atividade biológica do sistema radicular das plantas, pois há uma degradação bastante intensa de compostos mais complexos em compostos mais simples, como a redução de nitrogênio orgânico em nitrito e nitrato – elementos que são imediatamente absorvidos pelas plantas – aumentando as concentrações de íons nessa região da lagoa.

Figura 27 - Boxplot da Condutividade Elétrica durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 13, expõe os registros médios de cada ponto, com isso, é possível perceber que o ponto de coleta que houve uma maior variação foi o P1, com um coeficiente de variação de 11,15%, em que teve valor máximo de 1257 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e valor mínimo de 914 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 13 - Condutividade elétrica durante o monitoramento do sistema

| Condutividade Elétrica no Monitoramento | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Condutividade Elétrica mínimo | 914 | 880 | 844 | 779 |
| Condutividade Elétrica máximo | 1257 | 1129 | 1111 | 1118 |
| Média | 1046 | 1009 | 1006 | 942 |
| Desvio Padrão | 117 | 86 | 94 | 102 |
| CV (%) | 11,15 | 8,56 | 9,33 | 10,86 |

Fonte: Autoria própria (2021).

Como foi feita a caracterização prévia e posteriormente o monitoramento, é viável a comparação entre os resultados obtidos. A Tabela 14 expressa que houve uma redução na média e também na mediana dos valores encontrados.

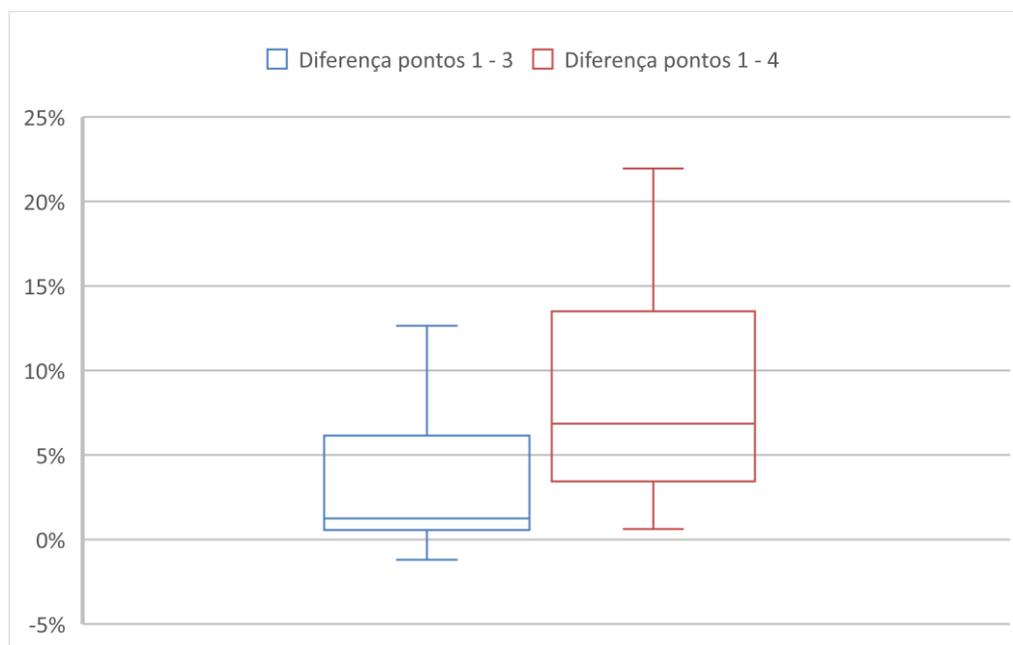
Tabela 14 - Comparação entre a condutividade elétrica durante a caracterização e o monitoramento do sistema

| Comparação entre Condutividade Elétrica (Caracterização x Monitoramento) | | | |
|--|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Média Condutividade Elétrica (caracterização) | 1272 | 1255 | 1206 |
| Mediana Condutividade Elétrica (caracterização) | 1283 | 1244 | 1229 |
| Média Condutividade Elétrica (monitoramento) | 1046 | 1006 | 942 |
| Mediana Condutividade Elétrica (monitoramento) | 1062 | 1052 | 943 |
| Diferença (média) | 18% | 20% | 22% |
| Diferença (mediana) | 17% | 15% | 23% |

Fonte: Autoria própria (2021).

Em continuidade, a Figura 28 apresenta a eficiência da condutividade elétrica na lagoa anaeróbia e no sistema como um todo. A mediana encontrada através da diferença do ponto de coleta P1 e P3 expõe que houve uma redução de 1%, e no sistema completo, do ponto P1 ao P4, ocorreu uma redução de 7%, em relação a mediana dos dados.

Figura 28 - Eficiência da Condutividade Elétrica durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

