



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

GUILHERME PEDRO SCHÄFFER

A INFLUÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SERRARIA NA
QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO GUAÍBA/RS

PORTO ALEGRE – RS

2024

A INFLUÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SERRARIA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO GUAÍBA/RS

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção de título de Bacharel em Geografia do
Instituto de Geociências da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Luís Alberto Basso.

PORTO ALEGRE – RS
2024

“A vida passa rápida demais, e se você não parar de vez em quando para vivê-la, acaba perdendo o seu tempo”.

Ferris Bueller - Curtindo a Vida Adoidado – 1986

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais, Lotte e Gilberto, ao meu irmão Felipe e a minha cunhada Cássia por todo o apoio e cuidado ao longo da vida e pelo suporte durante a minha graduação. Vocês tornaram isso possível! Aos meus tios e tias, primos e avô por todo o apoio e momentos incríveis vividos.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Luís Alberto Basso por todos os ensinamentos passados ao longo da graduação, seja nas aulas ou durante os anos em que fui seu bolsista de iniciação científica. Obrigado por topar todas as minhas ideias e por dar a motivação necessária.

A todos os Professores do IGEO pelos ensinamentos, conversas e saídas de campo. Graças a vocês me apaixonei ainda mais pela Geografia.

À minha namorada Nanda, também estudante de Geografia, por todo o carinho, apoio e momentos que passamos juntos. Agradeço demais por poder compartilhar momentos contigo durante a graduação e vida. Obrigado pelo amor e parceria.

Aos meus grandes amigos de curso, Batistella e Nicholas pela parceria, risadas e momentos de Grêmio. A todas outras amizades que fiz ao longo do curso: Vitão, Matheus, Carol, Dani, Laura, Isabel, Gabriel, Vitória e Gustavos (Laky e Leal).

Agradeço a todo pessoal da SEMA/RS pela convivência durante o meu período de estágio, em especial a Sumirê, por me acolher tão bem e por toda a ajuda na minha vida profissional e acadêmica. Ao Lucas, Ailton e Gabi por todos ensinamentos na área de Geoprocessamento.

Ao Gustavo Utpott pela amizade, rolês de bike e por toda a ajuda quando o assunto é estatística. E a toda gurizada que conheci nos anos em que cursei estatística: Gabriel, Bruno e Fred.

E aos meus grandes irmãos de praia, Gabriel e Dudu, pelos dias de surfe e amizade em Tramandaí. A convivência com vocês fez o período de Ensino Remoto ser muito mais tranquilo.

RESUMO

O Lago Guaíba é o principal corpo hídrico da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (BHLG). A BHLG possui uma área de 2.919 km² compreendendo cerca de 14 municípios com uma população total estimada de 1.344.982 habitantes e uma taxa de urbanização de 98,5%. Como resultado dos investimentos do Projeto Integrado Socioambiental (PISA), a partir do ano de 2014 começou a operar em Porto Alegre a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Serraria, juntamente com o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) Ponta da Cadeia. A operação conjunta das duas obras possibilitou que uma grande quantidade de esgoto sanitário, antes lançado in natura no canal de navegação do Lago Guaíba, fosse destinado ao tratamento na ETE Serraria, capaz de tratar até 4100 L/s de esgoto. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência que implantação da ETE Serraria teve sobre a qualidade da água do Lago Guaíba. Os dados utilizados na pesquisa foram cedidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) e são referentes as amostras de água analisadas entre os anos de 2010 e 2022 no Lago Guaíba. Os procedimentos metodológicos consistiram na análise de dados de nove parâmetros de qualidade da água, a aplicação de técnicas estatísticas como a Análise de Componentes Principais (ACP) e Teste de Wilcoxon, a classificação dos parâmetros segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, e o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) com o intuito de comparar a qualidade da água do Lago Guaíba entre os períodos anterior a inauguração da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014) e posterior a sua inauguração (abril de 2014 a novembro de 2022). Para as análises estatísticas, utilizou-se os *softwares* Excel e R, enquanto para o cálculo do IQA, foi utilizado o *software Qualigraf*. A ACP para ambos os períodos teve 75% de sua variância total explicada pelos quatro primeiros componentes principais, sendo o primeiro componente principal da ACP do período anterior fortemente relacionado à DBO, Escherichia Coli e Fósforo Total, enquanto o primeiro componente do período posterior explicado majoritariamente pela Turbidez e Sólidos Totais e Fósforo Total. Os resultados do teste de Wilcoxon apontaram para medianas significativamente diferentes para o parâmetro DBO nos pontos 41B e 86A, e para Escherichia Coli nos pontos 38, 86A, 41B, 45E, 50 e 60. A classificação segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA teve o Fósforo Total categorizado como classe 4 em todos os pontos de monitoramento do DMAE, enquanto a Escherichia Coli foi classificada como classe 4 principalmente nos pontos mais próximos a áreas urbanizadas, enquanto nos demais pontos apresentou melhorias nos anos posteriores a 2014. Quanto ao IQA, se verificou que o Lago Guaíba possui uma boa qualidade da água, principalmente nos pontos situados mais distantes da área de maior concentração urbana (50, 60 e 47-8D). Em suma, a metodologia aplicada e alguns dos resultados demonstraram que a ETE Serraria tem desempenho satisfatório, basicamente em relação à diminuição da concentração do parâmetro Escherichia Coli, principal indicador de contaminação por esgoto doméstico, nas águas do Lago Guaíba.

Palavras-chaves: Poluição hídrica; Índice de Qualidade de Água (IQA); Resolução 357/2005 Conama; análise de componentes principais.

ABSTRACT

The Guaíba Lake is the main water body of the Guaíba Lake Hydrographic Basin (BHLG). The BHLG has an area of 2,919 km² comprising about 14 municipalities with a total estimated population of 1,344,982 inhabitants and an urbanization rate of 98.5%. As a result of investments from the Socio-Environmental Integrated Project (PISA), since 2014, the Sewage Treatment Plant (ETE) Serraria, along with the Sanitary Sewer System (SES) Ponta da Cadeia, has been operating in Porto Alegre. The joint operation of these two works enabled a large amount of sewage, previously discharged untreated into the navigation channel of the Guaíba Lake, to be treated at the ETE Serraria, capable of treating up to 4100 L/s of sewage. This study aims to analyze the influence that the implementation of the ETE Serraria had on the water quality of the Guaíba Lake. The data used in the research were provided by the Municipal Department of Water and Sewage (DMAE) and refer to water samples analyzed between the years 2010 and 2022 in the Guaíba Lake. The methodological procedures consisted of analyzing data from nine water quality parameters, applying statistical techniques such as Principal Component Analysis (PCA) and Wilcoxon Test, classifying the parameters according to Resolution No. 357/2005 of CONAMA, and calculating the Water Quality Index (WQI) in order to compare the water quality of the Guaíba Lake between the periods before the inauguration of the ETE Serraria (January 2010 to March 2014) and after its inauguration (April 2014 to November 2022). For statistical analyses, Excel and R software were used, while Qualigraf software was used for WQI calculation. PCA for both periods explained 75% of its total variance by the first four principal components. The first principal component of the PCA from the previous period was strongly related to BOD, *Escherichia coli*, and Total Phosphorus, while the first component of the later period was mainly explained by Turbidity and Total Solids and Total Phosphorus. Wilcoxon test results showed significantly different medians for the BOD parameter at points 41B and 86A, and for *Escherichia coli* at points 38, 86A, 41B, 45E, 50, and 60. Classification according to CONAMA Resolution No. 357/2005 categorized Total Phosphorus as class 4 at all DMAE monitoring points, while *Escherichia coli* was classified as class 4 mainly at points closer to urbanized areas, with improvements in the years after 2014 in other points. Regarding the WQI, it was found that the Guaíba Lake has good water quality, especially at points farther from the area of higher urban concentration (50, 60, and 47-8D). In summary, the applied methodology and some of the results demonstrated that the ETE Serraria has satisfactory performance, mainly concerning the decrease in *Escherichia coli* concentration, the primary indicator of contamination by domestic sewage, in the waters of the Guaíba Lake.

Keywords: Water pollution; Water Quality Index (WQI); CONAMA Resolution No. 357/2005; principal component analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Situação e localização geográfica da BHLG	18
Figura 2 - Diagrama ombrotérmico para a Estação Porto Alegre do INMET	20
Figura 3 - Mancha urbana na BHLG nos anos de 1985 e 2022	21
Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto Serraria, Porto Alegre/RS	22
Figura 5 - Foz do Arroio Dilúvio	23
Figura 6 – Lago Guaíba/RS e localização dos Pontos de Monitoramento de qualidade da água do DMAE e da ETE Serraria	45
Figura 7 – Concentração média do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	53
Figura 8 - Boxplot do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	54
Figura 9 – Concentração média do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a	55
Figura 10 - Boxplot do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	56
Figura 11 – Concentração média do parâmetro E.Coli (NMP/100ML) em escala logarítmica nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	58
Figura 12 - Boxplot do parâmetro <i>E.Coli</i> (NMP/100ML) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	58

Figura 13 – Média do parâmetro pH nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	60
Figura 14 - Boxplot do parâmetro pH nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	60
Figura 15 – Concentração média do parâmetro Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	62
Figura 16 - Boxplot do parâmetro Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	62
Figura 17 – Concentração média do parâmetro Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	64
Figura 18 - Boxplot do parâmetro Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	64
Figura 19 – Média do parâmetro Temperatura (°C) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	65
Figura 20 - Boxplot do parâmetro Temperatura (°C) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	66
Figura 21 – Média do parâmetro Turbidez (UNT) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	68
Figura 22 - Boxplot do parâmetro Turbidez (UNT) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria	

(jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)68

Figura 23 – Concentração média do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)70

Figura 24 - Boxplot do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa populacional dos municípios que compõem a BHLG no ano de 2020	19
Tabela 2 – Parâmetros e pesos relativos do IQA	29
Tabela 3 – Classificação do IQA	30
Tabela 4 - Limites para o enquadramento de corpos hídricos de água doce segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA	37
Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	49
Tabela 6 - Variação percentual na média dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS entre o período anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	52
Tabela 7 – Cargas fatoriais das variáveis para os CP encontrados no período anterior a implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014).....	73
Tabela 8 – Cargas fatoriais das variáveis para os CP encontrados no período posterior a implantação da ETE Serraria (abril de 2014 a novembro de 2022).....	74
Tabela 9 - Teste de normalidade a partir do teste de Shapiro-Wilk.....	76
Tabela 10 – Medianas de referência utilizadas no teste de Wilcoxon	77
Tabela 11 – Resultados do teste de Wilcoxon comparando a mediana dos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)	78
Tabela 12 – Classificação dos parâmetros de qualidade de água dos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS no período 2010-2022 segundo a Resolução nº357 do CONAMA de 2005.	82
Tabela 13 - Índice de Qualidade da Água Anual entre os anos de 2010 e 2022 no Lago Guaíba/RS.....	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Principal.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 ÁREA DE ESTUDO.....	17
1.4.1 ETE Serraria E SES Ponta Da Cadeia	22
2. REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 RECURSOS HÍDRICOS E BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
2.2 POLUIÇÃO HÍDRICA	25
2.3 URBANIZAÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA.....	26
2.4 SANEAMENTO BÁSICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA	27
2.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	28
2.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	30
2.6.1 Oxigênio Dissolvido (OD)	31
2.6.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	31
2.6.3 Coliformes Termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>)	32
2.6.4 Potencial Hidrogeniônico (PH)	32
2.6.5 Nitrogênio Total (NT).....	32
2.6.6 Fósforo Total (FT).....	33
2.6.7 Temperatura	33
2.6.8 Turbidez	34
2.6.9 Sólidos Totais (ST).....	34
2.7 RESOLUÇÃO CONAMA N° 357/2005.....	34
2.8 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	37
2.9 TESTE DE WILCOXON	41
3. METODOLOGIA	42
3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS	43
3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	43
3.3 CÁLCULO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS, ANÁLISES ESTATÍSTICAS E IQA	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	48

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA POR PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	52
4.2.1 Oxigênio Dissolvido (OD)	52
4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	54
4.2.3 <i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>).....	57
4.2.4 Potencial Hidrogeniônico (PH)	59
4.2.5 Nitrato (NO ₃).....	61
4.2.6 Fósforo Total (FT).....	63
4.2.7 Temperatura	65
4.2.8 Turbidez	67
4.2.9 Sólidos Totais (ST).....	69
4.4 TESTE DE WILCOXON	75
4.5 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A RESOLUÇÃO N°357/2005 DO CONAMA	80
4.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
6. REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para todos os processos metabólicos dos organismos vivos e um recurso natural indispensável para a sobrevivência de todos os indivíduos. Ela tem como função primordial manter a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres, sustentando também a produção agrícola ao redor do planeta. Portanto, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são estratégicos para o homem e demais seres vivos (TUNDISI, 2003). Garantir o acesso e a qualidade dos recursos hídricos é considerado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um dos 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável da Agenda 2030.

Cerca de 97,5% do volume total de água existente no planeta Terra está nos oceanos, como água salgada, e o restante (2,5%) se encontra como água doce. Destes 2,5% de água doce contida no nosso planeta, a maior parte (67,8%) está armazenada nas geleiras e calotas polares. A água, caracterizada na forma superficial, que configura as formas de armazenamento mais acessíveis para o ser humano, como em rios e lagos, representa menos de 1% do volume de água doce existente na Terra.

De acordo com Casali (2008), um problema que cada vez mais afeta o cotidiano de parte da população do planeta é a diminuição da quantidade e qualidade da água potável a níveis que comprometam até mesmo a sobrevivência humana. No meio urbano, este problema relaciona-se com o desordenado crescimento da população mundial e sua concentração em grandes cidades, muitas delas mal estruturadas. Já no meio rural, a contaminação da água está ligada principalmente às atividades agrícolas ali desenvolvidas, as quais possuem diferentes níveis de impactos ao ambiente de acordo com a tecnologia utilizada. Esses efluentes geralmente são produtos líquidos e gasosos, derivados das atividades agrícolas, de processos industriais e, também, de esgotos domésticos urbanos e resíduos sólidos lançados no ambiente, entre outros.

O Lago Guaíba, principal corpo hídrico da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (BHLG), é fonte de abastecimento para uma população superior a 1 milhão de habitantes. Ademais, esse manancial consiste em um importante via de navegação,

responsável por interligar a região central do estado do Rio Grande do Sul com a Laguna dos Patos, que por sua vez deságua no Oceano Atlântico. Certas regiões do Lago são utilizadas para diversas atividades, como recreação de contato primário, pesca, irrigação e habitat de espécies, mostrando a grande influência do Guaíba como fonte de turismo, lazer e harmonia paisagística para os municípios inseridos na Bacia (BENDATI *et al.*, 2000).

Segundo Basso (2012), o Lago Guaíba é o receptor de toda a poluição gerada nas demais sub-bacias que o formam, sendo a maior fonte de contaminação as cargas orgânicas advindas dos esgotos domésticos gerados no município de Porto Alegre, responsáveis por despejar 2000 L s^{-1} de esgoto continuamente. A maior parte das cargas poluentes é encontrada na margem esquerda do Lago, a qual recebe as águas dos arroios que drenam a capital do estado, principalmente o Arroio Dilúvio. Já na margem direita a qualidade da água é melhor, em virtude da menor concentração urbana ali estabelecida.

Com o intuito de melhorar a qualidade da água do Lago Guaíba, a Prefeitura de Porto Alegre lançou em 2010, o PISA (Projeto Integrado Socioambiental), que tinha como principal objetivo alcançar o índice de 80% de tratamento do esgoto doméstico no município. As principais obras desse programa foram a construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Serraria e a implantação de novos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) com o propósito de transportar o esgoto bruto das estações de bombeamento para as estações de tratamento de esgoto (DMAE, 2017).

O presente trabalho visa analisar a influência que a principal obra do PISA, a ETE Serraria, inaugurada em abril de 2014, juntamente com a implantação do SES Ponta da Cadeia, teve sobre a qualidade da água do principal manancial da BHLG, através da utilização de métodos estatísticos, como a Análise de Componentes Principais e o teste de Wilcoxon, além de relacionar os valores dos parâmetros de qualidade da água segundo os limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA).

Tal estudo foi realizado a partir de dados de qualidade da água disponibilizados pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) do município de Porto Alegre que compreende o período entre os anos de 2010 a 2022.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como dito anteriormente, a água é um recurso natural imprescindível para a sobrevivência e o bem-estar da humanidade, tal como para o desenvolvimento de grande parte das atividades econômicas exercidas (BASSO, 1999). Do ponto de vista sanitário, o abastecimento de água tem como objetivo controlar e prevenir doenças, implantar hábitos higiênicos e propiciar conforto para as pessoas. O acesso ao abastecimento de água e tratamento de esgoto aumenta a expectativa de vida da população (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1981).

A ocupação do espaço urbano pelo homem traz a importância contínua de se ter uma visão ampla sobre as necessidades da população, sobre os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e dos comportamentos naturais e antrópicos para que seja possível compatibilizar necessidades crescentes com recursos cada vez mais limitados (TUCCI, 2001).

De acordo com Basso (1999) a disponibilidade de água potável vem diminuindo substancialmente em decorrência do crescimento da demanda em virtude do crescimento populacional, urbanização, desenvolvimento industrial, produção de alimento em grande escala, expansão da fronteira agrícola, entre outros motivos. A água do Lago Guaíba possui múltiplos usos, como: manancial de abastecimento hídrico para uma população superior a 1 milhão de habitantes, diluição de efluentes, transporte e navegação, pesca, turismo e lazer. Entretanto tais usos se modificaram ao longo do tempo e a poluição crescente do lago tornou-se um fator limitante para algumas atividades (ANDRADE, 2018).

É importante que haja o investimento do poder público em ações que visem melhorar e ampliar o acesso ao saneamento básico à população. As obras do PISA, iniciadas no ano de 2010, tendo como a sua principal obra a ETE Serraria, inaugurada em 2014, consistiram em um importante marco no desenvolvimento do município de Porto Alegre. Tais obras representaram um custo total superior a 670 milhões de reais, onde cerca de 40 milhões de reais foram referentes a ETE Serraria (DMAE, 2018).

Análises estatísticas com abordagens multivariadas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) são vastamente utilizadas em trabalhos das mais diversas disciplinas (ABDI; WILLIAMS, 2010). Segundo Pinto (2021), a aplicação da ACP em dados de qualidade da água pode contribuir com o conhecimento acerca das fontes de poluição, variações temporais e monitoramento das condições de qualidade da água.

Testes não-paramétricos, como o teste de Wilcoxon, são métodos para a comparação de duas amostras não pareadas (UFSC, 2015). Na área ambiental, Dornelas, Machado e Sperling (2009), utilizaram-se do teste de Wilcoxon para avaliar se as terras úmidas (wetlands) plantadas apresentaram melhores indicadores para o tratamento de efluentes, em comparação com as não plantadas. Portanto, a aplicação do teste pode evidenciar a mudança da qualidade da água de um corpo hídrico ao longo do tempo.

Logo, monitorar a qualidade da água de um manancial de grande importância socioeconômica, e principalmente ambiental para a Região Metropolitana de Porto Alegre, como o Lago Guaíba, é crucial pois auxilia a identificar as diversas fontes de contaminação ali presentes, contribuindo para a tomada de decisão acerca da conservação do Lago por parte das autoridades competentes. Ademais, acompanhar e comparar a qualidade da água do Lago Guaíba entre os períodos anterior e posterior à inauguração da ETE Serraria busca evidenciar a contribuição que a implantação das obras do PISA tiveram sobre a qualidade da água do Lago Guaíba.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência que a Estação de Tratamento de Esgoto Serraria, inaugurada em abril de 2014, teve sobre a qualidade da água do Lago Guaíba.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal do presente estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Calcular a estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água no Lago Guaíba no período anterior à implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014) e no período posterior a sua implantação (abril de 2014 a novembro de 2022).

- Desenvolver um modelo baseado no método de Análise de Componentes Principais (ACP) para a identificação das fontes de poluição no Lago Guaíba.

- Realizar o teste de Wilcoxon para avaliar se as medianas dos principais parâmetros responsáveis pela contaminação do Lago Guaíba são significativamente diferentes após a inauguração da ETE Serraria.

- Relacionar os dados de qualidade da água, para os mesmos períodos, com a Resolução nº357 de 2005 do CONAMA

- Calcular, para os mesmos períodos, o Índice de Qualidade da Água (IQA) seguindo a metodologia da CETESB.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

O Lago Guaíba é o principal corpo hídrico da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. A BHLG está localizada na porção centro-leste do estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas de latitude 29°55' S e 30°37' S e as longitudes 50°56' O e 51°46' O, como demonstrado na Figura 1. A Bacia possui uma área total de 2973,1 km², dos quais 482 km² representam a área do Lago Guaíba, e 28,1 km² corresponde a região do Delta do Jacuí (COMITEGUAIBA, 2016). O Lago possui a capacidade de armazenar cerca de 1,5 bilhão de m³ de água (DMAE, 1986).

De acordo com Miyoshi (2017) o Estado do Rio Grande do Sul, do ponto de vista hidrográfico, é separado em três diferentes áreas: Região Hidrográfica do Guaíba (regiões central e nordeste), Região Hidrográfica do Rio Uruguai (regiões norte e oeste) e a Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas (regiões sul e sudoeste). A Região Hidrográfica do Guaíba é dividida em nove diferentes bacias: Lago Guaíba, Caí, Sinos, Gravataí, Taquari-Antas, Alto Jacuí, Pardo, Vacacaí e Baixo Jacuí (SEMA, 2020). Os rios Caí, Sinos, Gravataí e Jacuí desaguam no Lago Guaíba, formando o Delta do Jacuí. Segundo Pessoa (2017), os rios Caí, Sinos e Gravataí encontram-se entre os dez rios mais poluídos do país, muito devido aos baixos índices de coleta e tratamento do esgoto na região. Além dos efluentes advindos dos rios formadores do Delta do Jacuí, o Lago Guaíba recebe a água de diversos arroios que cortam alguns municípios que formam a bacia, com destaque para os que fluem na sua margem esquerda, no município de Porto Alegre, como os Arroios Dilúvio, Cavallhada e do Salso.

A BHLG abrange de forma total ou parcial 14 municípios do estado do Rio Grande do Sul: Barão do Triunfo (2,62% da área do município está inserida na bacia), Barra do Ribeiro (93,41%), Canoas (28,84%), Cerro Grande do Sul (14,3%), Eldorado do Sul (22,89%), Guaíba (100%), Mariana Pimentel (51,57%), Nova Santa Rita (1,95%), Porto Alegre (81,19%), Sentinela do Sul (31,62%), Sertão Santana (91%), Tapes (17,06%), Triunfo (0,49%) e Viamão (9,14%) (SEMA, 2020). A estimativa populacional para os municípios da BHLG é apresentada na Tabela 1. A taxa de urbanização da Bacia é de 98%, superior às taxas do Brasil e do Rio Grande do Sul, 84% e 85,1%, respectivamente (IBGE, 2010).

Figura 1 - Situação e localização geográfica da BHLG

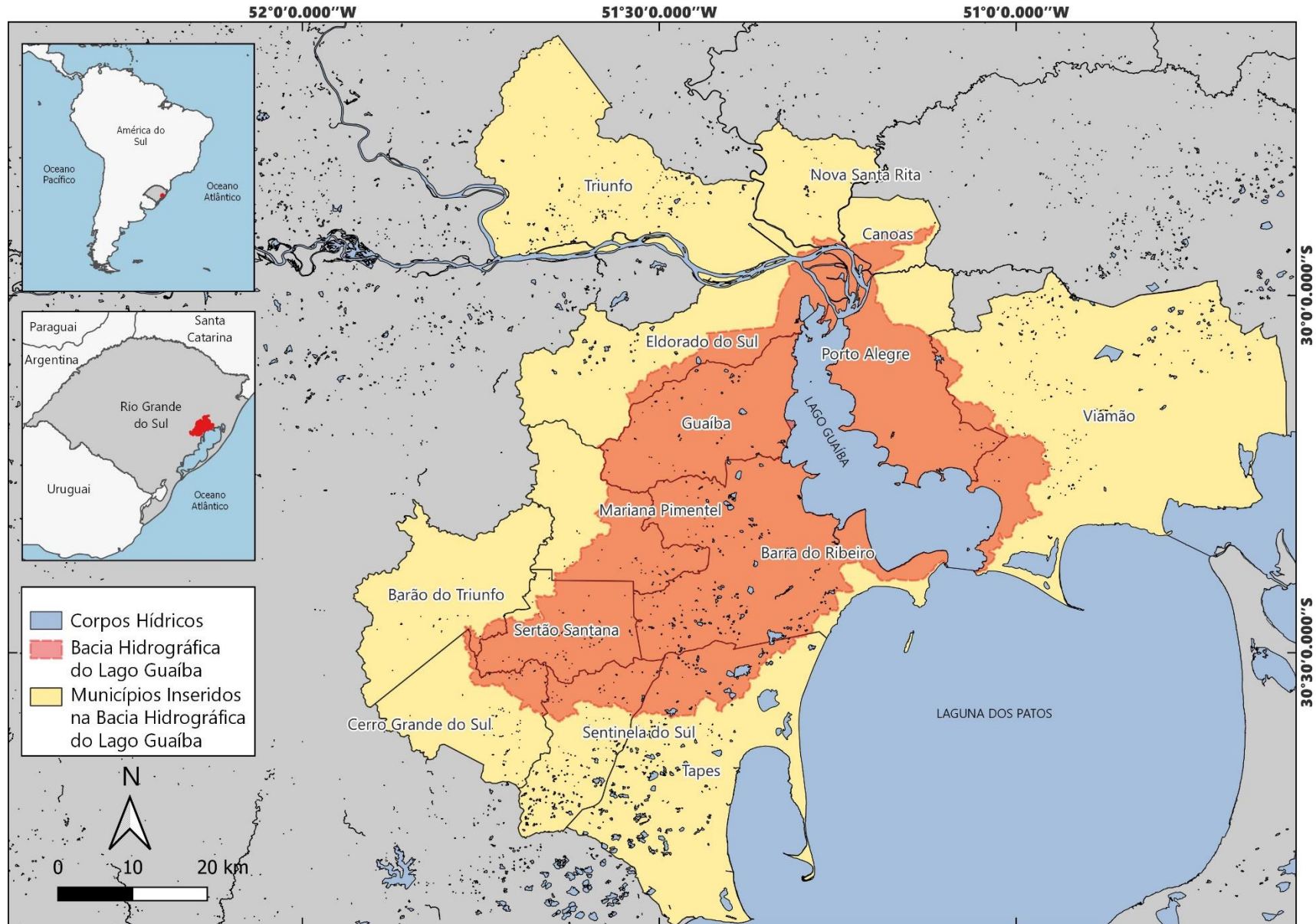


Tabela 1 - Estimativa populacional dos municípios que compõem a BHLG no ano de 2020

Município	População da porção do município inserida na Bacia (n° de habitantes)		
	Total	Urbana	Rural
Barão do Triunfo	255	-	255
Barra do Triunfo	13.533	10.018	3.515
Canoas	114.106	114.106	-
Cerro Grande do Sul	1.219	-	1.219
Eldorado do Sul	33.625	31.614	2.011
Guaíba	98.239	96.031	2.208
Mariana Pimentel	2.859	658	2.200
Nova Santa Rita	274	274	-
Porto Alegre	1.037.274	1.037.274	-
Sentinela do Sul	1.320	-	1.320
Sertão Santana	6.104	1.428	4.676
Tapes	291	-	291
Triunfo	4	-	4.676
Viamão	35.880	33.379	2.500
Total	1.344.982	1.324.782	20.199

Fonte: SEMA (2020)

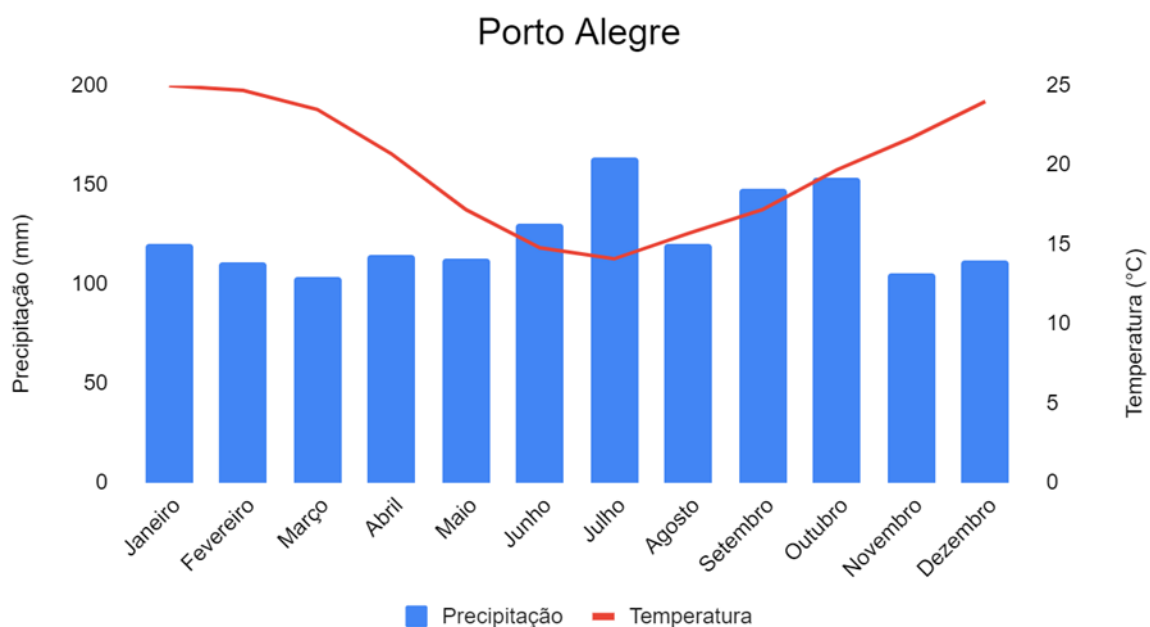
A pesquisa de Andrade et al. (2012) evidencia que existe um elevado nível de poluição no Lago Guaíba, principalmente para os parâmetros *Escherichia Coli* e Demanda Bioquímica de Oxigênio nos pontos de amostragem mais próximos da foz do Arroio Dilúvio. A alta concentração de tais parâmetros aponta para uma elevada descarga de esgoto cloacal, de origem doméstica.

Segundo o sistema de classificação climática proposto por Köppen, a BHLG está majoritariamente sob a influência do tipo de clima Subtropical úmido (Cfa), caracterizado por um regime pluviométrico bem distribuído mensalmente, com médias mensais entre 100 e 170 mm. Para a temperatura média mensal, o clima Cfa compreende temperaturas entre -3 °C e 18 °C nos meses mais frios, e a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (ALVARES et al., 2013).

A partir das Normais Climatológicas do período 1991-2020 calculadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) para a estação localizada no

município de Porto Alegre (30°05" de latitude Sul e 51°17" de longitude Oeste e situada a 41,18 m de altitude) a temperatura média anual compensada foi de 19,9 °C, tendo as temperaturas médias mensais variando de 14 °C (julho) a 25 °C (janeiro e fevereiro) conforme observado no diagrama ombrotérmico (figura 2). A precipitação média anual foi de 1494,6 mm, sendo a média mensal mínima observada em março (103,3 mm) e a máxima em julho (163,5 mm).

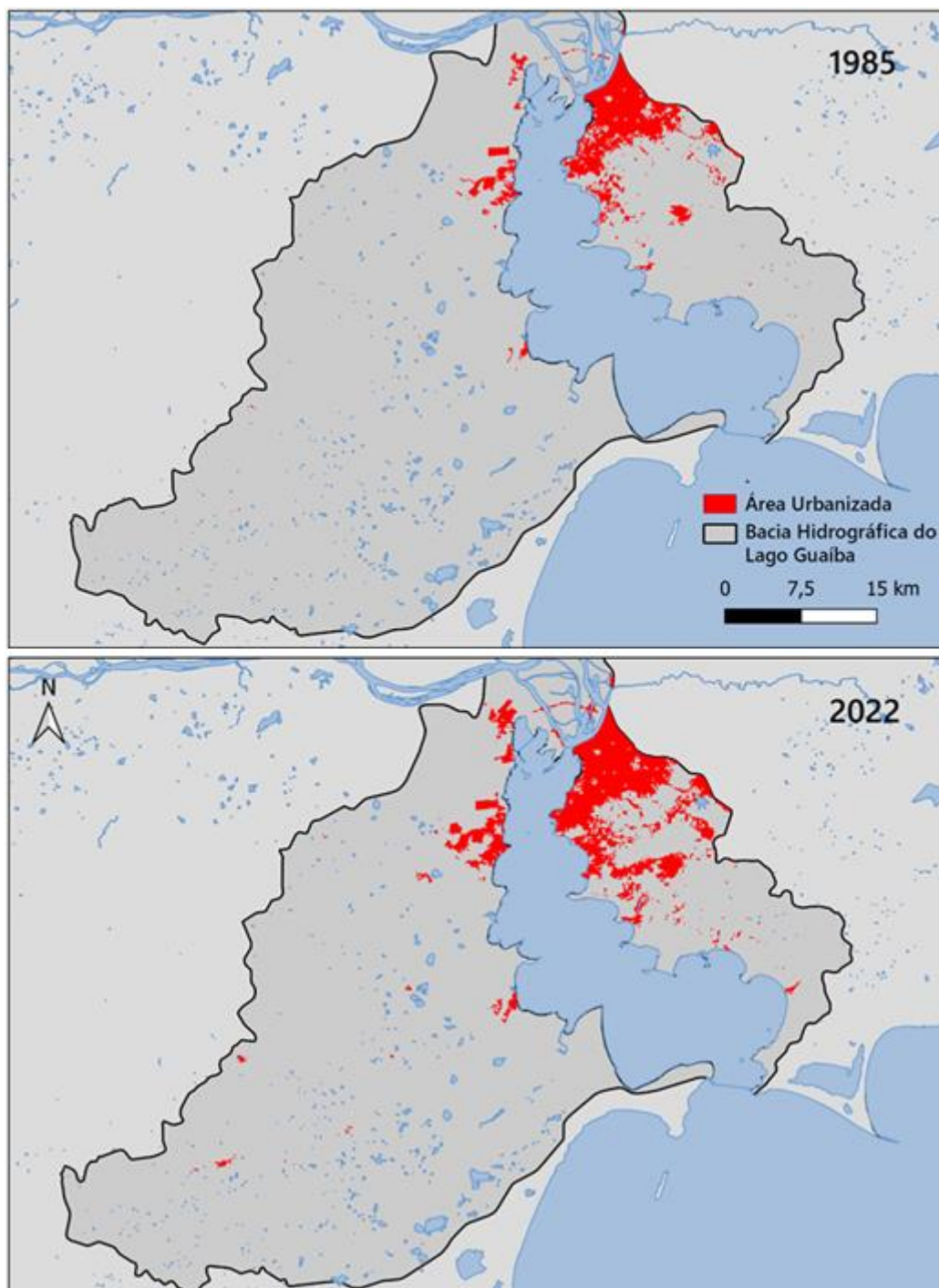
Figura 2 - Diagrama ombrotérmico para a Estação Porto Alegre do INMET



Fonte: Elaborado pelo autor

O uso e cobertura do solo da BHLG, bem como a sua mudança ao longo de 35 anos, foi descrita por Hinata (2023) a partir de dados da Coleção 6 do MapBiomas. Os principais usos e coberturas da área da Bacia no ano de 2020 são Formação Florestal (22,1%), Rio e Lago (18,8%), Formação Campestre (18,6%), Mosaico de Agricultura/Pastagem (8%), Arroz (8%), Silvicultura (7,2%) e Área Urbanizada (6,2%). O uso do solo representado pela urbanização está majoritariamente concentrado no município de Porto Alegre, e sua área teve uma ampliação de cerca de 49% entre os anos de 1985 e 2020 (Figura 3).

Figura 3 - Mancha urbana na BHLG nos anos de 1985 e 2022



Fonte: Adaptado de Hinata (2023)

1.4.1 ETE Serraria e SES Ponta Da Cadeia

A ETE Serraria (Figura 4) inaugurada no ano de 2014 e localizada na zona sul do município de Porto Alegre possui um alcance populacional de 1.080.000 habitantes e capacidade para tratar até 4100 l/s de esgoto (LEUCK, 2022). Apesar do elevado poder de tratamento, o Plano Municipal de Saneamento Básico (2015) indica que o alto índice de capacidade de tratamento de esgoto não resulta necessariamente em esgoto efetivamente coletado e tratado, demonstrando que ainda existem desafios a serem cumpridos, principalmente no que diz respeito à coleta desses efluentes.

Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto Serraria, Porto Alegre/RS



Fonte: Gel Engenharia

Todo o esgoto coletado através dos SES Ponta da Cadeia, Cavalhada, Zona Sul e Salso são destinados para o tratamento na ETE Serraria (Figura 4). Até a inauguração da ETE, todo o esgoto do SES Ponta da Cadeia era descarregado diretamente no canal de Navegação do Lago Guaíba. O sistema possui 773,19 km de rede coletora e, segundo dados do DMAE (2015), atende uma população estimada de 534.192 habitantes, representando 37,9% da população da capital do Estado do Rio Grande do Sul. O SES Ponta da Cadeia abrange uma área da cidade de Porto Alegre

marcada pela intensa urbanização e cortada no sentido leste-oeste pelo Arroio Dilúvio (Figura 5), receptor de diversos efluentes domésticos e da drenagem urbana.

Figura 5 - Foz do Arroio Dilúvio



Fonte: Sindicato dos Engenheiros - RS

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECURSOS HÍDRICOS E BACIAS HIDROGRÁFICAS

Segundo o World Water Assessment Programme (2012), a água é um recurso natural essencial para a manutenção dos ecossistemas e, além disso, inúmeras atividades econômicas e sociais dependem dela. O gerenciamento deste recurso de forma adequada é de extrema importância, visando assim a sua proteção e utilização para atender as necessidades dos seres vivos.

Aproximadamente 71% da superfície terrestre é coberta por água, sendo 96,5% deste montante localizado nos oceanos. A água também está presente em outras formas, como vapor d'água, rios, lagos, geleiras, calotas polares e, também, como umidade do solo ou em compartimentos subterrâneos como os aquíferos. Do total de água existente em nosso planeta, apenas 2,5% considera-se água doce, e somente 1,2% desta água doce encontra-se em nossa superfície, sendo 0,49% na forma de rios (United States Geological Survey, 2019).

Geograficamente, a água doce disponível para o uso e abastecimento é distribuída de maneira desigual. O continente americano possui a maior parte do total de água doce disponível (41%), seguido pela Ásia (28%), Europa (15,5%) e África (9%) (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 1999). Também, a disponibilidade de água per capita apresenta um comportamento desigual ao redor do planeta. De acordo com dados da Food and Agriculture Organization of United States (2015), o uso de água per capita (total de água retirada da natureza por todos os setores, dividido pelo número de habitantes do país) de um cidadão estadunidense é de em média 1.543 m³ por ano, enquanto de um brasileiro 369,7 m³ e de um habitante de Uganda apenas 17 m³.

Grande parte dos estudos acerca da qualidade da água são realizados tendo a Bacia Hidrográfica como área de estudo. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída e é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

De acordo com Tonello (2005) o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica decorre de suas características geomorfológicas, como por exemplo, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, entre outros; e do tipo de cobertura (uso e ocupação). Dessa maneira, as características físicas, bióticas e antrópicas de uma bacia possuem importante função nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial.

2.2 POLUIÇÃO HÍDRICA

A poluição pode ser definida como a decorrência de uma alteração física, química, radiológica ou biológica do ar, água ou do solo, provocada através do homem ou por outras atividades antropogênicas, que podem ser prejudiciais aos usos presentes e futuros de um recurso natural (LIMA, 2001). A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), introduzida pela Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, caracteriza a poluição como uma degradação da qualidade ambiental, resultante de atividades que, direta ou indiretamente, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, prejudiquem as condições sanitárias do meio ambiente e afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população (BRASIL, 1981).

De acordo com Mendonça e Santos (2006), a qualidade final da água em um curso hídrico reflete necessariamente as atividades que são desenvolvidas em toda a bacia, sendo que cada um dos usos de seu espaço físico produz um efeito específico e característico.

As cargas poluentes podem ser classificadas como pontuais ou difusas. As cargas pontuais referem-se aos efluentes das indústrias e do esgoto cloacal e pluvial, ou seja, em pontos concentrados e bem definidos. Já as cargas de poluentes classificadas como difusas possuem uma magnitude muito maior e referem-se ao escoamento rural e urbano (TUCCI, 2001).

Larentis (2004) afirma que mudanças realizadas sobre a cobertura do solo em uma bacia hidrográfica podem ser consideradas como uma fonte de poluição.

Transformações na cobertura vegetal podem, por exemplo, ocasionar o aumento de sedimentos, alterações nos balanços hídricos e também um aumento na temperatura de escoamento superficial.

Merten e Minella (2002) destacam que as atividades de agricultura e pecuária possuem uma grande energia, capaz de desagregar o solo exposto, e de transportar sedimentos para os recursos hídricos. Tais sedimentos podem carregar, adsorvidos em sua superfície, certos nutrientes, como o fósforo, além de substâncias tóxicas e material de origem fecal, presente em pastagens.

A água é um grande meio de propagação de doenças oriundas de organismos patogênicos (ROSSIN, 1987). Ela é responsável por abrigar diversos agentes capazes de transmitir doenças para os seres humanos, como vírus, protozoários e bactérias. A contaminação hídrica é um problema relevante para vários países em desenvolvimento, pois grande parte das doenças advém da qualidade insatisfatória da água utilizada para o abastecimento da população (FERREIRA; MEIRELLES, 2005). Segundo dados do The Institute of Health Metrics and Evaluation (IHME, 2019), cerca de 1,23 milhão de pessoas morreram em todo o mundo no ano de 2019 em decorrência de doenças ligadas à contaminação hídrica. Ademais, países como Índia e Nigéria tiveram doenças relacionadas à poluição da água como responsáveis por uma parcela significativa das mortes totais observadas no mesmo ano, 6,3% e 7%, respectivamente.

2.3 URBANIZAÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA

Os primeiros centros urbanos que surgiram no mundo, por volta de 6000 a.C, localizavam-se nos vales de grandes rios no continente asiático, como o Nilo, Tigre, Eufrates, Indo e Ganges (COSTA; RODRIGUES; SILVA, 2013). Essas aglomerações situavam-se próximas a corpos hídricos devido a disponibilidade da água e sua importância para o desenvolvimento de várias atividades, com destaque para a agricultura. Atualmente, segundo dados do WorldBank (2023), aproximadamente 56% da população mundial (4,4 bilhões de pessoas) vivem em centros urbanos. As projeções para o futuro indicam uma tendência de aumento contínuo, com a expectativa de que no ano de 2050, 7 a cada 10 pessoas habitem em cidades. No

Brasil, de acordo com o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010) a população urbana naquele ano era de 84%. A BHLG apresenta uma população de áreas urbanas superior à taxa brasileira, com cerca de 98% (SEMA, 2020).

O crescimento urbano desordenado tem como efeito o lançamento de efluentes domésticos e industriais (que podem ser tratados ou não) nos corpos hídricos próximos a estes centros urbanos como consequência da falta de estrutura de saneamento adequada (FINOTTI et al., 2009). A qualidade da água dos corpos hídricos que drenam as grandes cidades está diretamente relacionada com a capacidade de atendimento para a coleta e tratamento dos efluentes domésticos e industriais. No Brasil, 55,8% da população é atendida pelo serviço de coleta de esgoto. Deste montante de esgoto que é coletado, 51,2% passa por processos de tratamento (SNIS, 2021). De acordo com dados do Instituto SNIS (2021) apenas 18 municípios entre os 100 maiores do país tratam mais do que 80% dos efluentes gerados pela sua população.

Segundo Mota (2003) o processo de urbanização pode causar diversas alterações no ciclo hidrológico, como a diminuição da evapotranspiração em decorrência da retirada da vegetação, e a impermeabilização e compactação do solo. A impermeabilização do solo reduz a infiltração e a interceptação das águas provenientes da precipitação, acarretando um aumento dos volumes de escoamento superficial nos grandes centros urbanos. A qualidade da água dos corpos hídricos é afetada pelo aumento dos volumes de escoamento superficial, responsável por carregar diversos resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) em direção aos rios, lagos e arroios (FINOTTI et al., 2009).

2.4 SANEAMENTO BÁSICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA

O saneamento básico pode ser dividido nas seguintes redes e infraestruturas: i) abastecimento de água; ii) recolhimento e tratamento de esgoto sanitário; iii) drenagem urbana e iv) recolhimento e disposição de resíduos sólidos (IPEA, 2021).

O município de Porto Alegre, capital e polo econômico do estado do Rio Grande do Sul, corresponde a cerca de 80% da população residente na área compreendida

pela BHLG, portanto é responsável pela maior parte dos efluentes gerados e lançados nos corpos d'água da Bacia, principalmente no Lago Guaíba (SEMA, 2020). Conforme DMAE (2023), em 2023 o município contava com 10 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e 36 Estações de Bombeamento de Esgoto (EBEs), capazes de atender 91,3% da população com a coleta de esgoto, porém apenas 57% com tratamento.