5.2.6 DBO₅

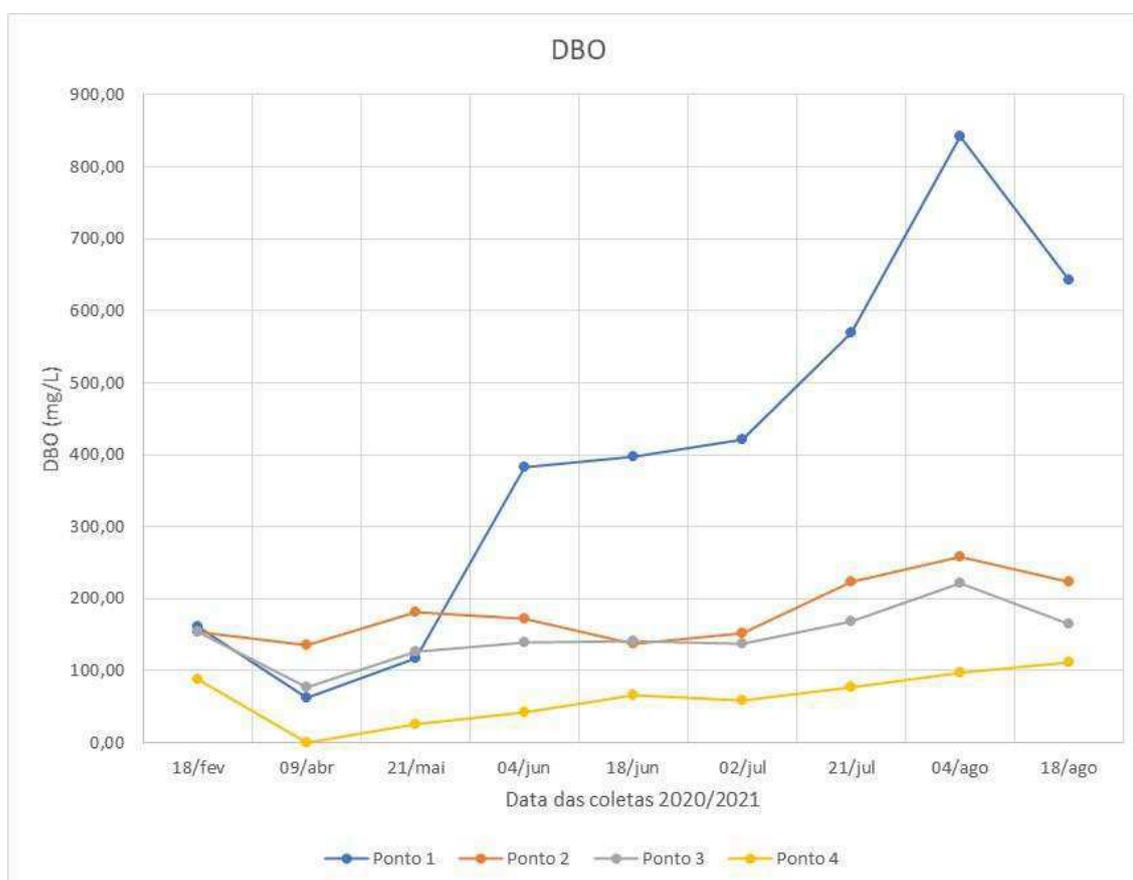
Os dados da DBO na caracterização prévia do sistema não foram considerados, pois houve perdas de material de dois pontos de coleta.

Ao longo do monitoramento é possível observar que a carga orgânica no primeiro ponto de coleta tem início com valores relativamente baixos e aumentam significativamente nas

coletas seguintes, isso é devido a problemas no sistema de chegada de novos efluentes, falta de manutenção e tubulação entupida. À medida que a tubulação foi desobstruída e as manutenções foram feitas, houve um aumento expressivo na vazão de entrada da ETE, aumentando assim a matéria orgânica na lagoa (Figura 29).

Em contrapartida, os demais pontos de coletas apresentaram alterações mais suaves. É perceptível que no decorrer do tratamento a carga orgânica reduz de ponto a ponto, sendo o último ponto com o menor valor dessa carga, como esperado (Figura 29).

Figura 29 - DBO durante o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se na Figura 29 que houve uma redução da DBO do P2 para o P3, o que indica que o sistema de jardins flutuantes implantado funciona, pois na grande maioria das coletas, com exceção do dia 18 de junho, o valor da matéria orgânica diminuiu.

Conforme visto anteriormente, de acordo com Jordão e Pessoa (2011), os valores médios de DBO_5 para esgotos domésticos variam entre 100 e 400 mg/L, e nos tratamentos secundários é esperado uma redução final para os valores de 20 a 30 mg/L. Além disso, como informa Metcalf e Eddy (1991), descrito na Tabela 1, valores de DBO acima de 400 mg/L

indicam a presença de um esgoto forte, valores entre 400 e 110 mg/L, possuem a indicação de um esgoto com concentração média, e menores de 110 mg/L são efluentes diluídos.

Com base nos valores vistos na literatura, é possível evidenciar que o esgoto que entra na lagoa, através do P1, é forte quando o sistema da ETE não possui obstrução. A partir do P2, o efluente já passa a ser considerado médio, o que indica que a lagoa anaeróbia funciona de certa forma, após a passagem pelo sistema de jardins implantado o valor reduz mais um pouco, oscilando entre médio e diluído no terceiro ponto. Por fim, no último ponto, quase todos os valores registrados estiveram abaixo de 110 mg/L, indicando que a água residuária foi diluída, porém ainda não se encontra dentro do esperado por Jordão e Pessoa (2011) que é de 20 a 30 mg/L.

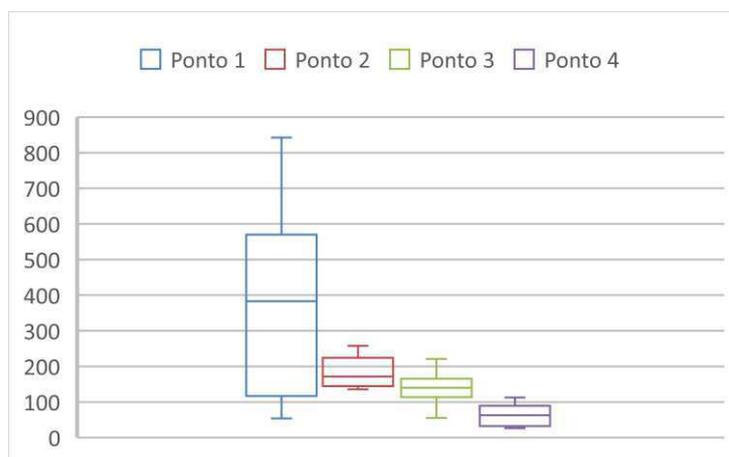
Devido aos problemas no sistema da ETE citados acima, o primeiro ponto de coleta foi o que resultou em uma maior dispersão dos dados, cerca de 61% de variação, com valores mínimos de 63 mg/L no dia 09 de abril de 2021, e máximo de 843 mg/L no dia 04 de agosto de 2021 (Tabela 15).

Tabela 15 - DBO durante o monitoramento do sistema

| DBO no Monitoramento | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| DBO mínimo | 63 | 136 | 76 | 27 |
| DBO máximo | 843 | 258 | 221 | 113 |
| Média | 400 | 182 | 148 | 66 |
| Desvio Padrão | 243,90 | 41,07 | 36,33 | 28,66 |
| CV (%) | 61,00 | 22,55 | 24,60 | 43,21 |

Fonte: A autoria própria (2021).