Das ações em saneamento em implantação nesse contexto, ressalta-se a importância do Projeto Integrado Socioambiental (PISA), iniciativa da Prefeitura de Porto Alegre, com o apoio do Governo Federal, que visa à despoluição do Lago Guaíba, através da universalização do saneamento básico à população, ampliando de 30% para 80% da capacidade de tratamento de esgoto (COMITEGUAIBA, 2016). A maior obra realizada pelo PISA foi a construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Serraria, localizada no bairro Espírito Santo, Zona Sul de Porto Alegre/RS, com capacidade para tratar até 4100 litros de esgoto por segundo. A importância da ETE está ligada também a sua conexão com diferentes Sistemas de Esgotamentos Sanitários (SES) da capital gaúcha, como o SES Ponta da Cadeia, o qual a partir da inauguração da ETE Serraria em 2014, passou a ter seu volume de esgoto destinado ao tratamento, e não mais lançado no Lago Guaíba através do emissário anteriormente localizado próximo a Usina do Gasômetro, no Centro de Porto Alegre.

2.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza o IQA desde 1975 com o intuito de servir como informação básica sobre a qualidade da água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. As principais vantagens dos índices são as facilidades de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua interação. O índice, apesar de fornecer

uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2016).

A CETESB desenvolveu e adaptou o IQA a partir de um estudo realizado nos Estados Unidos em 1970, pela “National Sanitation Foundation” (Fundação Nacional de Saneamento, em português). Esse índice incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público.

Para cada um dos parâmetros foram estabelecidas curvas médias de variação e seus respectivos pesos (Tabela 2), fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2017).

Tabela 2 – Parâmetros e pesos relativos do IQA

Parâmetros	Pesos relativos
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes/E. coli	0,15
pH.	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,1
Nitrogênio Total	0,1
Fosfato Total	0,1
Temperatura da Água	0,1
Sólidos Totais	0,08
Turbidez	0,08

Fonte: CETESB

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula (CETESB, 2016):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : Qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

W_i : Peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

n : Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A Tabela 3 apresenta a classificação do IQA segundo as diretrizes estabelecidas pela CETESB.

Tabela 3 – Classificação do IQA

Classificação IQA - CETESB	
Categoria	Ponderação
Ótima	80 - 100
Boa	52 - 79
Regular	37 - 51
Ruim	20 - 36
Péssima	0 - 19

Fonte: CETESB

2.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo Sperling (1995), a qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas, podendo estes terem origens tanto naturais quanto antropogênicas. A seguir são descritos os parâmetros de qualidade da água utilizados para o cálculo do IQA de acordo com a metodologia da CETESB.

2.6.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

O Oxigênio Dissolvido (OD) é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Esse parâmetro é de suma importância para os seres aquáticos aeróbios e é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos dos despejos orgânicos nos corpos d'água (VON SPEARLING, 2005).

Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio (CETESB, 2016). Segundo a ANA (2017) as águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de OD, pois ele é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, as águas limpas apresentam concentrações de OD mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg L^{-1} , exceto se houver condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro.

2.6.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias em uma temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO (CETESB, 2016). De acordo com a ANA, "Valores altos de DBO em um corpo d'água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos." A ocorrência de concentrações elevadas dessa variável interfere na redução das taxas de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar a mortandade de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

2.6.3 Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*)

A *E.coli* é a principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo a sua origem exclusivamente fecal. Ela é considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces, pois está presente em número elevado nas fezes humanas e de animais de sangue quente, e raramente é detectada na ausência de poluição fecal. Logo, a sua presença pode indicar o aporte de esgotos sem tratamento e de dejetos da indústria pecuária nos recursos hídricos (CETESB, 2016). A Resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, utiliza os coliformes termotolerantes como padrão de qualidade microbiológica, mas permite sua substituição pela *Escherichia coli*, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2005).

2.6.4 Potencial Hidrogeniônico (PH)

O pH é uma medida de concentração de íons de hidrogênio (H^+) nas soluções aquosas. A escala de pH varia de 0 a 14, sendo que os valores abaixo de sete e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto os valores de 7 a 14 sinalizam aumento da alcalinidade (CHAPMAN E KIMSTACH, 1996). Os valores de pH estão relacionados a fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e a fatores antropogênicos pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, devido à oxidação da matéria orgânica e à lavagem ácida de tanques, respectivamente (SPERLING, 2005).

2.6.5 Nitrogênio Total (NT)

O nitrogênio pode ser encontrado, no meio aquático, em quatro diferentes formas: nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. A soma destas diferentes formas resulta no parâmetro Nitrogênio Total, utilizado pela CETESB para o cálculo do IQA. O nitrogênio é um elemento químico importante, pois os processos biológicos necessitam de uma quantidade suficiente no meio aquático para ocorrerem.

O nitrogênio amoniacal está presente naturalmente nos corpos d'água, como produto da degradação de compostos inorgânicos do solo e da água e pode ser nocivo aos ecossistemas aquáticos (ALFAIA, 2006). A presença de nitrito nas águas indica uma contaminação recente, que procede da matéria orgânica ou da decomposição biológica (GADELHA et al., 2005). Segundo a EMBRAPA (2002) o enriquecimento excessivo das águas superficiais com nitrato leva à eutrofização dos mananciais, provocando a abundância de organismos como algas e cianobactérias. As principais fontes de contaminação de nitrato nos corpos hídricos são os lançamentos de esgotos domésticos e industriais, excreção de animais e os fertilizantes utilizados na agricultura.

2.6.6 Fósforo Total (FT)

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (CETESB, 2016). Assim como o nitrogênio, o fósforo é um nutriente causador do crescimento excessivo de algas, prejudicando o uso da água.

2.6.7 Temperatura

A temperatura influencia diversos parâmetros físico-químicos da água, como por exemplo, a tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução. Todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura naturalmente ao longo do dia e das estações do ano, devido a transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas, ou águas advindas de

torres de resfriamento, podem causar significativo impacto nos corpos d'água (ANA, 2017).

2.6.8 Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência de passagem de luz através da água, dando uma aparência turva para a mesma. Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático. Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes influenciando nas comunidades biológicas aquáticas (CETESB, 2016).

2.6.9 Sólidos Totais (ST)

Os ST representam toda a matéria remanescente após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante determinado tempo e temperatura. Os Sólidos Totais (ST) equivalem à soma dos sólidos em suspensão totais (SST) e dos sólidos dissolvidos totais (SDT), afetando desta maneira a condutividade elétrica e a turbidez. Quando os resíduos sólidos se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento, que gera problemas para a navegação e pode aumentar o risco de enchentes. Além disso, ocasionam danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes (ANA, 2017).

2.7 RESOLUÇÃO CONAMA N° 357/2005

A Resolução n° 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), instaurada no dia 17 de março de 2005, relata em seu Artigo 1° que “Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos

de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”.

No CAPÍTULO I, Artigo 2º, a Resolução nº357 do CONAMA adota algumas definições, sendo as mais importantes:

I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;

II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;

III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

IV - ambiente lêntico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado;

V - ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes.

IX - classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;

De acordo com o CAPÍTULO II, SEÇÃO I, Artigo 4º da Resolução nº357 do CONAMA, as águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e

e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à pesca amadora;

d) à recreação de contato secundário; e

e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística

O CAPÍTULO 3, Artigo 14° impõe as condições e limites para o enquadramento de cada uma das quatro classes de água doce da Resolução n° 357/2005 do CONAMA. O parâmetro Temperatura, utilizado para o cálculo do IQA, não possui seus limites impostos pela Resolução. A Tabela 4 apresenta os limites de cada parâmetro de qualidade da água para cada uma das classes.

Tabela 4 - Limites para o enquadramento de corpos hídricos de água doce segundo a Resolução n° 357/2005 do CONAMA

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Unidade
OD	>= 6,0	>= 5,0	>= 4,0	>= 2,0	mg/L
DBO	até 3,0	até 5,0	até 10,0	-	mg/L
Coliformes Termotolerantes	até 200	até 1000	até 2500	>2500	NPM/100ML
pH	6,0 a 9,0	-	-	-	-
Nitrato	até 10	-	-	-	mg/L
Nitrito	1.0	-	-	-	mg/L
Nitrogênio Amoniacal	3,7 mg/L para pH> 7,5 2,0 mg/L para 7,5< pH < 8,0 1,0 mg/L para 8,0 < pH < 8,5 0,5 mg/L para pH> 8,5	-	13,3 mg/L., para pH<7,5 5,6 mg/L para 7,5 < pH < 8,0 2,2 mg/L para 8,0 < pH < 8,5 1,0 mg/L para pH > 8,5	-	mg/L
Fósforo Total	até 0,020	até	até 0,050	-	mg/L
Temperatura	-	-	-	-	°C
Turbidez	até 40	até 100	-	-	UNT
Sólidos Totais	até 500	-	-	-	mg/L

Fonte: Resolução N°357/2005 do CONAMA

2.8 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. Esta técnica foi descrita inicialmente por Pearson, no ano de 1901, e uma descrição dos métodos computacionais práticos surgiu através de Hotelling em 1936. A ACP é uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (HONGYU et al., 2015).

A ACP consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (JOHNSON; WICHERN, 1998; HONGYU, 2015). A ACP tem como seu principal objetivo explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis também aleatórias, através de combinações lineares das variáveis originais (HONGYU et al., 2015)..

Como descrito por Lima, Carrol e Green (2011) para que o uso da ACP seja feito de maneira apropriada, é necessário que as variáveis estejam correlacionadas entre si. Para verificarmos se o conjunto de dados é apropriado para tal técnica é necessário que previamente seja feito o Teste de Esfericidade de Bartlett, descrito a seguir.

As hipóteses do teste são:

$$H_0 : P_{p \times p} = I_{p \times p}$$

$$H_1 : P_{p \times p} \neq I_{p \times p}$$

onde $P_{p \times p}$ é a matriz de correlação populacional e $I_{p \times p}$ é a matriz de identidade. A estatística do Teste de Esfericidade de Bartlett é expressa por:

$$\chi^2 = - \left[(n - 1) - \frac{(2p + 5)}{6} \right] \ln|R|$$

na qual $\ln|R|$ é o logaritmo natural do determinante da matriz de correlação, p é o número de variáveis e n é o tamanho amostra. Se H_0 for verdadeira, a estatística do teste possui distribuição qui-quadrado com $(p^2 - p)/2$ graus de liberdade.

A matriz de correlação é dada por, R_{ij}

$$R_{p \times p} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1p} \\ R_{21} & R_{22} & \vdots & R_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{p1} & R_{p2} & \dots & R_{pp} \end{bmatrix}$$

na qual o coeficiente de correlação amostral de Pearson entre a i -ésima e a j -ésima variáveis é dado por,

$$R_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{S_{ii}S_{jj}}}$$

em que a variância amostral da i -ésima variável é dada por,

$$S_{ij} = S_{ii} = \frac{\sum_{l=1}^n (X_{il} - \bar{X}_i)^2}{n-1}, \text{ para } i = j$$

e a covariância amostral da i-ésima e a j-ésima variáveis é denotada por,

$$S_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^n (X_{il} - \bar{X}_i)(X_{jl} - \bar{X}_j)}{n-1}, \text{ para } i \neq j.$$

Segundo Ferreira (2011), existem muitos outros testes que podem ser utilizados para testar a normalidade multivariada de um conjunto de dados, como o teste de Shapiro Wilk de Royston.

A teoria para o cálculo dos Componentes Principais é descrita a seguir, de acordo com o exposto por Mingoti (2005).

A partir de uma amostra aleatória de tamanho n, na qual cada elemento da amostra possui p-variáveis de interesse observadas, a matriz de dados é dada por,

$$X_{n \times p} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{p1} \\ X_{12} & X_{22} & \vdots & X_{p2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{1n} & X_{2n} & \cdots & X_{pn} \end{bmatrix}$$

em que o primeiro índice faz referência à variável observada e o segundo indica a unidade amostral. A matriz de covariâncias amostrais é definida por,

$$S_{p \times p} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1p} \\ S_{21} & S_{22} & \vdots & S_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{p1} & S_{p2} & \cdots & S_{pp} \end{bmatrix}$$

em que a variância amostral da i-ésima variável é dada por,

$$S_{ij} = S_{ii} = \frac{\sum_{l=1}^n (X_{il} - \bar{X}_i)^2}{n-1}, \text{ para } i = j$$

e a covariância amostral da i -ésima e a j -ésima variáveis é expressada por,

$$S_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^n (X_{il} - \bar{X}_i)(X_{jl} - \bar{X}_j)}{n-1}, \text{ para } i \neq j.$$

Os autovalores λ_i com $i = 1, 2, \dots, p$ da matriz $S_{p \times p}$ são obtidos resolvendo a equação característica dada por,

$$|S_{p \times p} - \hat{\lambda} I_{p \times p}| = 0.$$

O autovetor v_i correspondente ao autovalor λ_i é um vetor não nulo dado por,

$$S_{p \times p} \hat{v}_{px1} = \hat{\lambda} \hat{v}_{px1}$$

em que,

$$\hat{v}_i = \begin{bmatrix} \hat{v}_{i1} \\ \hat{v}_{i2} \\ \vdots \\ \hat{v}_{ip} \end{bmatrix}$$

Para obter os autovetores normalizados, $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_p$, basta dividir cada componente do vetor v_i pelo seu comprimento que é dado por,

$$\|\hat{v}_i\| = \sqrt{\hat{v}_{i1}^2 + \hat{v}_{i2}^2 + \dots + \hat{v}_{ip}^2}$$

A j -ésima componente principal amostral obtida através da matriz de covariância é definida por,

$$\hat{Y}_j = \hat{e}_{j1}X_1 + \hat{e}_{j2}X_2 + \dots + \hat{e}_{jp}X_p$$

A variância total explicada pela j -ésima componente principal amostral obtida a partir da matriz de covariância é expressa por,

$$\frac{Var[\hat{Y}_j]}{\text{Variância total estimada de } X} = \frac{\hat{\lambda}_j}{\sum_{i=1}^p \hat{\lambda}_i}$$

em que $Var[Y_j]$ é a variância estimada do componente principal Y_j .

A correlação estimada entre a variável aleatória X_i com $i = 1, 2, \dots, p$ e a j -ésima componente principal amostral obtida pela matriz de covariância é dada por,

$$r_{\hat{Y}_j, X_i} = \frac{\hat{e}_{ij} \sqrt{\hat{\lambda}_j}}{\sqrt{S_{ii}}}$$

em que S_{ii} é a variância amostral da variável aleatória X_i .

Depois que as componentes principais forem calculadas, é necessário decidir o número dessas componentes que serão retidas a fim de obter informações relevantes sobre o conjunto de dados, e ao mesmo tempo manter o modelo reduzido. De acordo com Ferreira (2011), o critério é manter as K primeiras componentes que sejam responsáveis por explicar pelo menos 70% da variação total. Para se fazer o uso das componentes principais deve-se fazer o cálculo dos scores das componentes (valor obtido para cada elemento amostral).

2.9 TESTE DE WILCOXON

O emprego de testes estatísticos é amplamente utilizado na área ambiental para comparar a diferença entre dois grupos de dados. Dornelas, Machado e Sperling (2009), fizeram o uso de tais testes em pesquisas relacionadas ao tratamento de águas residuais. Segundo Larson e Farber (2004), o teste de Wilcoxon é classificado como um teste não paramétrico para dados pareados, utilizado para comparar grupos de amostras. O teste analisa as medianas de dois conjuntos de amostras, aferindo se respeitam a hipótese nula de semelhança entre as medianas, dado o nível de significância definido (ROLIM; SOUZA FILHO; ROCHA, 2019). O teste é indicado para

dados que rejeitam a hipótese nula do teste de Shapiro-Wilk, ou seja, não apresentam uma distribuição normal, comum em dados referentes à qualidade da água, devido a falhas e dados faltantes.

O teste é calculado da seguinte maneira:

$$U = S - \frac{n1(n1 + 1)}{2}$$
$$S = \sum_{i=1}^{n1} Rxi$$

Onde:

$n1$ = tamanho amostral

Rxi = ordem crescente dos valores da primeira amostra

U = soma das ordens dos valores da primeira amostra

Após a estatística U ser obtida calcula-se em seguida sua média e variância, para então ser calculado o escore Z do teste, e comparar o valor obtido com o Z crítico, que para um nível de significância de 5% é igual a 1,96. Caso o Z obtido ultrapasse esse parâmetro crítico, a série é definida como não-estacionária (TOZZI, 2014).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho é de cunho quantitativo com fundamentos de pesquisa exploratória.

A pesquisa quantitativa tem como pretensão a determinação de indicadores e tendências presentes na realidade, tendo como seu eixo central a materialização físico numérica no momento da observação, pautada em explicações matemáticas e modelos estatísticos (MUSSI et al., 2019). Enquanto isso um estudo exploratório, de

acordo com Theodorson e Theodorson (1970), é aquele cujo principal propósito é se familiarizar com um fenômeno a ser investigado, permitindo que o pesquisador defina seu problema de pesquisa e formule as suas hipóteses, e também possibilita a escolha das técnicas mais adequadas para chegar aos resultados esperados.

A metodologia deste estudo segue uma série de etapas, começando pela obtenção e organização dos dados para calcular a estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água no Lago Guaíba e realizar a Análise de Componentes Principais. Posteriormente, os resultados obtidos no cálculo da estatística descritiva foram utilizados nas demais análises, como o Teste de Wilcoxon e o cálculo do IQA, assim como na classificação dos parâmetros medidos no Lago. As etapas do processo metodológico estão descritas a seguir.

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados dos parâmetros de qualidade da água utilizados na pesquisa são de propriedade do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE). O órgão cedeu tais dados mediante solicitação realizada no Serviço de Informações do Cidadão (e-SIC) do município de Porto Alegre/RS, estabelecido a partir da Lei Federal nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, que determina as diretrizes de transparência dos órgãos públicos e garante o direito de todo cidadão ao acesso à informação.

3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

As informações (dados) utilizados no trabalho são referentes às amostras mensais recolhidas pelo DMAE no Lago Guaíba e analisadas posteriormente em laboratório. O banco de dados cedido pelo Órgão compreende um período que vai do mês de janeiro de 2010 até o mês de novembro de 2022. Os seguintes parâmetros serão analisados, classificados e utilizados para o cálculo dos métodos estatísticos e do IQA: Oxigênio Dissolvido; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Escherichia Coli; pH; Nitrato; Fósforo Total; Temperatura; Turbidez e Sólidos Totais.

Para a classificação dos parâmetros segundo a Resolução nº 357 do CONAMA de 2005 e para o cálculo do IQA seguindo a metodologia da CETESB utiliza-se o parâmetro Coliformes Termotolerantes. Devido a série dos dados de Coliformes Termotolerantes nas amostras do DMAE ser comprometida por dados faltantes, substituiu-se os Coliformes pelo parâmetro *Escherichia Coli*. Os Coliformes ou Termotolerantes são um subgrupo dos Coliformes Totais que possuem a bactéria *Escherichia Coli* como seu principal representante e o indicador mais específico de contaminação fecal (FINOTTI et al., 2009). Garcia-Armisen et al. (2007) compararam 166 amostras de água coletadas na bacia do Rio Sena na França, e concluíram que existe uma correlação elevada entre as contagens e uma proporção de E.coli/Coliformes Termotolerantes de 0,77. A partir disso, os valores dos limites da Resolução nº 357/2005 do CONAMA para os Coliformes Termotolerantes foram multiplicados pelo valor da proporção (0,77), resultando nos limites estimados para a E.coli. A partir disto, os limites desse parâmetro para as classes 1, 2, 3 e 4 foram estabelecidos como, respectivamente, 154 NMP/100ML, 770 NMP/100ML, 1925 NMP/100ML e acima de 1925 NMP/100ML.

Assim como os Coliformes Termotolerantes, o parâmetro Nitrogênio Total (soma dos Nitrogênio amoniacal, orgânico, Nitrato e Nitrito) foi substituído somente pelo Nitrato devido a indisponibilidade dos dados de NT na série de amostras do DMAE.

Os dados foram separados em dois diferentes períodos para poder avaliar a influência da ETE Serraria sobre a qualidade da água do Lago Guaíba. O primeiro período se estende da primeira amostra da série de dados (janeiro de 2010) até março de 2014. Ao passo que o segundo período compreende o início das operações da ETE, datada no mês de abril de 2014, e se estende até novembro de 2022.

Os dados dos parâmetros de qualidade da água referem-se a oito pontos de monitoramento do DMAE situados no Lago Guaíba (Figura 6), descritos a seguir:

Ponto 36: Localizado no Delta do Jacuí (Canal dos Navegantes). Próximo ao ponto de captação de água bruta das Estações de Tratamento de Água (ETA) Moinhos de Vento e São João.

Ponto 38: Localizado no Lago Guaíba em frente à Ponta da Cadeia (700m de distância da margem).

Ponto 86A: Delta do Jacuí, próximo ao ponto de captação do da ETA Ilha da Pintada.

Ponto 41B: Margem esquerda do Lago Guaíba (50m da margem), próximo ao ponto de captação da ETA José Loureiro da Silva e foz do Arroio Dilúvio.