A Figura 30, em *boxplot*, expõe os dados de uma forma que seja possível compreender melhor o que ocorre em cada ponto observado. É perceptível que a dispersão no P1 é muito maior que nos demais pontos, assim como sua mediana, à medida que o efluente percorre a lagoa, esse valor tende a reduzir de forma gradativa, dessa forma, percebe-se que a partir do P2 a variação dos dados diminui drasticamente em relação ao primeiro ponto, e assim segue até o ponto de saída da lagoa facultativa.

Figura 30 - *Boxplot* da DBO durante o período analisado

Fonte: Autoria própria (2021).

Isso significa que a carga de matéria orgânica na entrada da ETE é variável, mas que a lagoa consegue reduzir essa carga ao longo do tratamento do esgoto. O sistema de jardins flutuantes também consegue reduzir essa carga até o final da saída da lagoa anaeróbia e o mesmo ocorre na facultativa.

A Tabela 16 apresenta a taxa de redução, média e a mediana da DBO nos diferentes pontos coletados. Através dos cálculos mostrados na tabela, visualiza-se que houve redução em todos os trechos do sistema, inclusive, do ponto antes do sistema de jardins e depois dele, apresentando também que ocorreu uma redução de 83% de DBO no sistema completo.

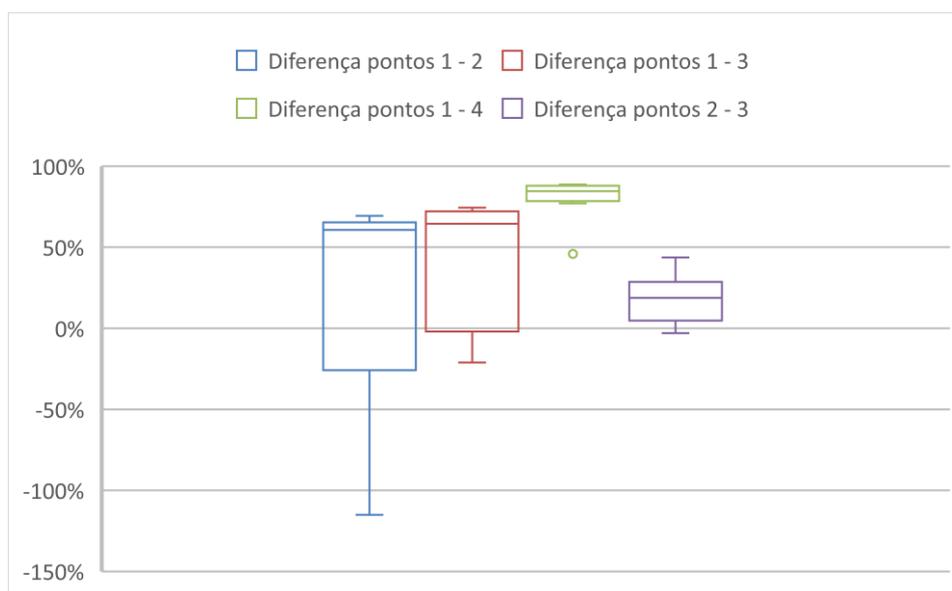
Tabela 16 - Taxa de redução da DBO

| Taxa de redução DBO em diferentes pontos | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|
| | P1 - P2 | P1 - P3 | P1 - P4 | P2 - P3 |
| Média | 54% | 63% | 83% | 19% |
| Mediana | 57% | 64% | 83% | 18% |

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da tabela, conhecer a eficiência entre os trechos por um gráfico de *boxplot* é passível de uma interpretação muito mais eficaz. Portanto, a Figura 31 expõe os dados referentes a eficiência da lagoa anaeróbia (P1-P2), lagoa anaeróbia mais jardins flutuantes (P1 – P3), do sistema de tratamento como um todo (P1-P4) e do sistema de jardins flutuantes (P2 – P3) implantado na lagoa anaeróbia.

Figura 31 - Eficiência da DBO durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

Comparando os dois primeiros trechos (P1 – P2 e P1 – P3), analisa-se que com o sistema de jardins, os dados apresentam uma menor variação e possuem menos incremento de matéria orgânica, visto que 25% dos dados estão abaixo de -2%, enquanto que na situação de P1 – P2, 25% dos dados são iguais ou inferiores a -26%. Em relação a mediana comparado a lagoa anaeróbia sem e com sistema de jardins flutuantes ocorreu um aumento de 61% para 64% na redução da DBO e eficiência máxima de 74% na segunda situação. Analisando, isoladamente o sistema de jardins (P2 – P3), tem-se que a mediana é por volta de 19% e com eficiência máxima de 44%, e há sempre redução, nunca incremento de DBO.

Para o sistema da ETE como um todo (P1 – P4), é obtido uma eficiência com cerca de 85%, visto que nesse tipo de gráfico pontos fora da curva são descartados, valor esperado para esse tipo de tratamento em lagoas, podendo chegar a eficiência máxima de 88%, além de apresentar uma menor variação, comparando com a lagoa anaeróbia.

5.2.7 DQO

Com base na literatura de Valente *et al* (2000), pode-se caracterizar o esgoto como doméstico, através da média obtida na análise da Tabela 17, em que os valores médios de DQO, expressos em mg/L, dos pontos de coleta P1, P2, P3 e P4 são: 495,21; 492,57; 400,78; 271,30, respectivamente.

Tabela 17 - DQO durante o monitoramento do sistema

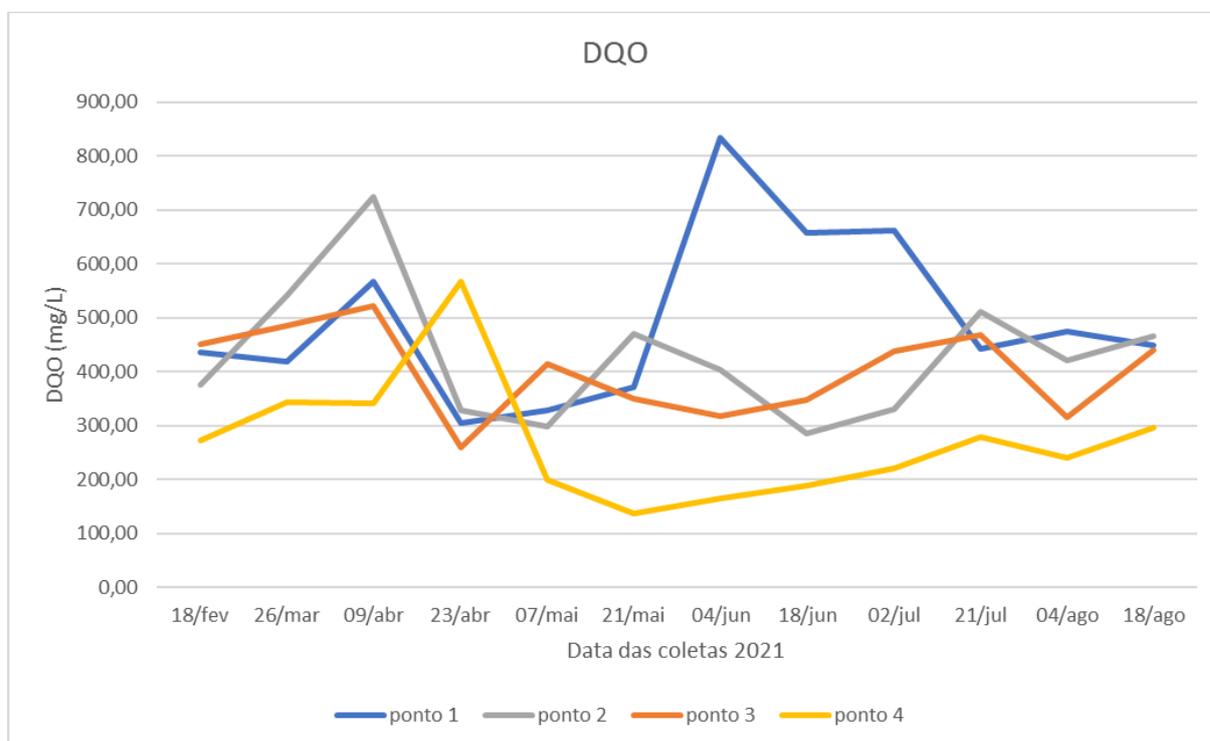
| DQO no Monitoramento | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| DQO mínimo | 304 | 285 | 260 | 138 |
| DQO máximo | 833 | 724 | 523 | 568 |
| Média | 552 | 430 | 401 | 271 |
| Desvio Padrão | 165,89 | 119,43 | 77,44 | 108,99 |
| CV (%) | 30,05 | 27,80 | 19,32 | 40,17 |

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme apresentado na Tabela 1, por Metacalf e Eddy (1991), o esgoto possui concentração forte se a DQO é maior ou igual a 1000 mg/L, entre 1000 e 250 mg/L é médio, e de 250 mg/L para baixo é diluído. Portanto, de acordo com a média obtida na Tabela 17, o efluente possui características de ser doméstico e de concentração média.

A Figura 32 relaciona em forma de gráfico os valores calculados de DQO frente aos dias de coleta, como já descrito, ela informa que a maioria dos valores estão na média indicada por Jordão e Pessoa (2011) para a característica de esgoto doméstico, com exceção de alguns pontos no P1 e P4, que podem ter ocorrido por alguma alteração na carga de entrada do efluente ou por possível falha em equipamento de leitura, ou do observador.

Figura 32 - DQO durante o monitoramento



Fonte: Autoria própria (2021).

Para fins de comparação, foi relacionado os valores médios obtidos no monitoramento do sistema com os da caracterização. Como mostra a Tabela 18, a média obtida de ponto a ponto foi menor durante o monitoramento do que quando analisado na caracterização prévia do sistema. Porém, quando se calcula a mediana, percebe-se que o P1 apresenta um aumento de 14% no monitoramento do que o apresentado na caracterização.

Tabela 18 - Comparação da DQO durante a caracterização e do monitoramento do sistema

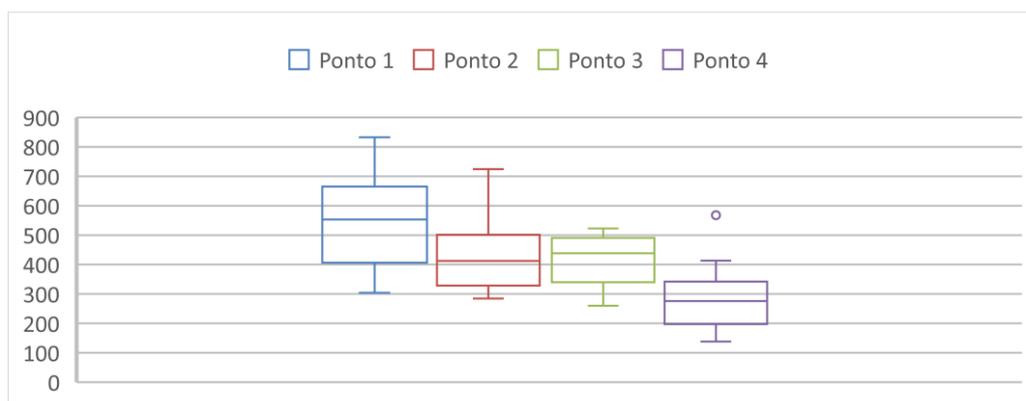
| Comparação entre DQO (Caracterização x Monitoramento) | | | |
|---|---------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 3 | Ponto 4 |
| Média DQO (caracterização) | 560 | 519 | 351 |
| Mediana DQO (caracterização) | 539 | 518 | 324 |
| Média DQO (monitoramento) | 552 | 401 | 271 |
| Mediana DQO (monitoramento) | 612 | 426 | 256 |
| Diferença (média) | 1% | 23% | 23% |
| Diferença (mediana) | -14% | 18% | 21% |

Fonte: A autoria própria (2021).

Com base nessa diferença demonstrada entre a média e a mediana, para uma melhor análise dos pontos foi elaborado um gráfico *boxplot*, de todos os pontos coletados (Figura 33). A concentração da DQO na lagoa anaeróbia, identificada por P2 e P3, não apresentou diferença significativa quando comparadas as medianas, houve inclusive uma redução maior no P2 que no P3.

Contudo, observando todos os dados, percebe-se que a variação P2 foi maior, e comparando máximos e mínimos, o P3 apresenta menores valores para os dois. Isso indica que a presença dos jardins flutuantes consegue estabilizar essa demanda, impactando positivamente o tratamento realizado. No P4, as concentrações são menores que as apresentadas nos pontos anteriores, porém, ainda são valores altos, em média 276 mg/L.