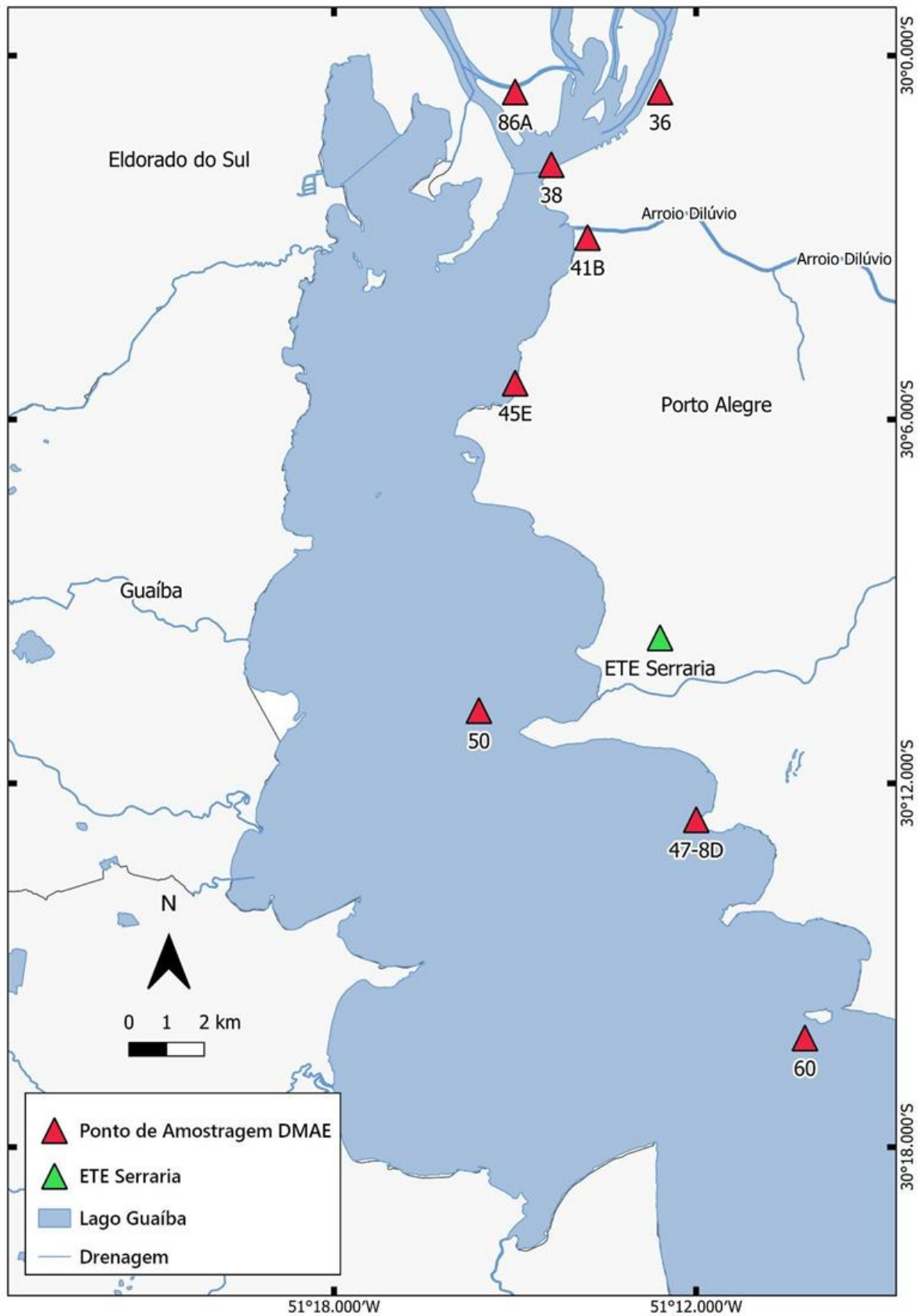
Ponto 45E: Localizado na margem esquerda do Lago Guaíba, junto a bóia de demarcação no ponto de captação da ETA Tristeza.

Ponto 47-8D: Localizado na margem esquerda do Lago Guaíba, junto a bóia de demarcação no ponto de captação da ETA Belém Novo.

Ponto 50: Canal de Navegação do Lago Guaíba, no alinhamento da Ponta Grossa com as pequenas Ilhas Baleias.

Ponto 60: Canal de Navegação do Lago Guaíba, entre a Ilha Francisco Manoel e a Ponta do Salgado.

Figura 6 – Lago Guaíba/RS e localização dos Pontos de Monitoramento de qualidade da água do DMAE e da ETE Serraria



Fonte: Elaborado pelo autor

O antigo emissário Ponta da Cadeia era localizado onde atualmente situa-se a Usina do Gasômetro em Porto Alegre. Dois pontos de monitoramento (36 e 86A) estão localizados a montante do antigo emissário, o qual começou a ter seu volume de esgoto destinado ao tratamento a partir do início da operação da ETE Serraria em abril de 2014. Já os outros seis pontos de monitoramento (38, 41B, 45E, 47-8D, 50 e 60) estão situados a jusante do antigo emissário, configurando, assim, a Área de Influência Direta da ETE Serraria.

3.3 CÁLCULO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS, ANÁLISES ESTATÍSTICAS E IQA

A estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, gráficos e tabelas foram criados utilizando-se os *softwares Microsoft Excel 2010* e *R*, assim como a ACP. Posteriormente, as médias anuais calculadas para cada parâmetro, em cada um dos oito pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba, foram relacionadas com os limites propostos pela Resolução nº357/2005 do CONAMA. Recorda-se que tal resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (CONAMA, 2005). Para a realização do Teste de Wilcoxon, utilizaram-se as medianas calculadas para cada um dos períodos analisados

O cálculo do IQA foi realizado utilizando-se o software livre QualiGraf, criado pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) a partir das médias anuais de cada parâmetro de qualidade da água monitorado, seguindo a metodologia da CETESB.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos primeiramente os resultados obtidos através da análise estatística das amostras de qualidade da água recolhidas pelo DMAE nos seus oito pontos de monitoramento distribuídos ao longo do Lago Guaíba. Posteriormente, explica-se os resultados obtidos através de técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais e o teste de Wilcoxon, e por último a classificação do corpo hídrico segundo a Resolução nº357 do CONAMA de 2005 e o cálculo do Índice de Qualidade da Água

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água medidos pelo DMAE nos oito pontos de monitoramento de responsabilidade do órgão no Lago Guaíba. São apresentados os dados para o período anterior a implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014) e o período posterior ao seu estabelecimento (abril de 2014 a novembro de 2022). A tabela 6 traz a variação percentual entre as médias nos dois diferentes períodos.

A partir da Tabela 5 é possível notar que os pontos 36 e 86A, localizados a montante do antigo emissário Ponta da Cadeia, portanto fora da área de influência da ETE Serraria, e o ponto 41B, localizado dentro da área de influência da ETE, porém situado a jusante da foz do Arroio Dilúvio, caracterizam-se como os pontos com a pior qualidade da água. Nestes três pontos observam-se os maiores valores médios medidos para os parâmetros *Escherichia Coli* e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em relação aos demais pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba e, também, um valor médio menor para o parâmetro Oxigênio Dissolvido (principalmente nos pontos 36 e 41B).

A Tabela 6 analisa a variação percentual da média nos parâmetros de qualidade da água entre o período anterior à implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014) e o período posterior ao seu estabelecimento (abril de 2014 a novembro de 2022). Os dados evidenciam que a interrupção do lançamento de esgoto na área próxima à Ponta da Cadeia e o início da operação da ETE Serraria, contribuíram para uma diminuição significativa principalmente na concentração média dos parâmetros *Escherichia Coli* e DBO. Para o parâmetro

Escherichia Coli, houve redução nos pontos 38, 50, 60, 41B, 45E e 47-8D (90,92%, 50,55%, 78,76%, 31,56%, 35,89% e 43,74%, respectivamente), todos localizados na área de influência da ETE Serraria. Também ocorreu um decréscimo de 62,53% no ponto 86A, evidenciando, inclusive, uma melhora na qualidade da água em áreas mais afastadas da influência da ETE.

Em outro parâmetro considerado importante para avaliar a qualidade sanitária da água, a DBO, também se verificou uma redução na sua concentração nos pontos 50, 60, 41B, 45E, e 47-8D (15,63%, 9,71%, 13,56%, 13,4% e 4,07%, respectivamente). Assim como foi constatado para o parâmetro *Escherichia Coli*, igualmente houve uma diminuição da DBO no ponto 86A (28,09%).

Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

		Ponto de Monitoramento															
Parâmetro	Estatística	36		38		86A		50		60		41B		45E		47-8D	
		Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
OD (mg/L)	N	56	83	16	70	49	46	36	71	34	37	50	73	51	48	51	47
	Min	1,5	3	5,4	5,1	4	5,3	5,8	5,5	5	6,2	4	4,6	4,5	5,4	5,6	5,5
	Max	8,4	8,1	9,1	9,3	9,9	9,4	9,7	9,4	9,8	9,3	8	7,7	9,3	8,5	9,9	9,1
	Média	5,79	5,68	7,03	7,11	7,79	7,3	7,7	7,45	7,9	7,43	6	5,94	6,61	6,49	7,72	7,2
	Mediana	5,7	5,7	6,9	6,95	7,8	7,25	7,8	7,3	7,8	7,3	5,85	5,9	6,4	6,4	7,7	7,1
	Desvio Padrão	1,38	0,8	1,21	1,07	1,09	0,94	0,99	0,9	0,93	0,77	0,93	0,73	0,98	0,69	0,8	0,73
DBO (mg/L)	N	48	82	14	69	47	38	36	70	33	36	48	72	49	48	49	46
	Min	0,3	0,7	0,2	0,1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2
	Max	3,3	8	1,8	8	4,3	3,6	2,2	1,9	3,4	2,3	4,3	4,5	2,5	1,5	3,3	4,7
	Média	1,46	1,89	0,9	0,91	1,78	1,28	0,96	0,81	1,03	0,93	1,77	1,53	0,97	0,84	1,23	1,18
	Mediana	1,35	1,6	0,85	0,8	1,6	1,1	0,85	0,8	1	0,8	1,6	1,3	0,9	0,8	1	1,1
	Desvio Padrão	0,62	1,35	0,46	0,91	0,79	0,64	0,52	0,35	0,76	0,39	0,79	0,78	0,45	0,2	0,84	0,69
E.coli (NMP/100ML)	N	49	93	16	70	48	45	36	71	34	37	49	80	51	48	51	48
	Min	1800	79	26	6	1100	630	12	1	1	1	1100	1	310	85	1	1
	Max	28000	61000	55000	69000	55000	36000	1800	980	2000	230	55000	61000	10000	26000	2000	1700
	Média	7745	8073	5605,5	509,2	15048	5638	291,4	144,1	251	53,3	14820	10143	3103	1989,2	328,3	184,7
	Mediana	6900	6100	565	145	13000	3800	205	74	60	20	13000	4500	2400	1450	89	94
	Desvio Padrão	5191,38	8233,46	14136,76	1041,15	9762,69	6060,38	355,94	188,31	438,62	65,84	9790,85	12875,01	2091,88	3709,38	498,44	280,14
pH	N	56	97	16	70	49	49	36	71	34	37	50	81	51	48	51	48
	Min	6,2	6	6,6	6,2	6,4	6,2	6,8	6,2	6,5	6,3	6,4	6	6,4	6,5	6,5	6,2
	Max	7,3	8	7,3	8,1	7,4	7,8	7,9	7,7	7,7	8,3	7,4	7,9	7,4	8	8,3	7,8
	Média	6,88	6,99	6,97	7,03	7,06	7,11	7,18	7,09	7,25	7,25	6,92	7,02	6,94	7,08	7,25	7,21
	Mediana	6,9	7	7	7,1	7,1	7,2	7,1	7,1	7,3	7,3	6,9	7	7	7,1	7,3	7,2
	Desvio Padrão	0,22	0,32	0,18	0,36	0,2	0,33	0,23	0,3	0,25	0,38	0,21	0,29	0,19	0,28	0,32	0,35
NO3 (mg/L)	N	49	81	15	67	49	49	34	68	34	36	49	71	51	48	51	46
	Min	0,24	0,32	0,2	0,39	0,27	0,35	0,14	0,35	0,31	0,36	0,19	0,31	0,2	0,44	0,13	0,4
	Max	1,21	1,67	1,34	1,37	1,34	1,33	1,96	1,9	2,01	2,13	1,48	1,64	1,48	1,83	2	9,59
	Média	0,68	0,78	0,65	0,78	0,65	0,768	0,71	0,85	0,76	0,86	0,7	0,79	0,72	0,84	0,75	1,17
	Mediana	0,69	0,78	0,64	0,8	0,62	0,76	0,66	0,83	0,74	0,82	0,64	0,79	0,68	0,8	0,74	0,99
	Desvio Padrão	0,2	0,25	0,25	0,21	0,19	0,2	0,3	0,27	0,33	0,32	0,24	0,23	0,24	0,24	0,31	1,3

Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

(Continuação)

Parâmetro	Estatística	Ponto de Monitoramento															
		36		38		86A		50		60		41B		45E		47-8D	
		Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
Fósforo Total (mg/L)	N	49	80	15	62	48	44	33	69	34	35	48	68	51	45	51	47
	Min	0,01	0,07	0,03	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,04	0,01	0,01
	Max	0,39	0,25	0,26	0,17	0,63	0,2	0,16	0,2	0,17	0,19	0,26	0,21	0,19	0,14	0,59	0,24
	Média	0,16	0,15	0,09	0,07	0,08	0,06	0,09	0,09	0,1	0,09	0,16	0,14	0,12	0,1	0,12	0,12
	Mediana	0,15	0,15	0,08	0,07	0,06	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,17	0,14	0,12	0,09	0,1	0,12
	Desvio Padrão	0,06	0,03	0,05	0,03	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,07	0,03
Temperatura (°C)	N	56	100	16	70	49	46	36	71	34	37	50	81	51	48	51	48
	Min	12	13	13	14	12	14	12,5	12	12	13	12	13,5	12	14	10	12
	Max	29	30	28,5	28	29	28	28,5	28,5	28,5	28	29	30	29,5	28	28,5	29
	Média	21,14	21,41	21,31	20,95	20,96	21,05	20,56	20,41	20,63	21,72	20,72	20,57	20,75	20,98	20,55	21,42
	Mediana	21,75	22	23	21	21	20,5	20,75	20,5	21,5	22	20,5	20	21	21,75	21,5	21,75
	Desvio Padrão	4,45	4,95	5,52	4,54	4,76	4,38	4,74	4,72	4,79	4,34	4,89	4,61	4,91	4,39	4,81	4,46
Turbidez (UNT)	N	54	84	15	69	49	46	34	70	34	37	49	62	51	48	51	47
	Min	11,6	10,4	10,3	5	8,9	4,8	8,6	15,8	10,9	17,8	12,8	10,2	10,6	9,7	7,4	15,9
	Max	778	170	69,2	89,8	253	116	68,9	112	110	132	88,6	52,7	85,4	82,3	391	175
	Média	42,58	28,17	28,02	29,47	35,06	31,14	35,45	40,9	38,79	38,89	31,9	27,93	30,92	27,32	40,16	36,68
	Mediana	25,85	22,65	25	25	25,8	25,1	35	35,55	33,1	36,6	26,5	26,2	24,6	25,35	31	33,4
	Desvio Padrão	103,05	20,84	17,7	17,28	37,83	22,83	14,94	20,72	20,88	20,14	16,79	10,73	17,79	13,9	52,08	23,58
Sólidos Totais (mg/L)	N	49	82	15	69	49	46	17	71	17	37	49	73	49	46	51	47
	Min	25	47	59	64	40	63	68	76	70	77	68	73	62	75	62	72
	Max	200	143	118	150	269	155	114	163	140	171	156	139	214	137	437	211
	Média	103,4	104,1	87,2	90,77	93,08	91,8	88,12	105,1	94,24	106,3	98,35	99,3	101	96,36	109,9	106,8
	Mediana	97	104,5	83	91	80	85	83	101	88	98	94	99	98	96	97	100
	Desvio Padrão	30,26	14,2	18,16	13,99	39,87	21,78	13,7	18,85	20,6	22,34	19,51	12,34	29,54	13,41	62,79	25,08

Tabela 6 - Variação percentual na média dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS entre o período anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

Parâmetro	Ponto de Monitoramento							
	36	38	86A	50	60	41B	45E	47-8D
Oxigênio Dissolvido	-1,90	1,14	-6,29	-3,25	-5,95	-1,00	-1,82	-6,74
Demanda Bioquímica de Oxigênio	29,45	1,11	-28,09	-15,63	-9,71	-13,56	-13,40	-4,07
Ecoli	4,23	-90,92	-62,53	-50,55	-78,76	-31,56	-35,89	-43,74
pH	1,60	0,86	0,71	-1,25	0,00	1,45	2,02	-0,55
Nitrato	14,71	20,00	18,15	19,72	13,16	12,86	16,67	56,00
Fósforo Total	-6,25	-22,22	-25,00	0,00	-10,00	-12,50	-16,67	0,00
Temperatura	1,28	-1,69	0,43	-0,73	5,28	-0,72	1,11	4,23
Turbidez	-33,84	5,17	-11,18	15,37	0,26	-12,45	-11,64	-8,67
Sólidos Totais	0,68	4,09	-1,38	19,27	12,80	0,97	-4,59	-2,82

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA POR PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA

4.2.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

O Oxigênio Dissolvido é um dos principais parâmetros que caracterizam os efeitos da poluição da água advindos de efluentes orgânicos. Sua origem natural está relacionada com a fotossíntese das plantas aquáticas e, também, a desnitrificação. Segundo Von Sperling (1996), valores baixos de OD indicam a presença de matéria orgânica, as quais são provavelmente provenientes do lançamento de esgotos in natura no corpo d'água, ou com pouco tratamento. As águas limpas apresentam concentrações de OD maiores, geralmente superiores a 5 mg/L, exceto se houver condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro.

A Figura 7 mostra que houve uma pequena diminuição nos valores médios de OD na grande maioria dos pontos (excetuando o ponto 38), com destaque para os pontos 47-8D e 60 (6,84% e 5,95% respectivamente), situados na área de influência da ETE Serraria. E no Ponto 86A também se evidenciou uma diminuição de 6,29% na concentração do parâmetro.

Destacam-se os pontos 36 e 41B por apresentarem as menores concentrações de OD. O ponto 36 se mostrou o mais degradado, situado mais próximo dos exutórios das bacias dos rios Gravataí e Sinos, ambos considerados

entre os mais degradados rios do país, o ponto provavelmente sofre a influência “negativa” da poluição proveniente desses cursos fluviais e nele verificou-se uma concentração média de 5,79 mg/L no período anterior, e de 5,68 mg/L no período posterior. O ponto 41B, situado próximo a foz do Arroio Dilúvio apresentou concentrações médias de 6 mg/L e 5,94 mg/L nos períodos anterior e posterior, respectivamente (figura 7).

Uma maior variabilidade dos dados é constatada nos pontos 36 e 86A a partir da análise da Figura 8, que demonstra também que os dois pontos localizados a montante da Ponta da Cadeia apresentaram os valores mínimos extremos dentro de todas as amostras recolhidas e analisadas pelo DMAE.

Figura 7 – Concentração média do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

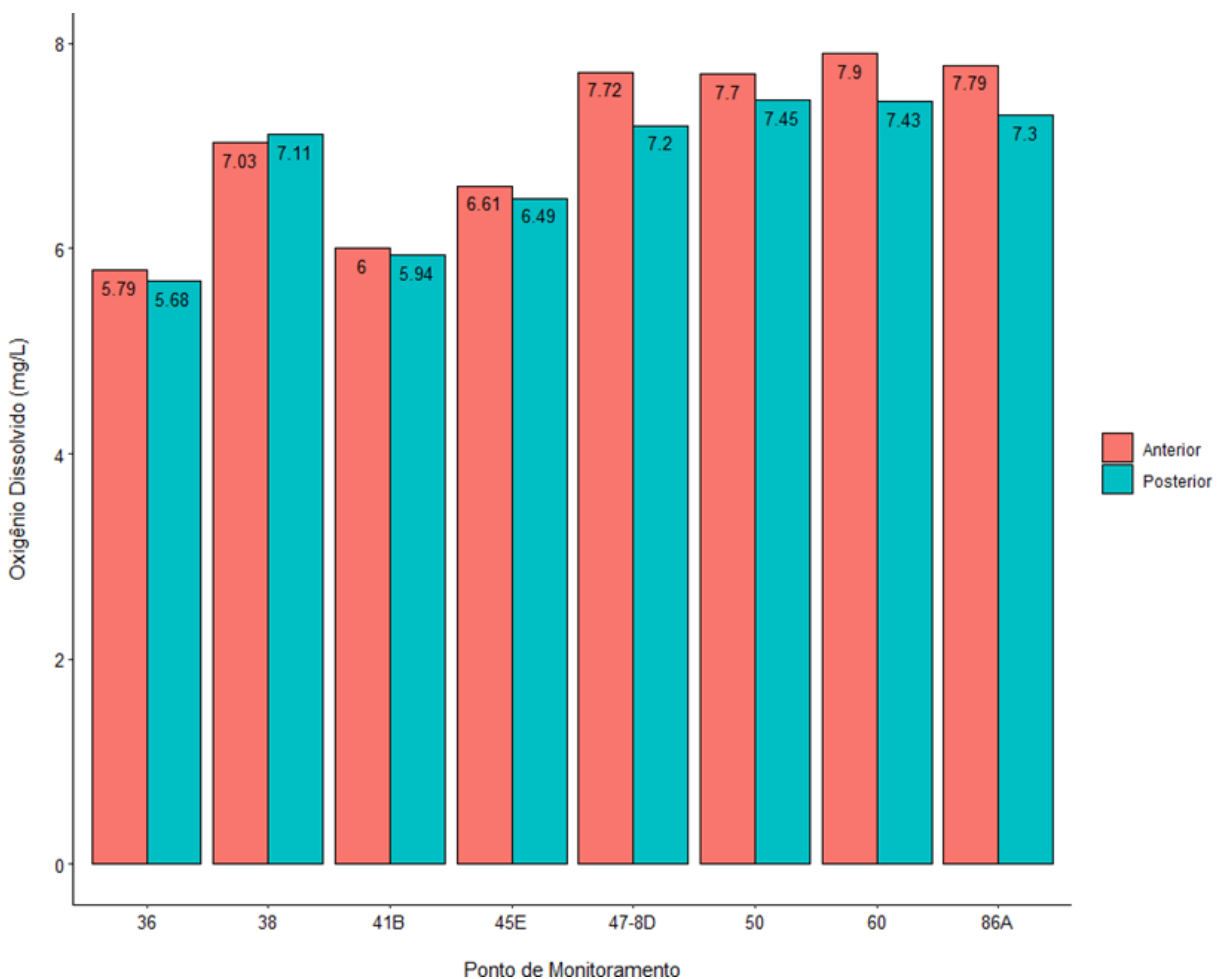
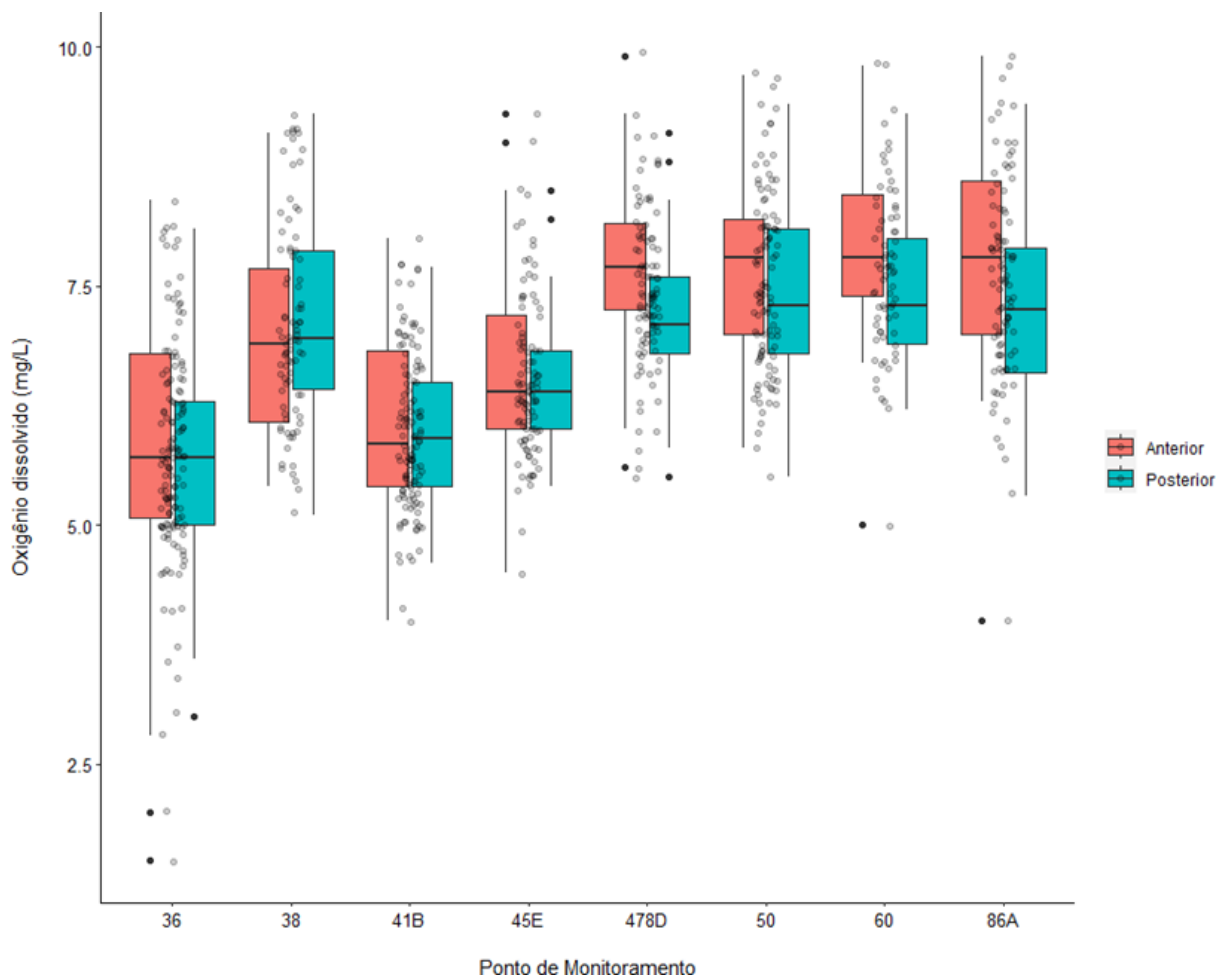


Figura 8 - Boxplot do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO representa a quantidade de oxigênio que é preciso para oxidar a matéria orgânica biodegradável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. A CETESB utiliza o tempo de 5 dias em uma temperatura de incubação de 20 °C para fazer a medição da quantidade de oxigênio consumida. Altos valores de DBO remetem a lançamentos de cargas orgânicas, oriundos principalmente de esgotos domésticos, e como consequência ocasiona redução nos valores de OD, podendo provocar a mortandade da biota aquática.