Figura 33 - Boxplot da DQO durante o período analisado



Fonte: A autoria própria (2021).

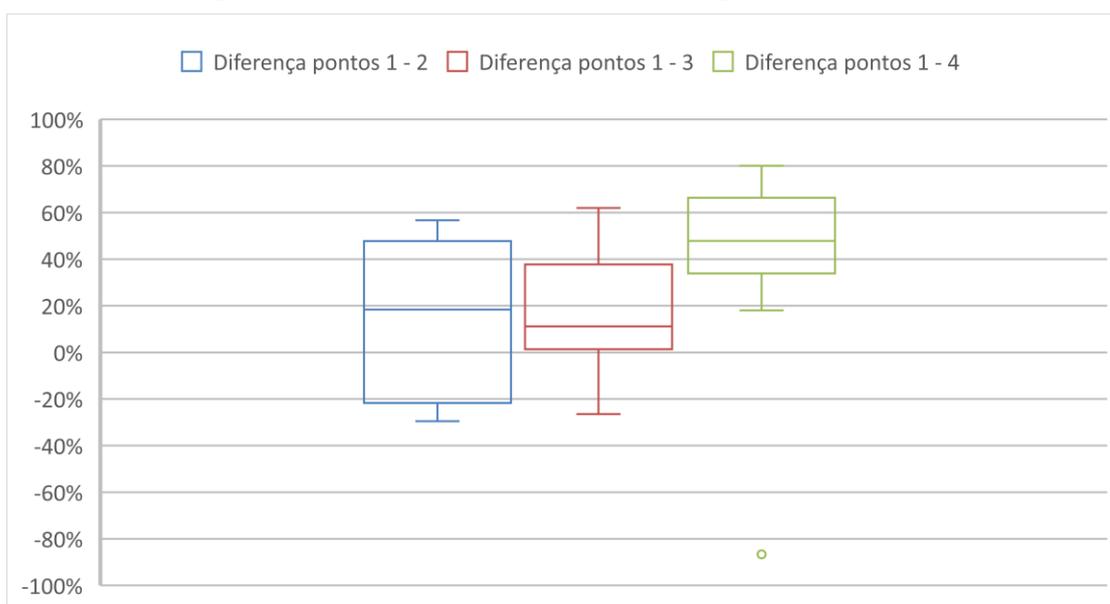
A diferença de valores encontrados na análise da DQO durante a caracterização e do monitoramento pode ser explicada por fatores já citados nos tópicos anteriores, como falta de manutenção do sistema, em que haviam excesso de plantas que não foram aparadas, aumentando os resíduos na lagoa e tubulações entupidas.

Com base nos valores médios calculados, pode-se perceber que os valores de DQO sofrem reduções sequenciais, isto é, de ponto a ponto. Portanto, de acordo apenas com a média, poderia ser afirmado que o sistema de jardins flutuantes ajudou na redução da DQO, pois houve uma diminuição do P2 para o P3, no entanto, através das medianas foi visto que os jardins flutuantes tendem a estabilizar mais essa demanda, do que realmente reduzi-la.

Para isso, uma excelente maneira de avaliação é analisar a eficiência com base nos dados obtidos de cada ponto coletado. Sendo assim exposto na Figura 34 a diferença entre os pontos (P1 – P2, P1 – P3 e P1 – P4).

As porcentagens de redução de DQO variam pouco entre a condição inicial da lagoa anaeróbia (P1 – P2) e ela como um todo, que inclui o sistema de jardins flutuantes, (P1 – P3), sendo o primeiro uma redução média de 18% e o segundo de 11%. Esses dados enfatizam os problemas já mencionados de manutenção da ETE e da carga de entrada. Havendo apenas uma redução significativa no tratamento como um todo (P1 – P4), onde a eficiência média sobe para 48%.

Figura 34 - Eficiência da DQO durante o período analisado



Fonte: Autoria própria (2021).

5.2.8 Relação DQO/DBO

Conforme apresentado na literatura de Valente *et al* (2000) no item 3.2.2. os valores elevados da relação DQO/DBO indicam possíveis despejos industriais, que são menos facilmente biodegradáveis. De forma análoga, Jordão e Pessoa (2011) mencionam que se a relação entre DQO e DBO for menor do que 5,0, o esgoto é considerado biodegradável.

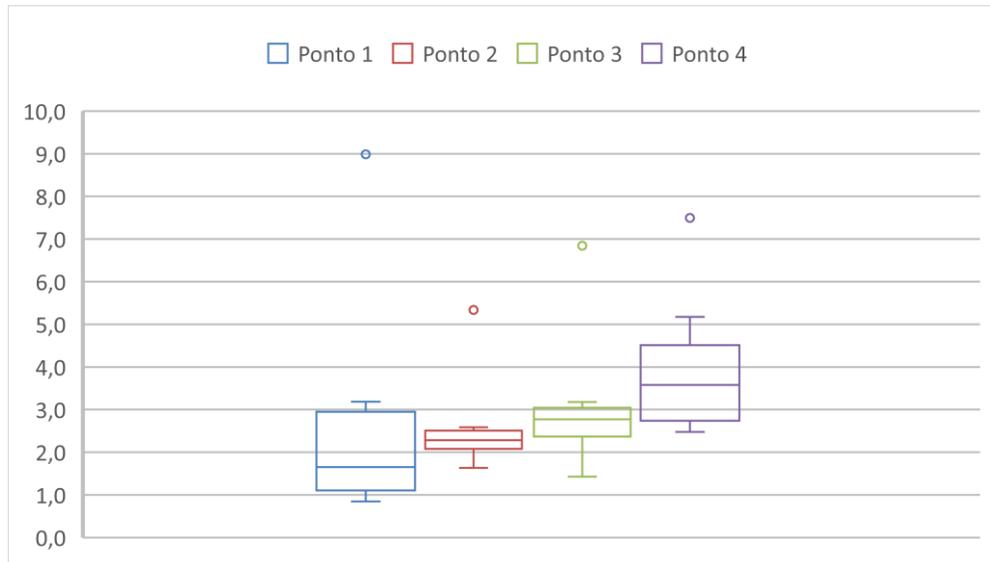
A Tabela 19 demonstra os valores encontrados na relação da DQO/DBO, os valores destacados em vermelho representam aqueles que são maiores que 5,0. De acordo com Valente *et al*, valores elevados são sinais de possíveis despejos industriais, ou de esgotos com uma taxa de matéria orgânica não biodegradável mais alta que o comum, isto explicaria o porquê de no dia 09 de abril de 2021, todas as amostras validadas resultaram em uma relação elevada. Nos dias 07 e 21 de maio de 2021 pode ter ocorrido o mesmo ou ter sido alguma falha na leitura do observador, ou no maquinário do laboratório.