Como destacado anteriormente, a DBO apresentou uma grande melhoria a partir da operacionalização da ETE Serraria. Verificou-se uma diminuição dos valores médios nos pontos 50, 60, 41B, 45E, e 47-8D (15,63%, 9,71%, 13,56%, 13,4% e 4,07%, respectivamente) como demonstrado na Figura 9. Também foi constatada uma redução da DBO no ponto 86A (28,09%) e mais uma vez o ponto 36, situado distante da ETE Serraria, teve a maior concentração média do parâmetro. De acordo com estudo do DMAE (2017), ao observar a variação da DBO entre os períodos de janeiro de 2010 a março de 2014 e abril de 2014 e julho de 2017, houve diminuição do parâmetro em todos os pontos, excetuando o ponto 36, com destaque para os pontos 50 e 45E com 36,3% e 28,5%, respectivamente.

A Figura 10 permite observar que os pontos 36 e 38 apresentaram os valores máximos medidos dentre todos os pontos: 8 mg/L para ambos em amostras coletadas posteriormente ao mês de abril de 2014, como informado pela Tabela 5.

Figura 9 – Concentração média do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS

nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a

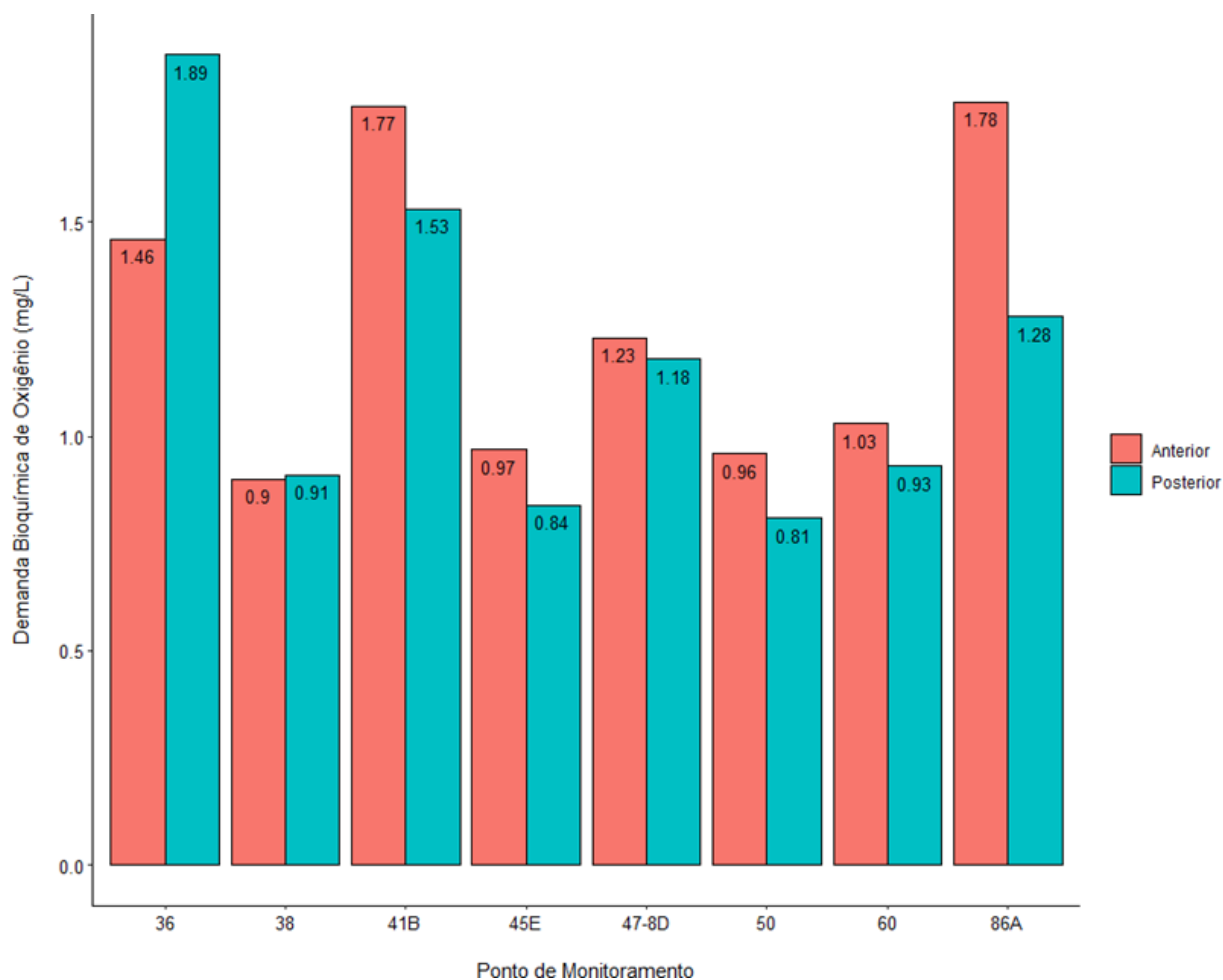
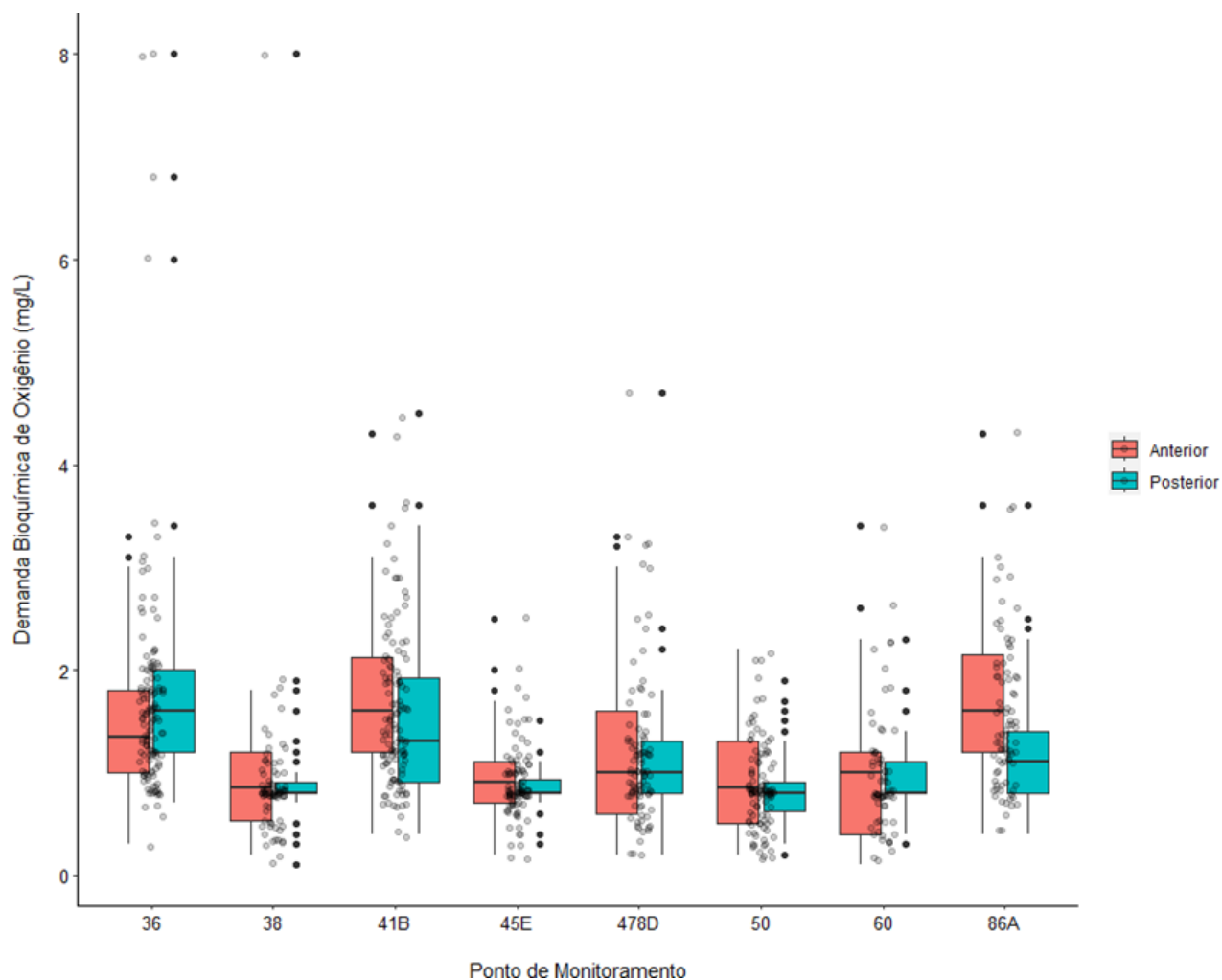


Figura 10 - Boxplot do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.3 *Escherichia coli* (*E.coli*)

A *E.coli* é considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces, pois está presente em número elevado nas fezes humanas e de animais de sangue quente, e raramente é detectada na ausência de poluição fecal. Portanto, a presença desta bactéria pode indicar o aporte de esgotos sem tratamento e de dejetos da indústria pecuária nos recursos hídricos.

Assim como a DBO, a *E.Coli* foi o parâmetro que apresentou a maior diminuição nos seus valores dentre os parâmetros analisados. A Figura 11 ilustra a redução nos pontos 38, 50, 60, 41B, 45E e 47-8D (90,92%, 50,55%, 78,76%, 31,56%, 35,89% e 43,74% respectivamente), todos localizados na área de influência da ETE Serraria. Também ocorreu uma diminuição de 62,53% no ponto 86A. Os resultados do estudo do DMAE (2017) também apontam para uma diminuição da concentração média do

parâmetro, entre os períodos janeiro de 2010 a março de 2014 e abril de 2014 e julho de 2017. Porém, a variação foi consideravelmente menor para os pontos 38, 50, 60, 41B e 45E (14,7%, 17,2%, 5,6%, 11,3%, 12,2%, respectivamente), indicando que a capacidade e eficiência do tratamento da ETE vem evoluindo ao longo do tempo.

Os valores máximos medidos são apresentados na Figura 12 e foram registrados nos dois pontos a montante da Ponta da Cadeia, 36 e 86A, e no ponto 41B, localizado a jusante da foz do Arroio Dilúvio. Os valores máximos medidos, segundo a Tabela 5, foram de 61.000 NMP/100ML e 69.000 NMP/100ML nos pontos 36 e 38 respectivamente, e de também 61.000 NMP/100ML para o ponto 41B.

Figura 11 – Concentração média do parâmetro *E.Coli* (NMP/100ML) em escala logarítmica nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

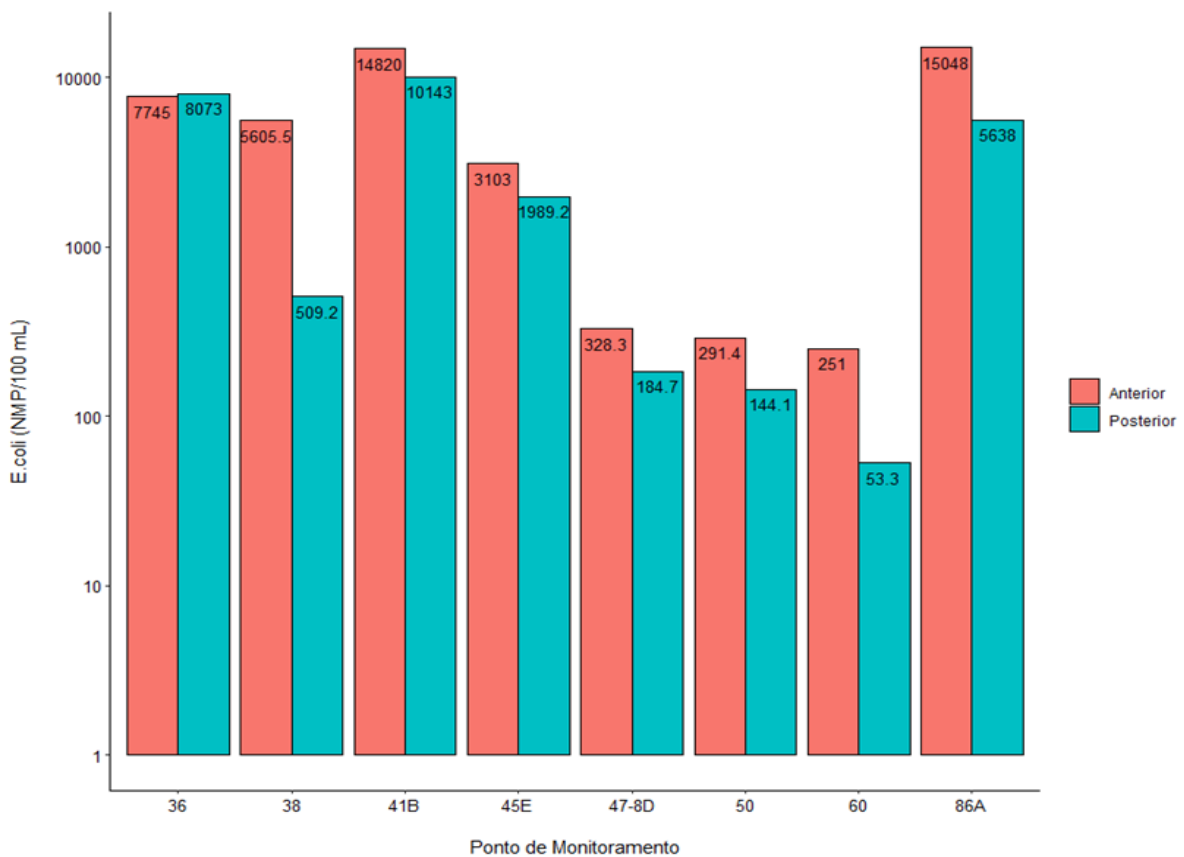
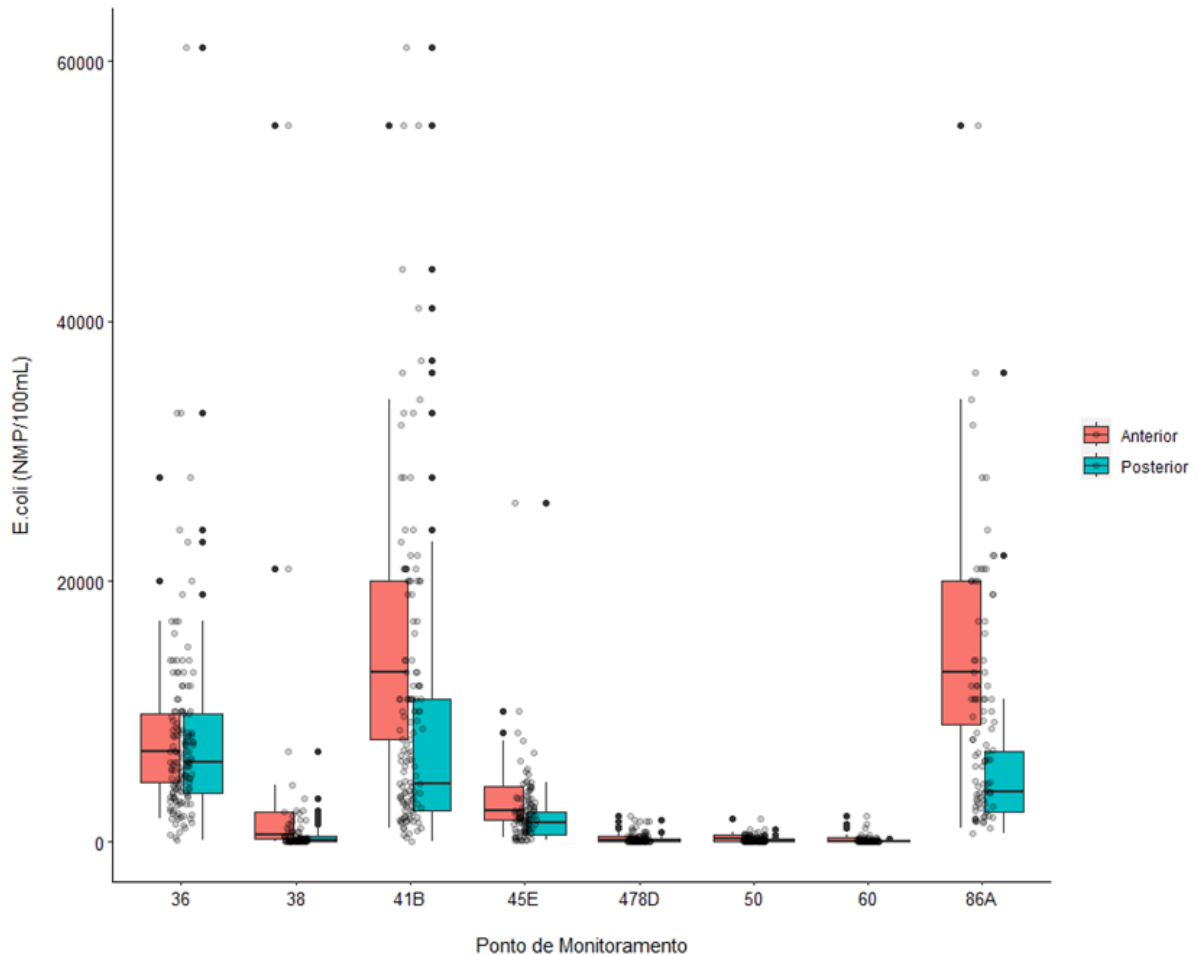


Figura 12 - Boxplot do parâmetro *E.Coli* (NMP/100ML) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.4 Potencial Hidrogeniônico (PH)

O pH é uma medida de concentração de íons de hidrogênio (H^+) nas soluções aquosas. O valor de pH varia entre 0 (muito ácido) e 14 (muito básico), onde o valor 7 aponta neutralidade. Os valores de pH estão relacionados a fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e a fatores antropogênicos pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, devido à oxidação da matéria orgânica e à lavagem ácida de tanques, respectivamente (Sperling, 2005). De acordo com Finotti (2009), as águas naturais apresentam normalmente valores entre 4 e 9.

O parâmetro pH não apresentou grandes variações (Figura 13). Os valores médios mantiveram-se próximos de sete em todos os pontos de monitoramento do DMAE em ambos os períodos, sendo assim considerado um pH neutro. Os valores máximo e mínimo (Figura 14) também se encontram próximos de sete.

Figura 13 – Média do parâmetro pH nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

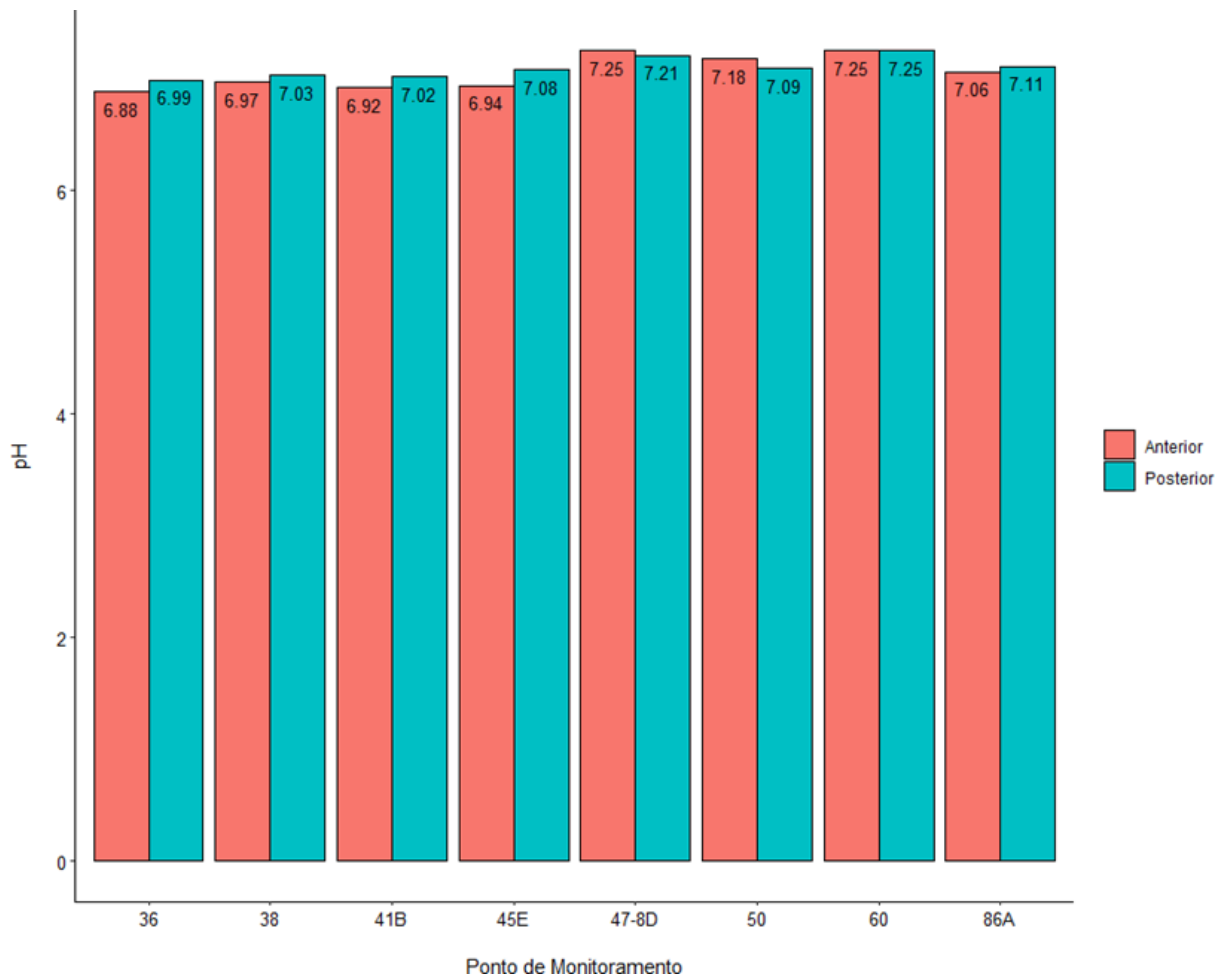
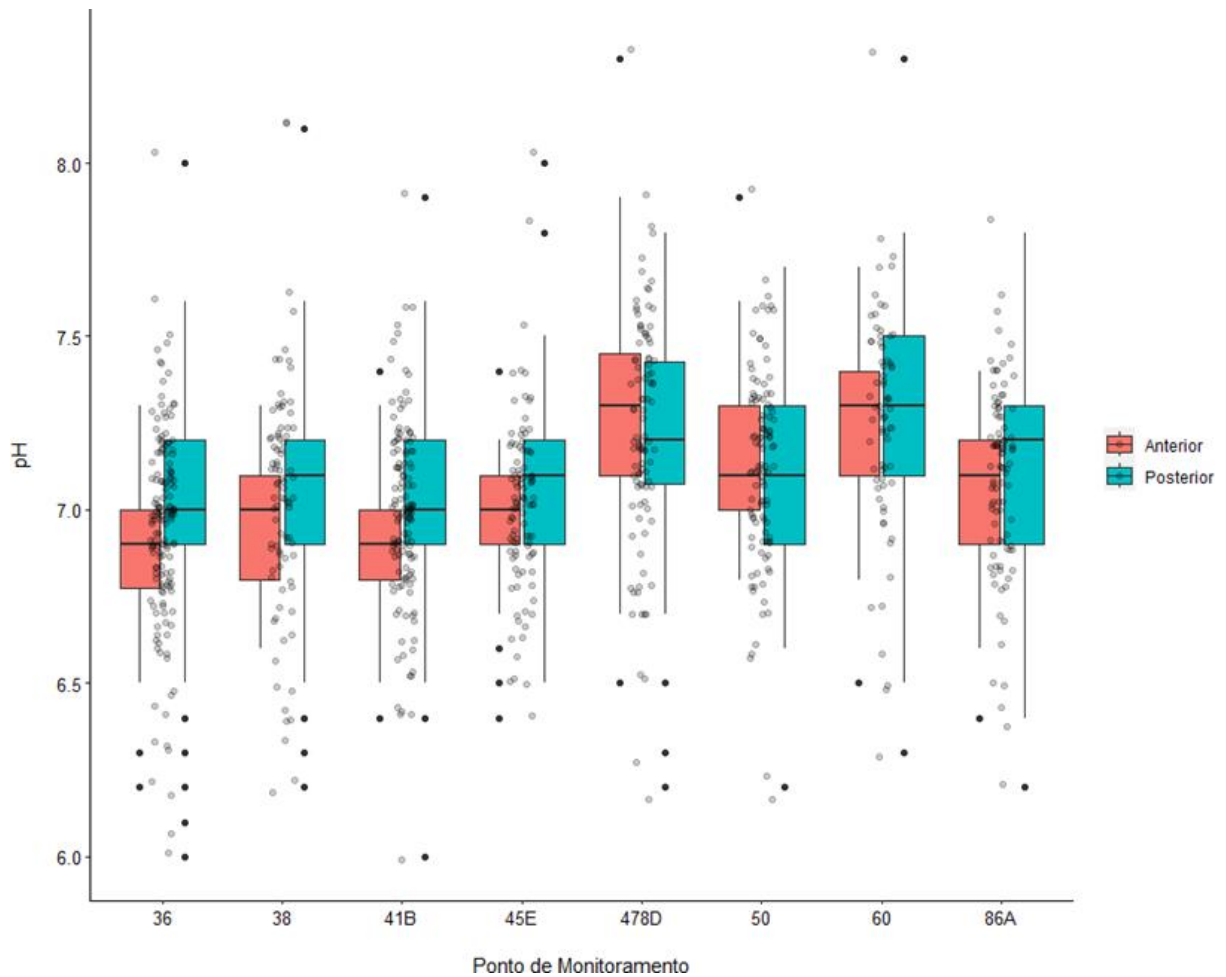


Figura 14 - Boxplot do parâmetro pH nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.5 Nitrato (NO_3)

Segundo a EMBRAPA (2002) o enriquecimento excessivo das águas superficiais com nitrato leva à eutrofização dos mananciais, provocando a abundância de organismos como algas e cianobactérias. O nitrato tem como suas principais fontes de poluição o lançamento de efluentes domésticos nos corpos hídricos, assim como o uso de fertilizantes em lavouras.

De acordo com a Figura 15, ocorreu um aumento na concentração média de nitrato em todos os pontos monitorados. Os aumentos foram de 14,71%, 20%, 18,15%, 19,72%, 13,16%, 12,86%, 16,67% e 56% para os pontos 36, 38, 86A, 50, 60, 41B, 45E e 47-8D, respectivamente. Já a Figura 16 evidencia que há uma variabilidade parecida entre os dados dos diferentes pontos, com exceção do ponto 47-8D, que apresentou um valor máximo de 9,59 mg/L.

Figura 15 – Concentração média do parâmetro Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

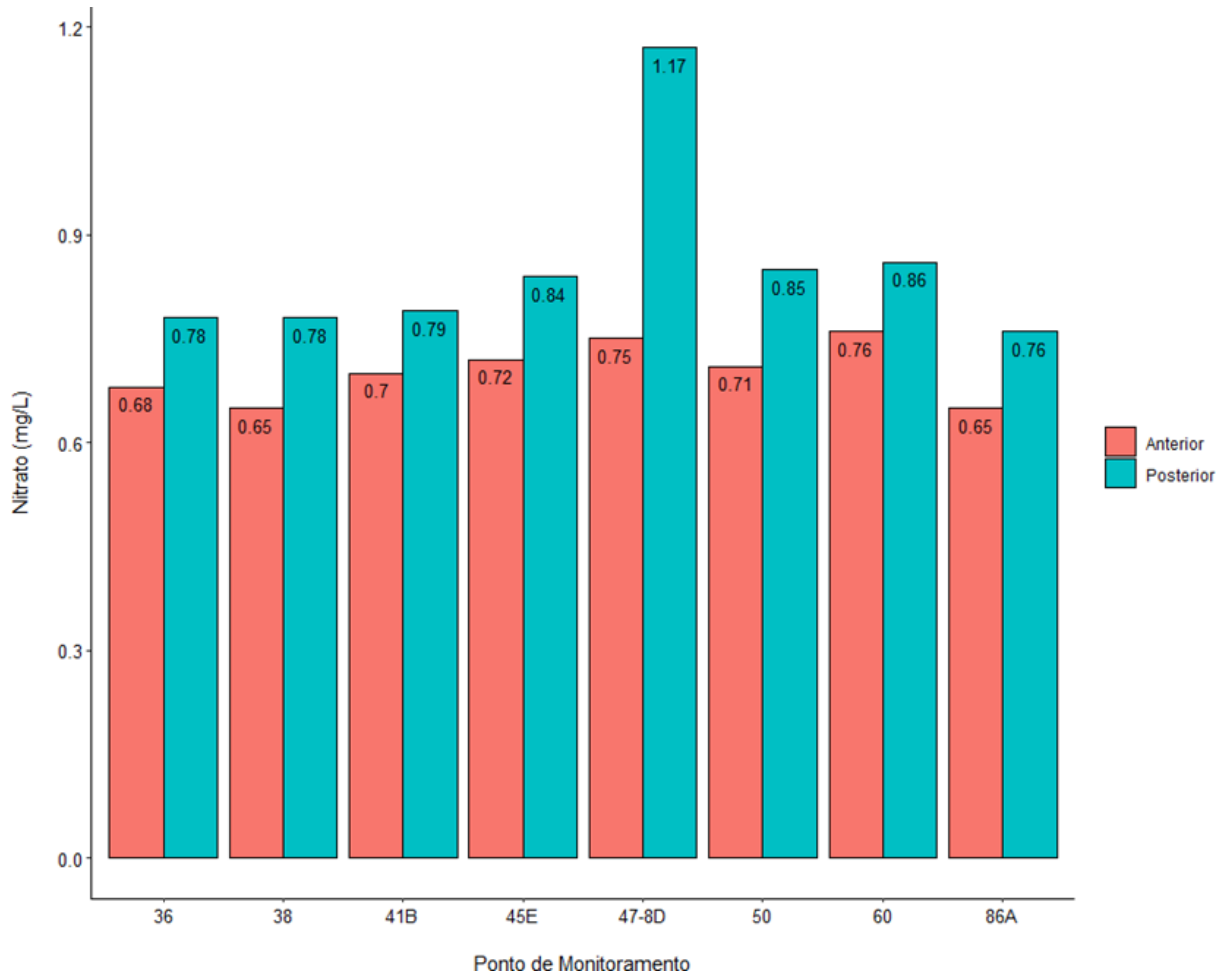
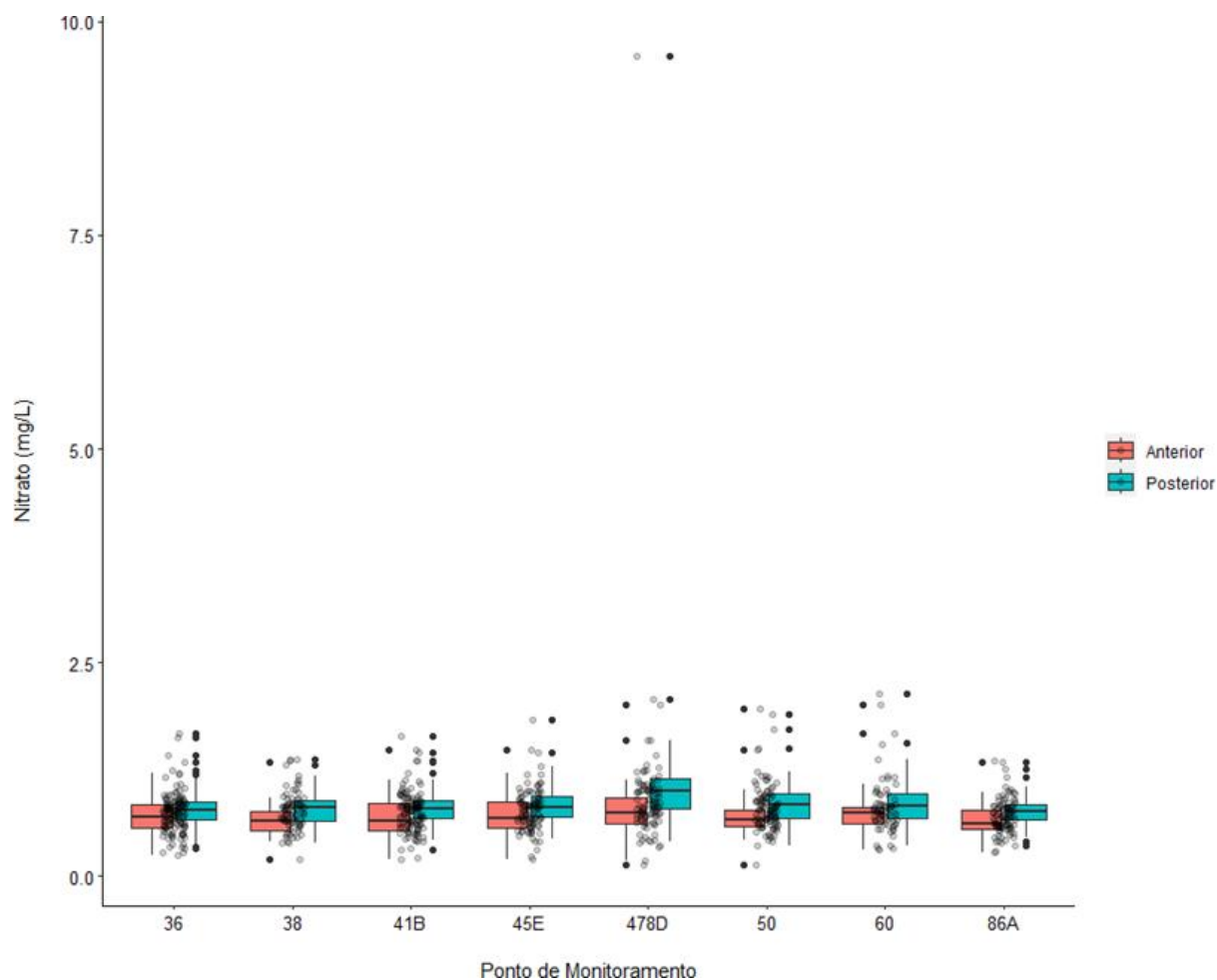


Figura 16 - Boxplot do parâmetro Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.6 Fósforo Total (FT)

O Fósforo Total prejudica o uso da água pois assim como o nitrogênio, é um causador do crescimento excessivo de algas. Pode advir de diversas fontes de poluição, como indústrias de fertilizantes, pesticidas e outros produtos químicos, do esgotamento sanitário e das águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas.

A Figura 17 permite verificar que houve redução na concentração média de FT nos Pontos 38, 60, 41B e 45E (22,22%, 10%, 12,5% e 16,67% respectivamente), os quais estão localizados na área de influência da ETE Serraria, e nos pontos 36 e 86A (6,25% e 25%). O estudo do DMAE (2017) também indica uma diminuição das concentrações médias do parâmetro nos pontos 36, 38, 86A, 60, 41B e 45E (12%, 4,8%, 19,4%, 19,3%, 9,7% e 14,5%, respectivamente) entre os períodos janeiro de 2010 a março de 2014 e abril de 2014 e julho de 2017.

Por sua vez, a Figura 18 mostra que os valores máximos foram alcançados nos pontos 86A e 47-8D (0,63 mg/L e 0,59 mg/L, respectivamente, ver também a tabela 5).

Figura 17 – Concentração média do parâmetro Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

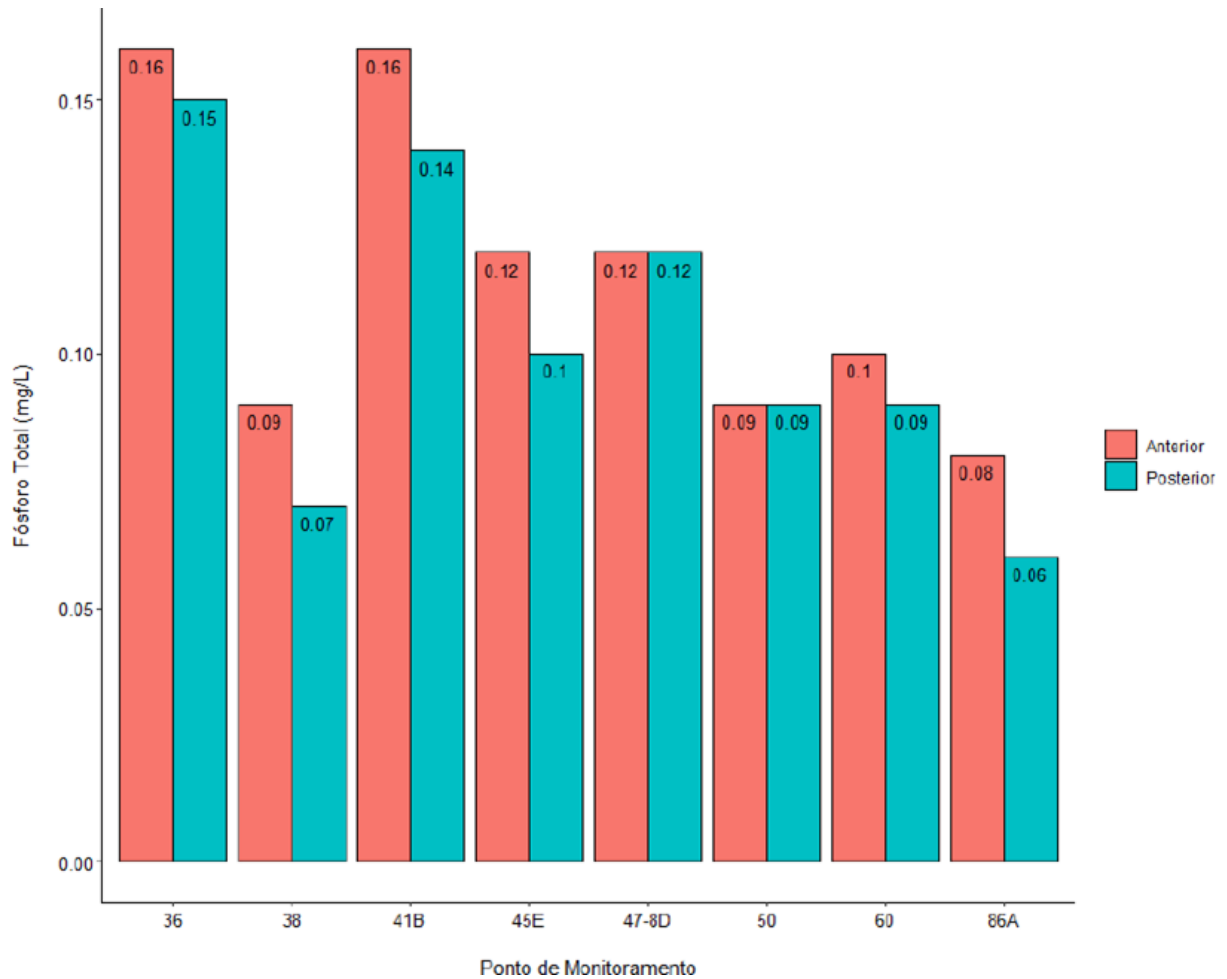
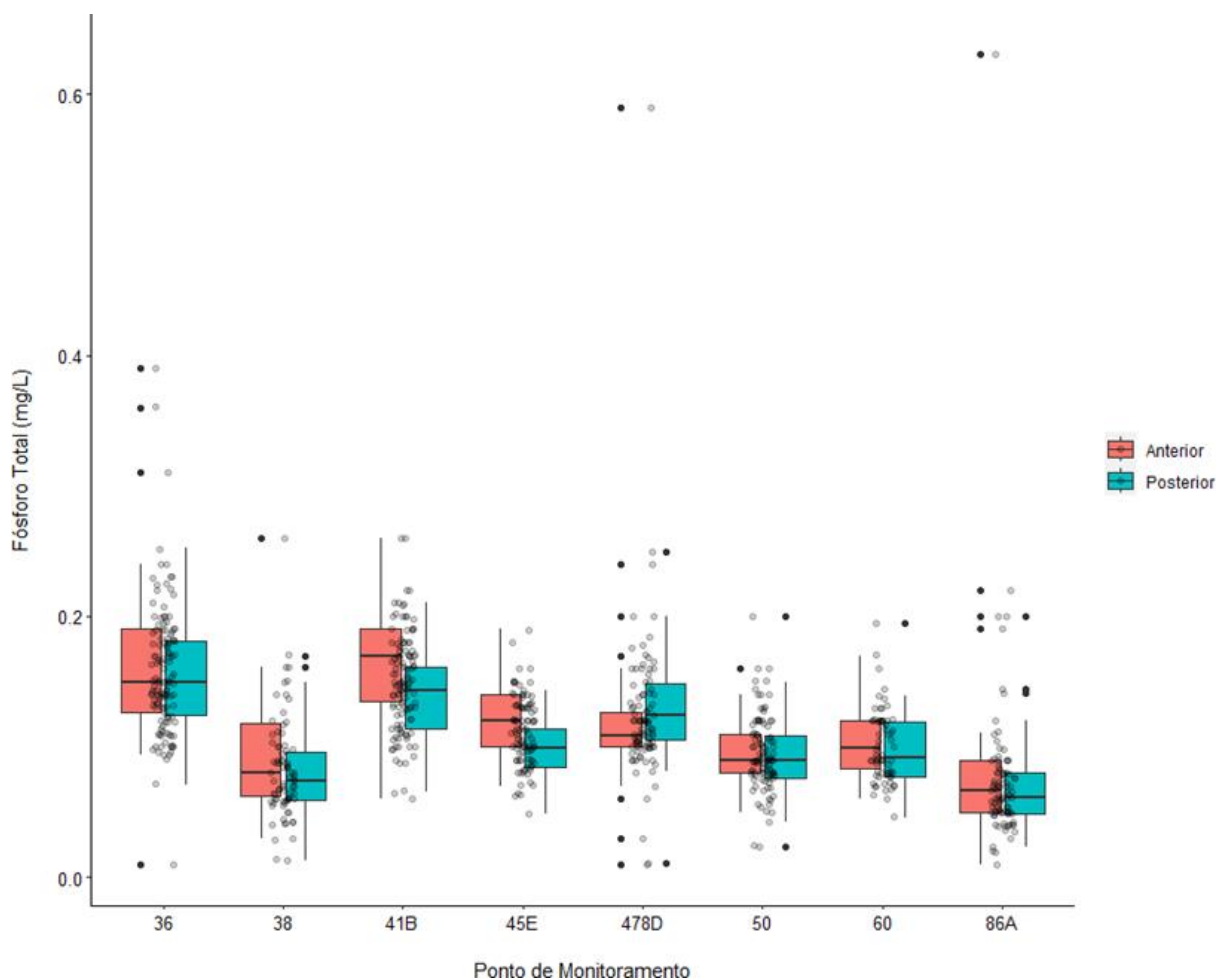


Figura 18 - Boxplot do parâmetro Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.7 Temperatura

Todos os corpos hídricos apresentam variação de temperatura ao longo do dia e ao longo das estações do ano, porém segundo a ANA (2017), o despejo de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água, principalmente nos organismos aquáticos. A fonte mais comum de lançamentos de efluentes que alteram as propriedades térmicas da água são as indústrias químicas, usinas nucleares e centrais elétricas.