Tabela 19 - Relação DQO/DBO

| Ponto | Relação DQO/DBO | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 18 fev | 26 mar | 09 abr | 23 abr | 07 mai | 21 mai | 04 jun | 18 jun | 02 jul | 21 jul | 04 ago | 18 ago |
| 01 | 2,7 | - | 9,0 | - | - | 3,2 | 2,2 | 1,6 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 1,0 |
| 02 | 2,4 | - | 5,3 | - | - | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 1,6 | 2,1 |
| 03 | 2,9 | - | 6,8 | - | - | 2,8 | 2,3 | 2,5 | 3,2 | 2,8 | 1,4 | 2,7 |
| 04 | 3,1 | - | - | - | 7,5 | 5,2 | 3,8 | 2,8 | 3,8 | 3,6 | 2,5 | 2,6 |

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 35 representa a relação da DQO e da DBO levando em conta a mediana de cada um dos parâmetros. O gráfico fornece os “outliers” – os pontos citados acima – que apresentam valores maiores que 5. Nesse caso, é possível perceber que as maiores variações ocorrem na entrada e na saída, e os maiores valores estão no ponto 4, isso se deve ao fato de que o sistema da ETE trata e reduz mais a DBO do que a DQO, havendo no fim uma maior parcela de matéria orgânica não biodegradável.

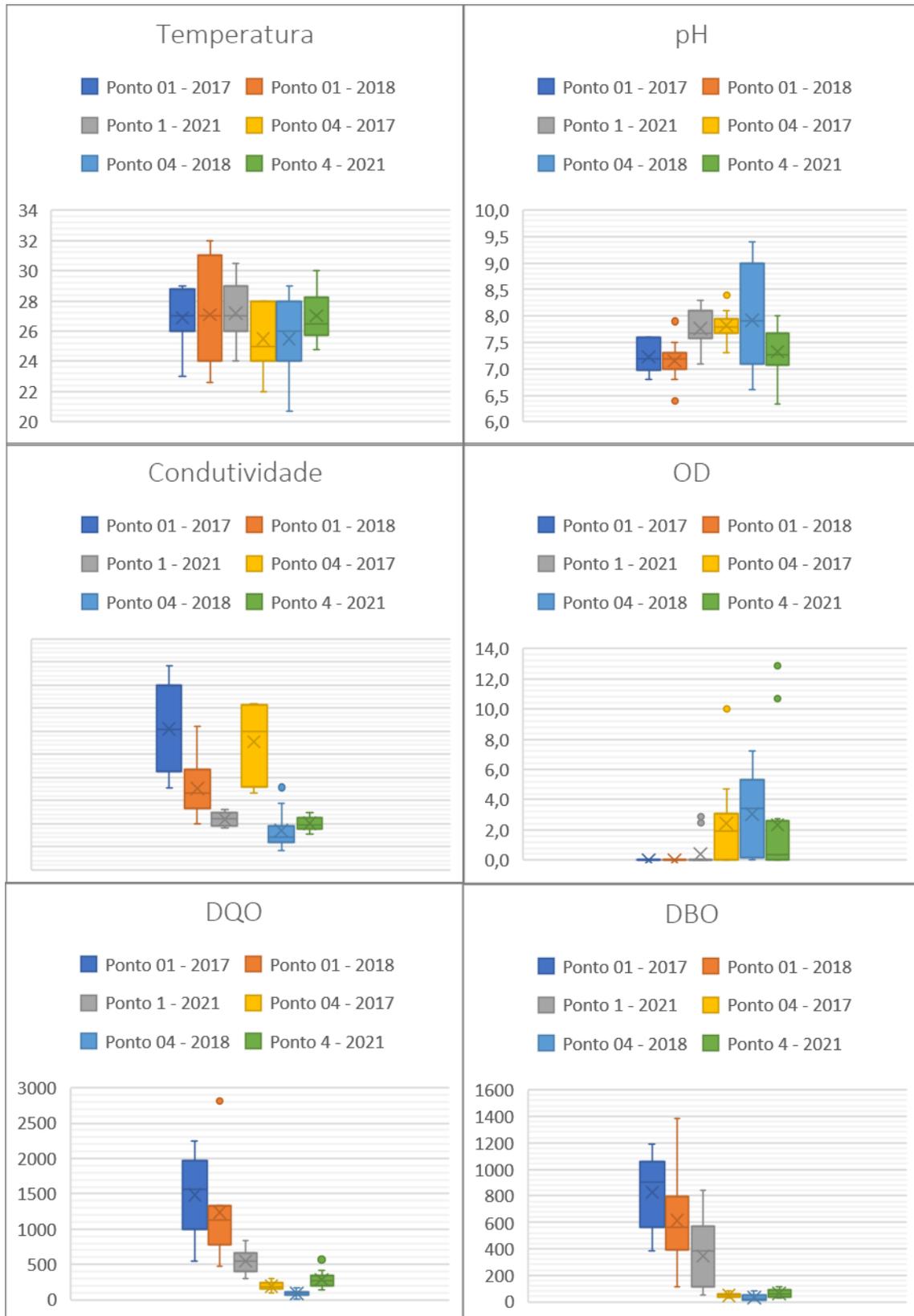
Figura 35 - *Boxplot* da relação DQO/DBO

Fonte: Autoria própria (2021).

5.3 COMPARAÇÃO COM OS DADOS DA CAGEPA ANTES DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA

A Figura 36 apresenta os gráficos em *boxplot* de comparação dos dados de monitoramento da CAGEPA nos anos de 2017 e 2018 com os dados de monitoramento do ano de 2021. Importante destacar que não são conhecidas as condições de manutenção da ETE nos anos de 2017 e 2018 e também não foram repassados os métodos de análise de laboratório utilizados pela prestadora de serviço para determinar o valor dos parâmetros apresentadas.