As Figuras 19 e 20 permitem concluir que não ocorre grande variação nos valores médios e de desvio padrão da Temperatura entre os diferentes pontos e períodos. Tal padrão nos valores de temperatura é explicado pela sazonalidade e a consequente alteração natural da mesma ao longo do ano.

Figura 19 – Média do parâmetro Temperatura (°C) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a

implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

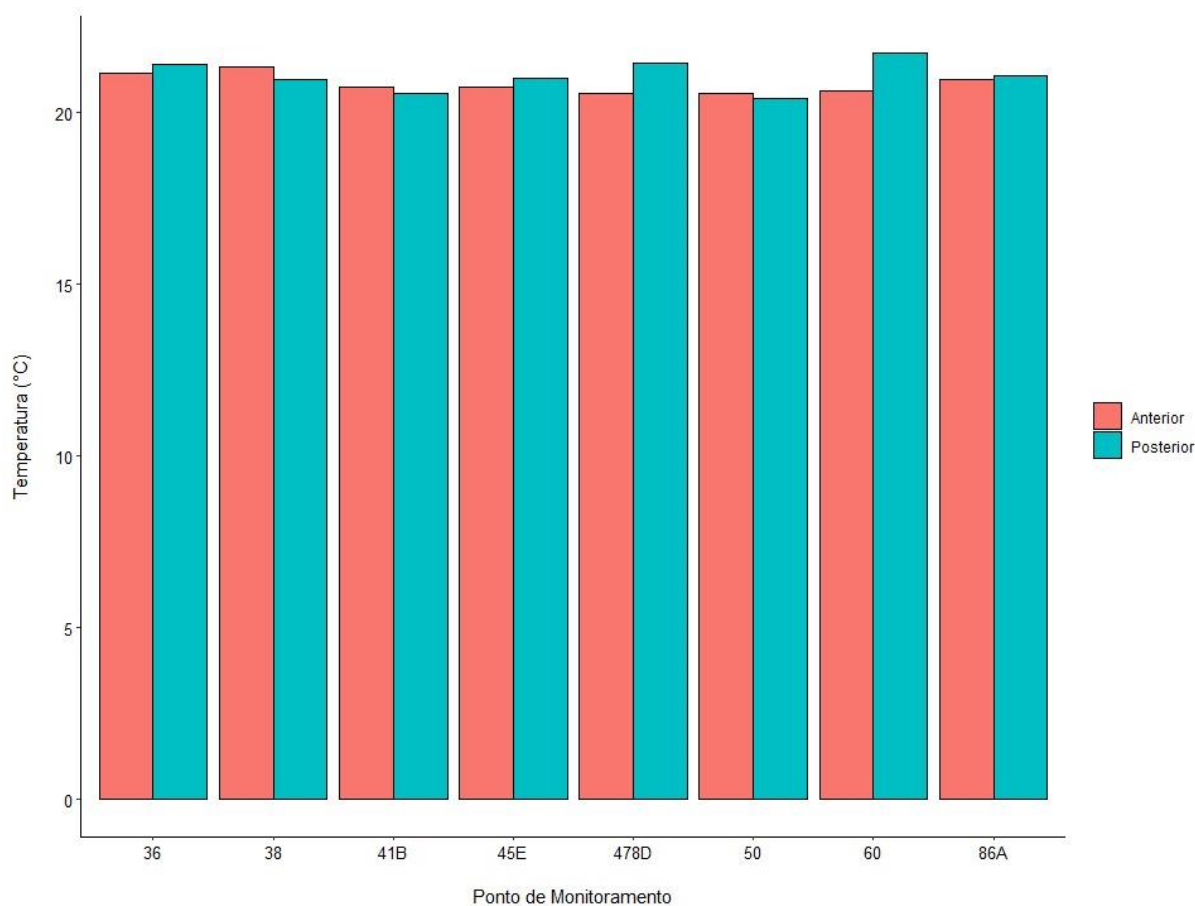
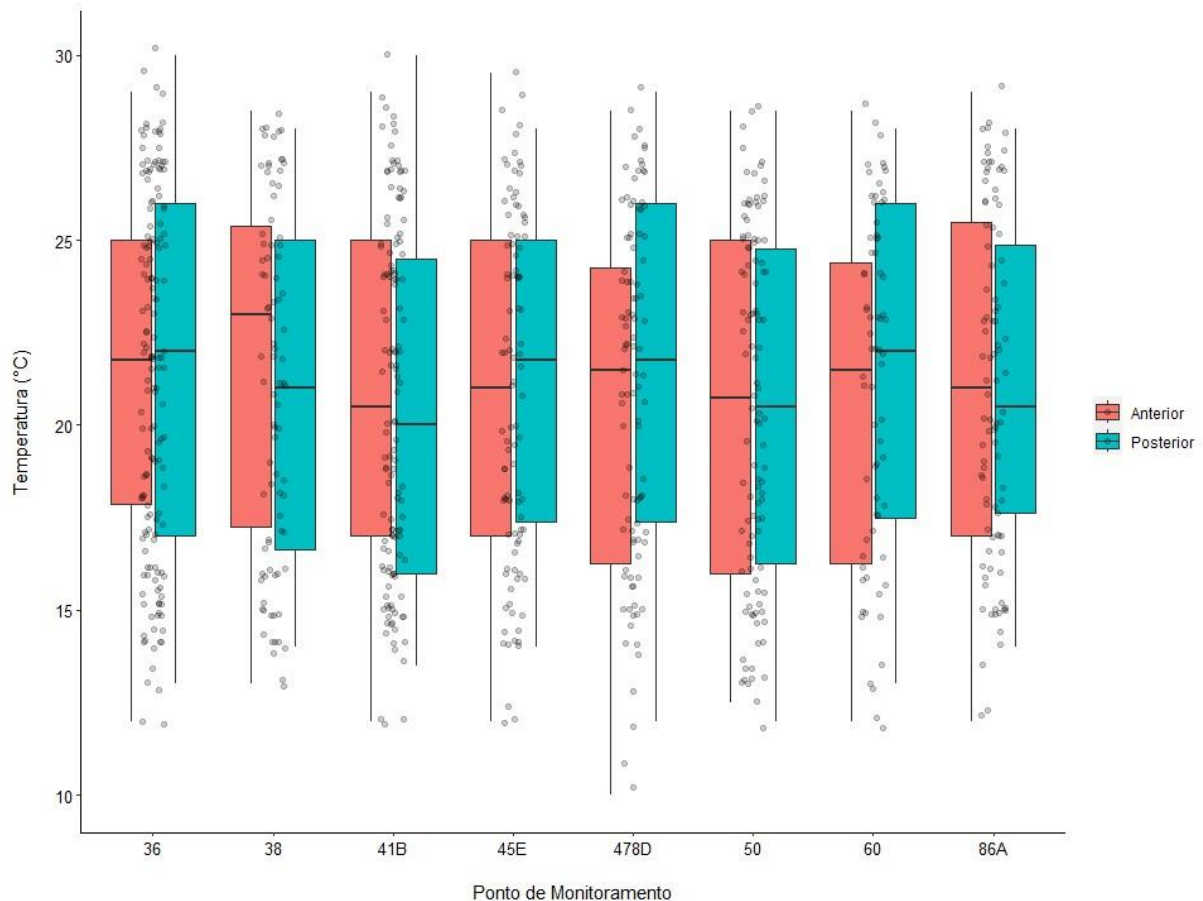


Figura 20 - Boxplot do parâmetro Temperatura (°C) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.8 Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência de passagem de luz através da água, dando-lhe uma aparência turva. Uma das principais causas do aumento da turbidez em um corpo hídrico são as atividades de mineração desenvolvidas na área da bacia. O lançamento de esgotos domésticos e industriais também são causadores de elevação nos padrões de turbidez. Altos valores do parâmetro ocasiona uma redução na fotossíntese da vegetação submersa e das águas (CETESB, 2017)

Através da Figura 21 percebe-se que a turbidez apresentou tanto aumento quanto redução em suas medições em relação ao período anterior à implantação da ETE Serraria. Os pontos 38 e 50 apresentaram uma elevação de 5,17% e 15,37%, respectivamente, enquanto os pontos 36, 86A, 41B, 45E e 47-8D demonstraram decréscimo (33,84%, 11,18%, 12,45%, 11,64% e 8,67%, respectivamente). O ponto 36 (localizado fora da área de influência da ETE Serraria) atingiu o valor máximo de toda a série de dados (775 UNT), como pode ser

observado na Figura 22 e Tabela 5. O ponto 47-8D, o ponto mais austral e localizado na zona sul de Porto Alegre, teve um valor máximo de 391 UNT.

Figura 21 – Média do parâmetro Turbidez (UNT) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

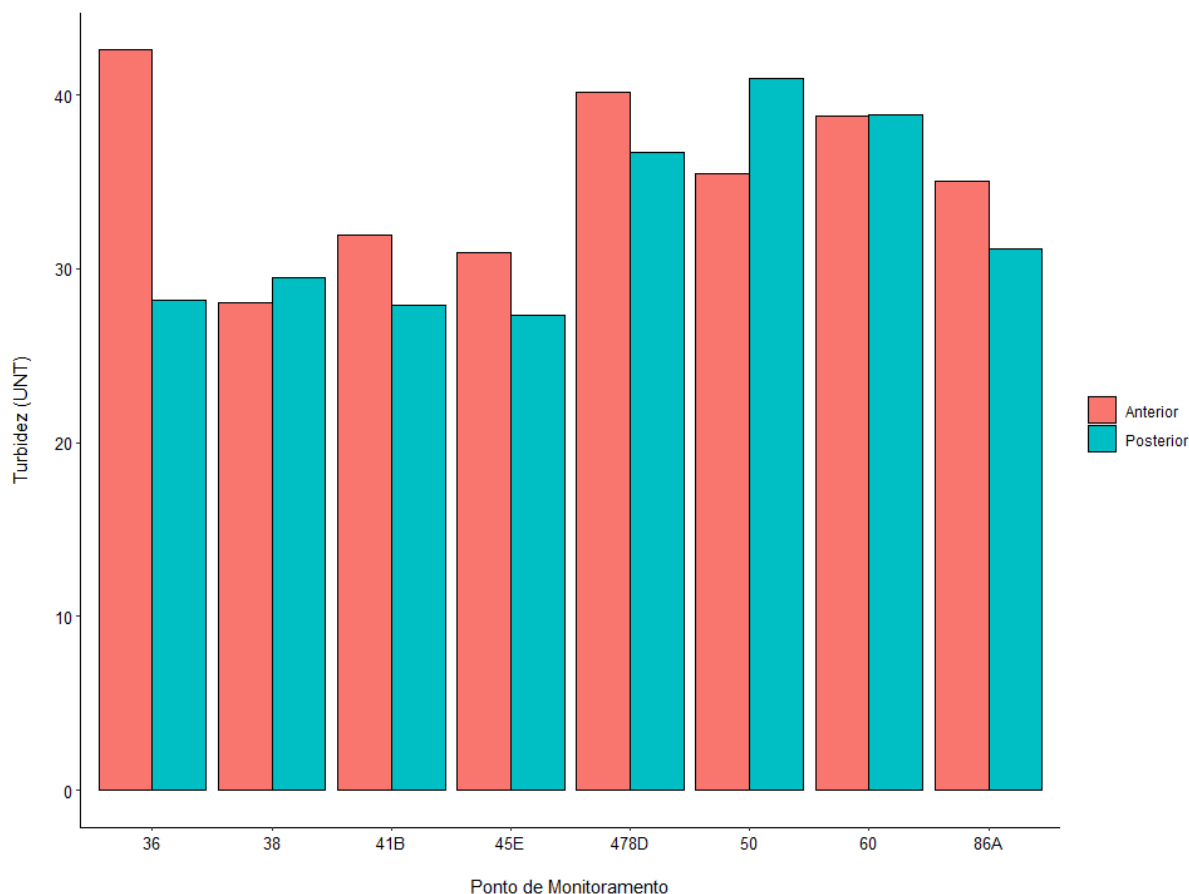
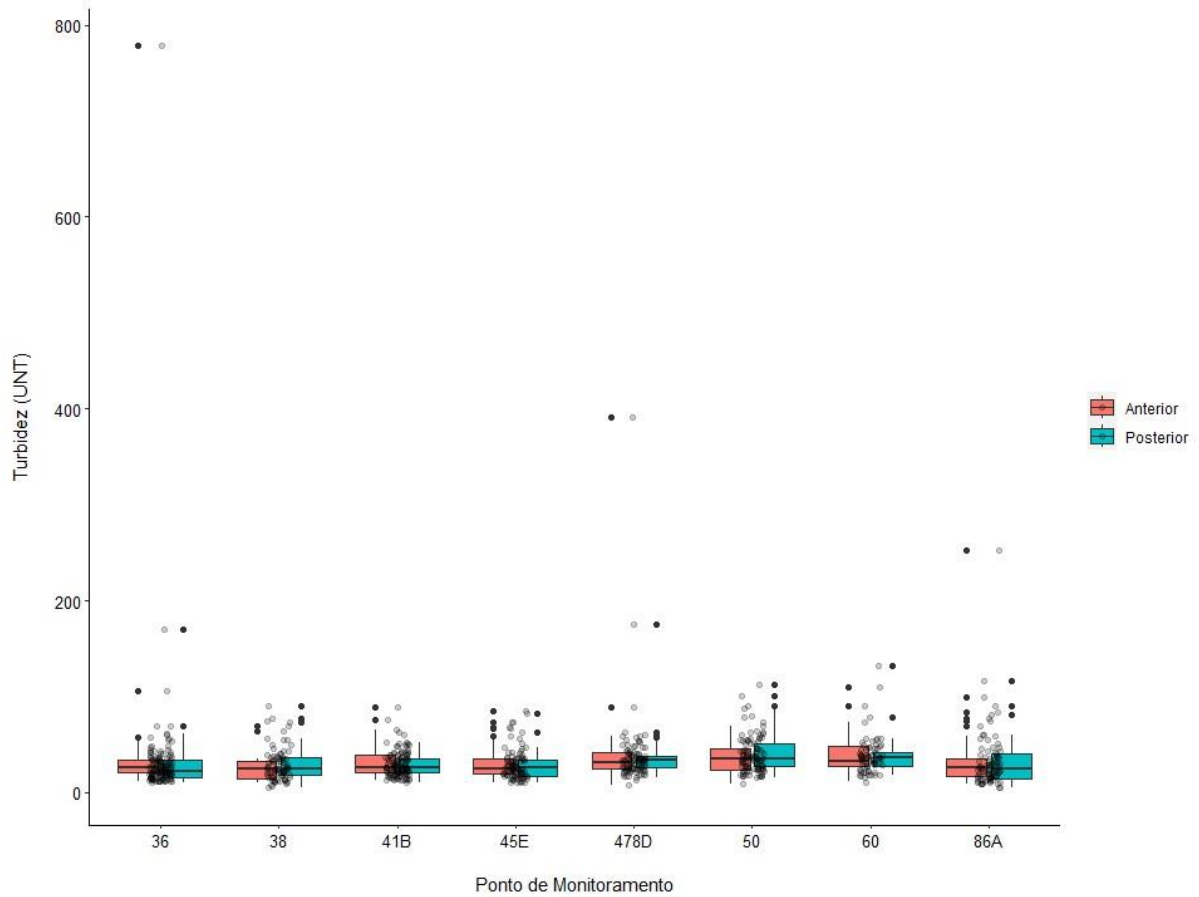


Figura 22 - Boxplot do parâmetro Turbidez (UNT) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.2.9 Sólidos Totais (ST)

Os ST se referem a toda a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra de água. Os Sólidos equivalem à soma dos sólidos em suspensão totais (SST) e dos sólidos dissolvidos totais (SDT) e afetam outros parâmetros como condutividade elétrica e turbidez. Os Sólidos podem causar o assoreamento dos rios, aumentando os riscos de enchentes. E de acordo com a ANA (2017), ocasionam danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes.

O parâmetro ST teve variações expressivas na sua concentração média após o início das operações da ETE Serraria, somente em dois pontos de monitoramento do DMAE. Os pontos 50 e 60, ambos localizados a jusante da Ponta da Cadeia, apresentaram um aumento de 19,27% e 12,8%, respectivamente (Figura 23). O ponto 47-8D, onde foi constatado um alto valor máximo de Turbidez, também teve um

elevado valor máximo de ST (Figura 24), com uma concentração de 437 mg/L (Tabela 5).

Figura 23 – Concentração média do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

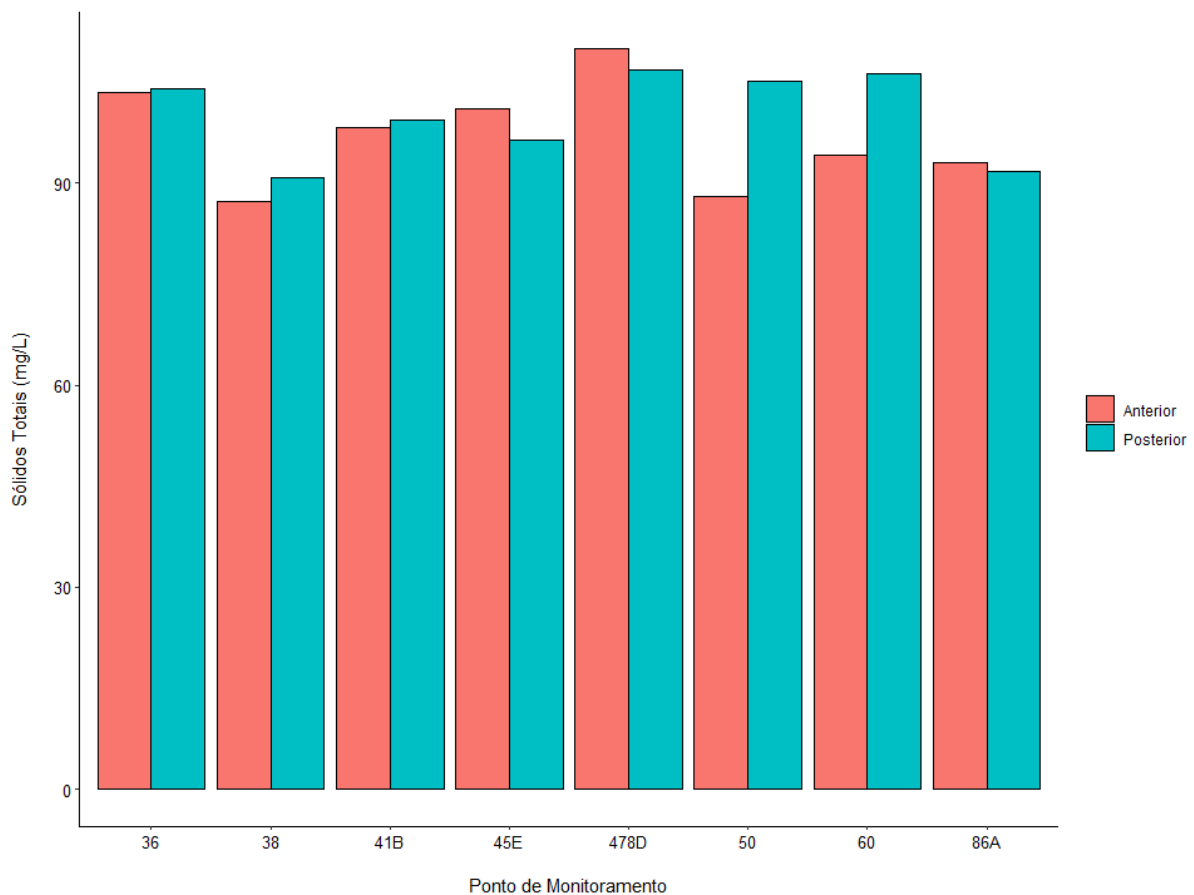
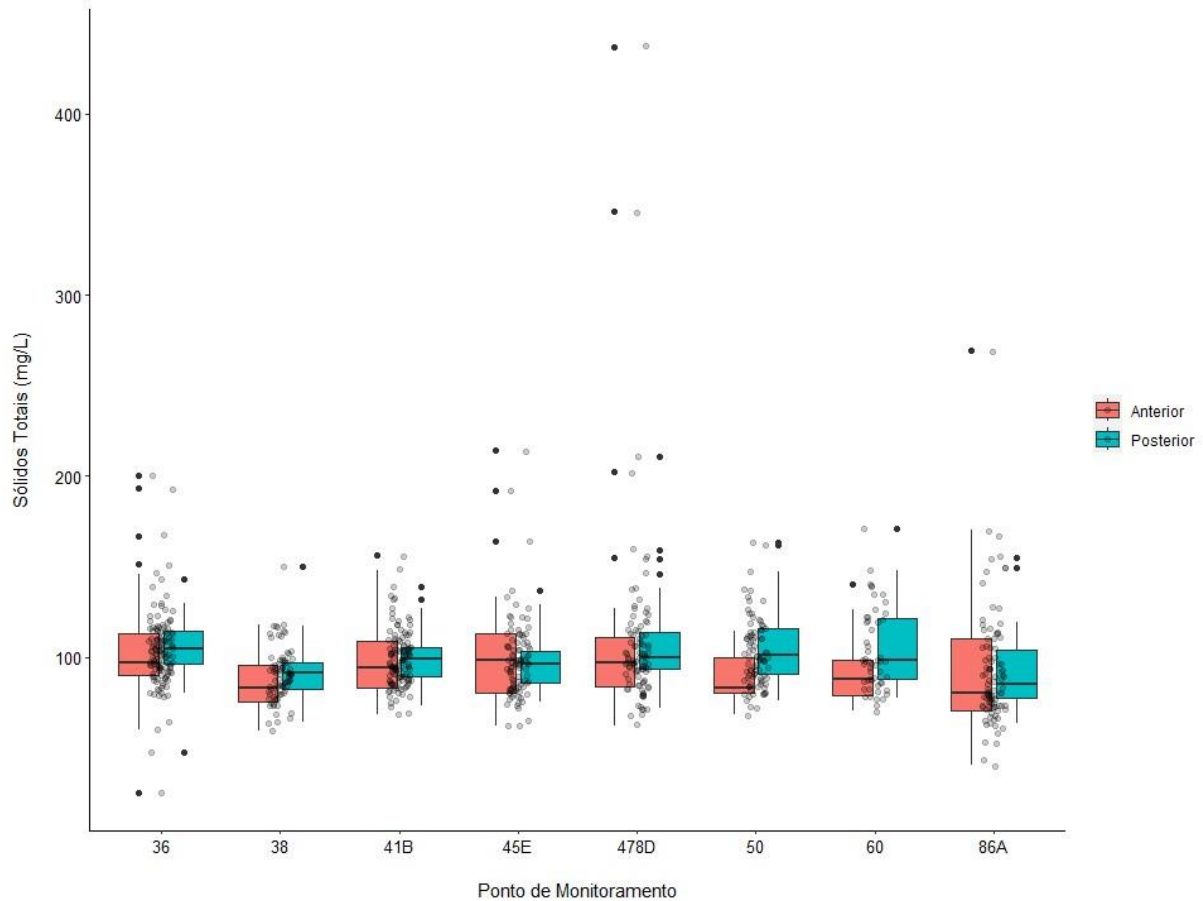


Figura 24 - Boxplot do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS nos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)



4.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A ACP é uma técnica de estatística multivariada que busca reduzir a dimensionalidade dos dados através de um conjunto de novas variáveis. Este novo conjunto contém a maior parte da informação antes contida no arranjo inicial. A projeção da maior variação da amostra gera o primeiro componente principal, a projeção da segunda maior variação, o segundo Componente Principal, e assim por diante (JOLLIFFE, 2002).