Figura 36 - Comparação com dados da CAGEPA



Fonte: Autoria própria (2021).

No comparativo, a temperatura apresenta uma constância no primeiro ponto, durante os três anos de amostra, com uma média e mediana de 27 °C. Porém, no P4 houve um aumento na mediana de 1 °C a cada ano, saindo de 25 °C em 2017 para 27 °C em 2021.

Em continuidade, pode-se observar que a média do pH no P1 diminuiu de 2017 para 2018, mas aumentou – inclusive mais que no ano de 2017 – no ano de 2021, já em relação a mediana, de 2017 para 2018 permaneceu a mesma, com cerca de 7,2, porém aumentou para 7,7 em 2021. No entanto, no P4, o pH aumentou do ano de 2017 para 2018, mas houve uma redução no ano de 2021, tanto na média quanto na mediana, saindo de 7,8 em 2017 e chegando em 7,3 em 2021, esse fator pode indicar que a lagoa facultativa pode estar sofrendo uma acidificação ao longo dos anos, diminuindo assim o seu pH.

Com relação a condutividade elétrica média, no ano de 2017, apresentou valores bem superiores aos demais anos observados, em ambos os pontos coletados, apresentando uma diferença com cerca de 64% na média e na mediana, no P1, e de 68% na mediana e 64% na média, no P4, entre 2017 e 2021. No ano de 2021, o P1 registrou uma redução em comparação com o ano de 2018, mas o mesmo não se repetiu para o P4, no qual houve um pequeno aumento para 2021. O valor alto de condutividade elétrica para o ano de 2017 pode ser explicado, provavelmente, por ter sido um ano com um esgoto com excesso de sais dissolvidos.

Dando sequência, o valor médio, assim como a mediana, de DBO no ponto de coleta P1, no ano de 2021, sofreu uma redução significativa em comparação aos anos anteriores. Porém, o mesmo não se aplica para o P4, no qual houve um aumento. Isso mostra que a carga que chega na ETE não é constante, ocorrendo uma variação significativa ao longo dos anos, o que dificulta na eficiência da lagoa, atrelado a falta de manutenção, provavelmente, por esse e outros motivos o valor da DBO no ponto de saída da lagoa facultativa aumentou com o tempo.

Assim como a DBO, citada acima, a DQO média também registrou uma queda significativa no P1, para o ano de 2021, frente aos anos anteriores. Mas no P4, houve um aumento relativamente alto, sem causas explícitas, mas um dos fatores que podem estar ocorrendo é a falta de manutenção na ETE há anos e por conta disso os valores estão sofrendo alterações inesperadas.

Quanto ao oxigênio dissolvido, no ponto de entrada da ETE registrou valor zero, em todos os anos. No entanto, no ponto de saída da Estação, o valor de OD aumentou do ano de 2017 para o ano de 2018 e posteriormente reduziu no ano de 2021, para valores abaixo do ano de 2017.

A conclusão que se pode tirar desses dados é que a carga que entra na ETE possui diferenças, ano após ano, devido as características distintas de carga de entrada na estação.

Apenas a temperatura, o pH e o OD mantiveram uma média similar entre os anos, os demais parâmetros apresentaram reduções muito em um ponto de coleta, mas no outro ponto ocorre um aumento expressivo, demonstrando que há inconsistência nos dados, talvez por influência de fatores externos, que de certa forma interferem de forma significativa nos resultados, dificultando a análise da eficiência do sistema, visto que os dados variam de um ano pra outro por apresentarem características bem distintas, como, por exemplo, a carga de entrada.

Essas diferenças entre os dados fornecidos pela CAGEPA com os cálculos realizados através do monitoramento dos alunos da UFCG, podem ter ocorrido por alguns fatores como: falha do observador dos dados; leitura errada de equipamentos; defeitos no equipamento; manipulação de dados; falta de experiência do experimentador e dentre outros motivos.

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ETE E AS DIFERENÇAS REGISTRADAS NO MONITORAMENTO

Como pode ser observado, houve redução de alguns parâmetros, podendo ser justificado pelo próprio tratamento da lagoa anaeróbia, porém, essa lagoa apresenta diversos problemas devido à ausência de manutenção da ETE.

Esses problemas apresentados pela lagoa anaeróbia são: carga de entrada menor que a de projeto, então a vazão de esgoto que chega na Estação é muito baixa devido o entupimento de tubulações a montante (tubos de esgoto, poços de visita, emissário); a redução da carga de DBO₅ pode provocar, entre outros problemas, o surgimento de bactérias fototróficas anoxigênicas, essas bactérias ocorrem frequentemente em grande número e são visíveis porque produzem florescimentos de colorações rósea, vermelha, marrom e verde, reduzindo a eficiência da lagoa na degradação da matéria orgânica, bem como na remoção de patógenos.

Ademais, há recorrência de entupimentos na tubulação de entrada da lagoa, havendo retorno de esgoto e extravasamento superficial, demonstrando que o lodo depositado no fundo necessita de remoção, já que esse serviço de manutenção nunca foi realizado desde a construção da ETE.

6. CONCLUSÕES

O sistema de jardins flutuantes, implantado na Estação de Tratamento de Esgoto, no bairro do Glória, em Campina Grande – PB apresentou funcionalidade naquilo que se propõe, ou seja, ajudar no tratamento dos efluente.

Houve clara redução, pelo sistema de jardins flutuantes, da DBO na lagoa anaeróbia, apresentando cerca de 19% de redução só entre o P2 e P3. Ocorreu uma estabilização na DQO, em que os dados variaram menos que nos pontos P1 e P2, e a eficiência na primeira lagoa ainda foi satisfatória.

Ainda sobre o sistema de jardins, ele provocou um aumento na turbidez, muito por conta do aumento da clorofila-a juntamente com os sólidos em suspensão, assim como o aumento da condutividade elétrica, pelo sistema radicular das plantas, em que ocorre a degradação de compostos complexos em mais simples, aumentando assim a quantidade de íons dissolvidos.

Quanto a comparação com os dados da prestadora do serviço (CAGEPA) em anos anteriores, observou-se as diferenças nas cargas de entrada de saída da ETE ano a ano, como consequência da variação nas cargas de entrada e condições de funcionamento e manutenção do ano de cada dado. Informações incompletas, como quais métodos foram utilizados para avaliação dos parâmetros utilizados pela CAGEPA e o estado da ETE antes da implantação do sistema, deixaram lacunas, impossibilitando uma comparação mais completa e estabelecimento de taxas de redução e impacto do sistema de jardins flutuantes antes e após sua instalação.

Assim, com base nos resultados obtidos, é possível utilizá-los para entender melhor o funcionamento do sistema de jardins flutuantes implantado em uma lagoa anaeróbia em uma região do semiárido nordestino brasileiro. Com ele é possível perceber que há uma redução na matéria orgânica biodegradável, mas o mesmo não ocorre com tanta eficiência na matéria orgânica não biodegradável, além de aumentar um pouco a condutividade elétrica e a turbidez na lagoa anaeróbia, mas que não reflete tanto no tratamento da lagoa facultativa.

O estudo feito no presente trabalho foi satisfatório, porém com algumas dificuldades para a realização, como a pandemia da Covid – 19 que fez com que o sistema estivesse parado por aproximadamente dez meses, a falta de manutenção da ETE, bem como suas tubulações entupidas, equipamentos que apresentaram defeito ou não estavam calibrados de forma precisa e o fornecimento de dados por parte da concessionária, que apresentaram grandes diferenças em alguns parâmetros.

Após toda a análise feita, é importante dar continuidade ao estudo da fitorremediação, por sistemas de jardins flutuantes, para que os pontos positivos apresentados sejam ainda mais

impactantes, e os pontos que deixaram a desejar possam ser melhor avaliados para que se consiga encontrar uma solução, melhorando assim o sistema de tratamento de esgotos no Brasil, para que as águas que sejam lançadas nos corpos d'água estejam cada vez mais limpas e com um custo do sistema mais acessível.

De forma geral o sistema de jardins flutuantes possui um grande potencial de melhoria do tratamento de efluentes, aliado com os sistemas convencionais das Estações de Tratamento de Esgoto, tais como lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação, mas ainda é necessário encontrar uma taxa de cobertura superficial adequada para otimizar o tratamento, e também monitorar o sistema por mais tempo, para ter maior robustez dos dados, diante das grandes variações apresentadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA, 2021. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=51&date_chart=2021-10-07&period=year>. Acesso em: outubro de 2021.

APHA - *American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*. 22 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2012.

ARAÚJO, R. E. da C. L. **Estudo do desempenho de um sistema de lagoas de estabilização no tratamento de águas residuárias de bairros populares (Glória I, Glória II, Jardim América e Belo Monte) da cidade de Campina Grande, Paraíba**. 2007. 96 f. (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (Paraíba), 2007.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FAULWETTER, J. L.; BURR, M.D.; CUNNINGHAM, A. B.; STEWART, F. M.; CAMPER, A. K.; STEIN, O.R. *Floating treatment wetlands for domestic wastewater treatment*. *Water Science & Technology*, v. 64, n.10, 2011, p. 208-2095.

FLORENTINO, I. Q. B.; **Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira – PB**. Campina Grande, p. 131. 1992.

GOMES, E. F. **Perdas de vazão e seus efeitos na operação do Sistema de Esgotamento Sanitário de Campina Grande-Pb**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG. Campina Grande, 2013.

Google Earth. **Estação de tratamento de esgoto do bairro Glória**. 2018. Disponível em:<<https://www.google.com.br/maps/place/ETE+da+Gl%C3%B3ria/@-7.217271,-35.8505121,155m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x7ac1f72e9677ce1:0x2de560575af6fdac!8m2!3d-7.2174242!4d-35.8505308>>. Acesso em: maio de 2021.

HARDING, B. *Biohaven floating islands*. In: *landscape SA*. 2009, p. 30– 2. Disponível em: <http://www.floatingislandinternational.com/wp-content/plugins/fii/news/5.Pdf>. Acesso em: maio de 2021.

Ijaz, A.; Shabir, G.; Khan, Q. M.; Afzal, M. **Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands**. *Ecol. Eng.*, 84: 58-66. 2015

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. IBGE Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em: maio, 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento**. 2021. Disponível em:<<https://www.tratabrasil.org.br/estudos/ranking-do-saneamento/itb/novo-ranking-do-saneamento-2021>>. Acesso em: maio de 2021.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. **Fitorremediação: Plantas Como Agentes De Despoluição?. Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 17, p. 9–18, 2007.

LIMA, M. N. F. et al. **Estudo das características das águas residuárias urbanas na cidade de Campina Grande, Paraíba, dentro do contexto atual**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande-PB, 2016. Disponível em <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VII-043.pdf>>. Acesso em: maio de 2021.

LOPES et al. **Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba**. RBRH, vol. 21, n. 1, 2016.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas Sustentáveis de Esgoto**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 Ed. Porto Alegre: AMGH, 2016, 1980 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse**. 3 Ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc. International Edition, 1991. 1334p.

NÓBREGA, D. F. **O uso de jardins flutuantes na redução do fósforo e do nitrogênio e sua influência na produção de clorofila-a**. UFCG. Campina Grande, p. 48. 2021.

OLIVEIRA, D. M. de et al. **Fitorremediação: o estado da arte**. Série Tecnologia Ambiental, Rio de Janeiro, 50 f. 2006.

PARAIBA. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). **Estação de tratamento de esgotos do loteamento Gloria I e II, Campina Grande – PB**. Joao Pessoa, PB, 2005, 15p.

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico. Secretaria de Planejamento. **Diagnóstico da Situação dos Serviços de Saneamento Básico**. In: CONFERÊNCIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE CAMPINA GRANDE, 1., 2014, Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFCG, 2014.

Relatório Técnico do Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande (PMSB). 2015

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Portal Eletrônico Eletrônico Eletrônico. Brasília: Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>. Acesso em: maio de 2021.

VALENTE, José Pedro Serra, PADILHA, Pedro Magalhães e SILVA, Assunta Maria Marques. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP.** Eclética Química [online]. 1997, v. 22. Acessado em: abril de 2021, pp. 49-66. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>>. Epub 25 Maio 2000. ISSN 1678-4618.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** v.2. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996, 209 p.

YEH, N.; YEH, P.; CHANG, Y-H. *Artificial floating islands for environmental improvement.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, 2015, p. 616–622.