A técnica de Análise de Componentes Principais procura indicar quais as variáveis que mais contribuem para a avaliação da qualidade da água em determinado local de estudo (Finkler et al., 2015 e Ikejiri, 2022). O presente estudo realizou a ACP em dois diferentes períodos analisados em relação à qualidade da água no Lago Guaíba: anterior à implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014), e posterior ao seu estabelecimento (abril de 2014 a novembro de 2022).

No banco de dados utilizado para o cálculo dos Componentes Principais, foram excluídos os dados referentes aos pontos de monitoramento do DMAE que se situam a montante do antigo emissário Ponta da Cadeia (36 e 86A) para que não houvesse interferência no modelo pelos dados situados fora da área de influência direta da ETE Serraria. Também foram excluídos os dados dos parâmetros pH e Temperatura, pois o pH apresentou na etapa anterior uma baixa variabilidade, e mudanças pouco expressivas entre os dois períodos analisados, enquanto a Temperatura tem a sua variabilidade ocasionada pela sazonalidade.

Para que a realização da ACP seja possível, é necessário que previamente sejam realizados dois testes para confirmar a adequação do conjunto de dados ao método proposto. O teste de Bartlett testa se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não existe correlação entre os dados. Sendo assim, procura-se, para um nível de significância assumido em 5%, rejeitar a hipótese nula de matriz de correlação identidade. A hipótese nula diz que a matriz de correlação da população é uma matriz identidade, a qual indica que o modelo fatorial (ACP) é inapropriado. Enquanto isso, o teste de Kayser-Meyer-Olkin (KMO) compara a magnitude do coeficiente de correlação observado com a magnitude do coeficiente de correlação parcial (FERREIRA JR. et al., 2004). O resultado do teste de KMO varia de 0 a 1, considerando que valores acima de 0,5 indicam que os dados são adequados à aplicação da ACP.

O teste de Bartlett apresentou valores altamente significativos (p -valor $< 0,001$), em ambos os períodos analisados, rejeitando a hipótese de a matriz de correlação ser uma matriz identidade. Posteriormente, o teste de KMO resultou para ambos os períodos, valores superiores a 0,5 (KMO = 0,537 para o período anterior a inauguração da ETE Serraria, e KMO = 0,620 no período pós início das operações). O resultado de ambos os testes indica que a aplicação da ACP é apropriada para os conjuntos de dados.

Na Tabela 7, apresentam-se a pontuação de cada Componente Principal, bem como as cargas fatoriais e correlações com as variáveis do estudo. A ACP realizada para os dados de qualidade da água das estações de monitoramento do DMAE sob influência da ETE Serraria, no período anterior ao início da sua operação, revelou a

existência de quatro componentes principais responsáveis por explicar cerca de 79,9% da variância total.

Tabela 7 – Cargas fatoriais das variáveis para os CP encontrados no período anterior a implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014)

Parâmetros	Componentes Principais			
	CP 1	CP 2	CP3	CP4
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,4004	0,0779	-0,4001	-0,6012
<i>Escherichia Coli</i>	0,5516	0,2606	-0,1217	0,0663
Nitrato	-0,0790	-0,4767	-0,5979	0,2769
Oxigênio Dissolvido	-0,4236	-0,2010	-0,4215	-0,4055
Fósforo Total	0,5471	-0,2287	-0,1929	0,1979
Sólidos Totais	0,1493	-0,4304	0,4344	-0,5660
Turbidez	0,1671	-0,6485	0,2528	0,1825
Desvio Padrão	1,4498	1,1974	1,0302	1,0003
% Variação explicada	0,3003	0,2048	0,1516	0,1429
%Variação explicada acumulada	0,3003	0,5051	0,6567	0,7997

Fonte: Elaborada pelo autor

Segundo os resultados apresentados na Tabela 7, o CP1 explicou uma variação de 30,03%, e é formada pelos parâmetros DBO, *Escherichia Coli*, Oxigênio Dissolvido e Fósforo Total, pois apresentam os pesos mais altos. A presença dos parâmetros DBO, *Escherichia Coli*, Oxigênio Dissolvido indica que as águas do Lago Guaíba sofrem principalmente com os despejos de efluentes domésticos sem tratamento, anteriores à implantação da ETE Serraria. O valor positivo para a DBO e *Escherichia Coli*, comparado com o valor negativo do Oxigênio Dissolvido comprova a correlação entre as variáveis, pois quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente na água, maior será a DBO e menor a concentração de Oxigênio Dissolvido. O parâmetro Fósforo Total pode ser associado, além das cargas de esgotos domésticos lançadas no corpo hídrico, ao escoamento superficial das áreas agrícolas da porção central e nordeste do estado do Rio Grande do Sul, que são drenadas pelos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí, os quais possuem sua foz no Lago Guaíba. A presença deste parâmetro em grandes concentrações pode ocasionar processos de eutrofização.

O CP2 representou 20,48 % da variância total dos dados de qualidade da água, e indica a influência majoritária dos parâmetros Turbidez, Sólidos Totais e Nitrato. Tais parâmetros, assim como o Fósforo Total, podem ter sua presença explicada pelo aporte de água e sedimentos (erosão) oriundos das bacias hidrográficas formadas pelos rios que desaguam no Delta do Jacuí. Segundo Pessoa (2017) os rios Caí, Sinos e Gravataí são intensamente contaminados pelas atividades realizadas em suas bacias, como a intensa urbanização e agricultura.

Enquanto isso, os CP3 e CP4, responsáveis por explicar 15,16% e 14,29% da variação, respectivamente, destacaram em ambos componentes o parâmetro DBO e Oxigênio Dissolvido, assim como os sólidos totais.

A ACP realizada para os dados de qualidade da água no período posterior à inauguração da ETE Serraria, que compreende o espaço de tempo entre abril de 2014 e novembro de 2022, tem seus resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Cargas fatoriais das variáveis para os CP encontrados no período posterior a implantação da ETE Serraria (abril de 2014 a novembro de 2022)

Parâmetros	Componentes Principais			
	CP 1	CP 2	CP3	CP4
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,3651	0,3633	-0,1972	0,5446
Escherichia Coli	0,3165	0,4622	-0,1705	0,1952
Nitrato	0,1352	-0,1629	-0,8772	-0,4121
Oxigênio Dissolvido	-0,0781	-0,5318	-0,2821	0,668
Fósforo Total	0,5747	0,0913	0,1148	-0,2094
Sólidos Totais	0,5072	-0,3141	0,1312	-0,065
Turbidez	0,3929	-0,4878	0,2290	0,0024
Desvio Padrão	1,508	1,3524	1,0072	0,8542
% Variação explicada	0,325	0,2613	0,1449	0,1042
%Variação explicada acumulada	0,325	0,5862	0,7311	0,8354

Fonte: Elaborada pelo autor

Para o período agora analisado, quatro componentes principais foram responsáveis por explicar 83,54% da variação total. As variáveis que mais se destacaram na CP1 (32,5% da variação total explicada) foram Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez, provavelmente oriundas da carga de água e sedimentos trazida

pelos rios que desaguam no Lago Guaíba. Os dois últimos parâmetros apresentam sinal positivo no CP1, e negativo no CP2, demonstrando a correlação que existe entre os dois. A DBO mostrou-se presente nos CP1, CP2 e principalmente no CP4, outros parâmetros relacionados a contaminação por esgoto doméstico, como a *Escherichia Coli* e o Oxigênio Dissolvido tiveram mais destaque no CP2 (26,13% da variação total explicada).

O resultado desse modelo estatístico, realizado para os dois períodos, sinaliza que houve uma mudança no padrão de poluição do Lago Guaíba após a construção da ETE Serraria, visto que na ACP do período posterior, não se verificou um peso tão relevante dos parâmetros majoritariamente ligados ao lançamento de efluentes domésticos (DBO, *Escherichia Coli*, Oxigênio Dissolvido) como averiguado na ACP do período anterior.

É necessário ter cautela na Análise da Componentes Principais, pois a influência e peso das variáveis dentro das componentes, não refletem necessariamente em uma contaminação do corpo hídrico acima dos limites estabelecidos pelos órgãos ambientais responsáveis pelo monitoramento e gestão dos recursos hídricos. Mesmo assim, o modelo mostrou-se adequado para entender o comportamento dos parâmetros provenientes do lançamento de esgoto doméstico, que passou a ser tratado a partir do funcionamento da ETE Serraria e do SES Ponta da Cadeia. Os parâmetros DBO e *Escherichia Coli*, possuíam, no período anterior, uma influência maior sobre o conjunto de variáveis, demonstrando assim que a ETE Serraria pode ter mudado o padrão de lançamentos de efluentes domésticos nas águas do Lago Guaíba. Já o parâmetro Fósforo Total apresentou um grande peso na ACP dos dois períodos, podendo indicar que a origem deste parâmetro no Lago Guaíba não advém apenas do lançamento de esgoto doméstico.

4.4 TESTE DE WILCOXON

O teste de Wilcoxon busca determinar se há uma diferença significativa entre as medianas de dois grupos amostrais, dado um nível de significância de 5%. A partir das análises anteriores (análise da estatística descritiva e a ACP), pode-se averiguar que os parâmetros *Escherichia Coli* e Demanda Bioquímica de Oxigênio são

predominantemente associados a fontes de poluição geradas a partir de esgotos domésticos, e que também apresentaram diferenças em suas concentrações medidas nos dois períodos analisados na pesquisa. Logo, realizou-se o teste de Wilcoxon a fim de evidenciar se ocorreu uma melhora significativa desses dois parâmetros no Lago Guaíba, após o início das operações da ETE Serraria, que aumentou consideravelmente o tratamento dos efluentes domésticos do município de Porto Alegre.

Primeiramente foi efetuado o teste de Shapiro-Wilk com o intuito de testar a normalidade dos dados. Para tal estudo, o valor de significância definido foi de 0,05, ou seja, se $p\text{-valor} < 0,05$, rejeita-se H_0 ; se $p\text{-valor} > 0,05$, não se rejeita H_0 . Caso a estatística do teste indique que a hipótese nula deve ser rejeitada, então tem-se que a distribuição dos dados não segue uma distribuição normal, e neste caso o teste de Wilcoxon será adequado para o conjunto amostral.

A Tabela 9 apresenta o resultado do teste de Shapiro-Wilk para os dois parâmetros analisados, nos oito pontos de monitoramento do DMAE. Nesta análise diferentemente da ACP, utilizaram-se os dados dos pontos 36 e 86A (fora da área de influência da ETE Serraria) pois dado que o teste de cada ponto é realizado separadamente, não haveria influência destes sobre o conjunto de dados.

Tabela 9 - Teste de normalidade a partir do teste de Shapiro-Wilk

Ponto de Amostragem - DMAE	Parâmetros			
	Demanda Bioquímica de Oxigênio		<i>Escherichia Coli</i>	
	Valor p	Resultado	Valor p	Resultado
36	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal
86A	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal
38	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H_0 , pois não segue uma distribuição normal

41B	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal
45E	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal
47-8D	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal
50	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal
60	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal	< 0,001	Rejeita H ₀ , pois não segue uma distribuição normal

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados na Tabela 9, a hipótese nula foi rejeitada para ambos os parâmetros (DBO e *Escherichia Coli*) em todos os pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba. A partir disto, pode-se realizar o teste não-paramétrico de Wilcoxon, pois os dados ajustam-se às premissas do teste. Os valores das medianas utilizadas no teste, bem como as hipóteses estão listadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Medianas de referência utilizadas no teste de Wilcoxon

Ponto de Amostragem - DMAE	Parâmetros			
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)		<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100ML)	
	Mediana	Descrição	Mediana	Descrição
36	1,35	H ₀ : $\theta = 1,35$ versus H ₁ : $\theta \neq 1,35$	6900	H ₀ : $\theta = 6900$ versus H ₁ : $\theta \neq 6900$
86A	1,6	H ₀ : $\theta = 1,6$ versus H ₁ : $\theta \neq 1,6$	13000	H ₀ : $\theta = 13000$ versus H ₁ : $\theta \neq 13000$
38	0,85	H ₀ : $\theta = 0,85$ versus H ₁ : $\theta \neq 0,85$	565	H ₀ : $\theta = 565$ versus H ₁ : $\theta \neq 565$
41B	1,6	H ₀ : $\theta = 1,6$ versus H ₁ : $\theta \neq 1,6$	13000	H ₀ : $\theta = 13000$ versus H ₁ : $\theta \neq 13000$
45E	0,9	H ₀ : $\theta = 0,9$ versus H ₁ : $\theta \neq 0,9$	2400	H ₀ : $\theta = 2400$ versus H ₁ : $\theta \neq 2400$
47-8D	1	H ₀ : $\theta = 1$ versus H ₁ : $\theta \neq 1$	89	H ₀ : $\theta = 89$ versus H ₁ : $\theta \neq 89$

50	0,85	$H_0 : \theta = 0,85$ versus $H_1 : \theta \neq 0,85$	205	$H_0 : \theta = 205$ versus $H_1 : \theta \neq 205$
60	1	$H_0 : \theta = 1$ versus $H_1 : \theta \neq 1$	60	$H_0 : \theta = 60$ versus $H_1 : \theta \neq 60$

A Tabela 11 apresenta os resultados do teste de Wilcoxon para os dois parâmetros. Para p-valor <0,05, rejeita-se a hipótese nula, portanto a diferença entre as medianas dos dois períodos é significativamente diferente. Se p-valor > 0,05, a hipótese nula não é rejeitada, logo não existe uma diferença significativa entre as medianas dos dois períodos.

Tabela 11 – Resultados do teste de Wilcoxon comparando a mediana dos períodos anterior a implantação da ETE Serraria (jan/2010 a mar/2014) e posterior a implantação da ETE Serraria (abr/2014 a nov/2022)

Pontos - DMAE	Parâmetros			
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)		<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100ML)	
	Valor p	Resultado	Valor p	Resultado
36	0,03763	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO é significativamente diferente de 1,35 (superior)	0,5551	Não Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> não é significativamente diferente de 6900
86A	< 0,001	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO é significativamente diferente de 1,6 (inferior)	< 0,001	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 13000 (inferior)
38	0,6271	Não Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO não é significativamente diferente de 0,9	0,01	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 565 (inferior)
41B	0,0477	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO é significativamente diferente de 1,6 (inferior)	< 0,001	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 13000 (inferior)
45E	0,2469	Não Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO não é significativamente diferente de 0,9	< 0,001	Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 2400 (inferior)
47-8D	0,4683	Não Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de DBO não é significativamente diferente de 1	0,5729	Não Rejeita H_0 , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> não é significativamente diferente de 89

50	0,3272	Não Rejeita H ₀ , logo a mediana da concentração de DBO não é significativamente diferente de 0,85	0,006	Rejeita H ₀ , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 205 (inferior)
60	0,9661	Não Rejeita H ₀ , logo a mediana da concentração de DBO não é significativamente diferente de 1	0,04	Rejeita H ₀ , logo a mediana da concentração de <i>E.coli</i> é significativamente diferente de 60 (inferior)

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados do teste de Wilcoxon evidenciaram que para o parâmetro DBO, três pontos de monitoramento tiveram suas medianas do período posterior a implantação da ETE Serraria significativamente diferentes das medianas observadas no período anterior. O Ponto 41B, localizado na foz do Arroio Dilúvio, um dos pontos mais poluídos do Lago Guaíba, teve sua mediana do parâmetro DBO do período posterior (1,3 mg/L) significativamente, segundo o teste de Wilcoxon, inferior a mediana do período anterior (1,6 mg/L). O ponto 41B está localizado na área de influência da ETE Serraria.

Os outros dois pontos que tiveram suas medianas significativamente diferentes foram os pontos 36 e 86A, ambos fora da região de influência da ETE Serraria. O ponto 86A, seguindo os padrões de melhoria já vistos na análise descritiva dos dados, apresentou a sua mediana da DBO significativamente inferior no período posterior (1,1 mg/L), comparada com a mediana do outro período (1,6 mg/L). O Ponto 36 apresentou uma degradação da sua qualidade, com um aumento significativamente na sua mediana, que passou de 1,35 mg/L para 1,6 mg/L. Os demais pontos, todos localizados na zona de influência da ETE, não apresentaram diferenças significativas em suas medianas do parâmetro DBO. Tal fato se deve aos baixos níveis de concentração do parâmetro já no período anterior à inauguração da ETE, que serão confrontados com os limites da Resolução n° 357 do CONAMA de 2005 posteriormente, para averiguar os níveis de poluição do Lago Guaíba.

Para o outro parâmetro analisado, *Escherichia Coli*, somente os pontos 36 e 47-8D não apresentaram diferenças significativas. O ponto 38 apresentou uma mediana significativamente inferior no período posterior, 145 NMP/100ML contra 565 NMP/100ML do período anterior. Um dos pontos mais degradados da série, 41B, também revelou diferenças significativas, tendo a sua mediana anterior de 13000

NMP/100ML, passado para 4500 NMP/100ML. O ponto 45E foi outro que demonstrou diferenças estatisticamente diferentes nos períodos (2400 NMP/100ML no anterior, para 1450 NMP/100ML no posterior).

Outros pontos localizados na área de influência da ETE também apresentaram diferenças significativas, como o 50 e o 60, localizados na parte sul de Porto Alegre, longe de regiões densamente povoadas. Porém as medianas no período anterior já eram baixas, o que será evidenciado ao relacionar os dados com a classificação das águas do CONAMA. E, novamente, mesmo fora da área de influência, o ponto 86A apresentou melhorias na sua qualidade d'água (mediana anterior = 13000 NMP/100ML e mediana posterior = 3800 NMP/100ML), evidenciando que outras ações para a saúde do corpo hídrico estão sendo tomadas.

4.5 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A RESOLUÇÃO N°357/2005 DO CONAMA

A Resolução de número 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), datada do dia 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (CONAMA, 2005). A partir do enquadramento das águas do Lago Guaíba seguindo tal resolução, será possível entender efetivamente onde está havendo melhorias na qualidade da água.

Oito parâmetros de qualidade da água monitorados pelo DMAE no Lago Guaíba utilizados na pesquisa (Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, *Escherichia Coli*, pH, Nitrato, Fósforo Total, Turbidez e Sólidos Totais) foram delimitados em diferentes classes de acordo com a Resolução n°357/2005 do CONAMA (tabela 12).

O parâmetro Temperatura não possui classificação de seus valores segundo tal resolução. Para a classificação utilizou-se os valores médios anuais de cada parâmetro nos oito pontos de monitoramento do DMAE.

Para o parâmetro OD, somente dois pontos de monitoramento apresentaram médias anuais classificadas como Classe 2. O ponto 36 (fora da área de influência da

ETE Serraria) foi classificado como Classe 2 nos anos de 2010, 2011, 2017, 2019, 2020, 2021 e 2022. O outro ponto que apresentou classificação como Classe 2 foi o ponto 41B, situado a jusante da foz do Arroio Dilúvio, nos anos de 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2021 e 2022. Todos os outros valores médios anuais destes e dos outros pontos monitorados foram enquadrados como Classe 1.

Em relação a DBO, verificou-se somente uma média anual não classificada como Classe 1, tal valor corresponde ao ano de 2018 no ponto 36 (Classe 2).

O parâmetro *E.Coli* apresentou médias anuais classificadas em todas as quatro Classes definidas pelo CONAMA. Os pontos 36, 86A e 41B tiveram todas as suas médias anuais enquadradas como Classe 4 (a que representa a maior deterioração da qualidade da água, apta apenas para os usos menos nobres como navegação e harmonia paisagística). Pontos como o 50, 60, 45E e 47-8D apresentaram uma melhora significativa a partir do ano de 2014, quando a ETE Serraria começou a operar. Tais pontos, que anteriormente possuíam suas médias anuais delimitadas como Classe 4, Classe 3 ou Classe 2, passaram a ter as suas médias anuais classificadas como Classe 1, nos anos mais recentes. O parâmetro *E.coli* está diretamente relacionado com a contaminação por esgotos domésticos.

Todas as médias anuais, em todos os pontos de monitoramento do DMAE, para os parâmetros Nitrato e pH foram enquadradas como Classe 1.

Em relação ao parâmetro Fósforo Total, a grande maioria dos valores médios anuais foi classificada como Classe 4, evidenciando assim contaminação do Lago Guaíba por tal elemento, como demonstrado pela Análise de Componentes Principais, onde tal parâmetro teve alto peso nas principais Componentes Principais, tanto anteriormente à inauguração da ETE Serraria, quanto posteriormente. Tal contaminação nos pontos 50, 60 e 47-8D, todos distantes de áreas densamente povoadas, indica que a origem do Fósforo Total, em sua maioria, não corresponde a efluentes domésticos, visto que tais pontos apresentaram baixíssimos níveis de *E.coli*, sendo enquadrados em Classe 1 ou 2. Os altos níveis de Fósforo podem ser decorrentes das águas recebidas pelo Lago Guaíba a partir dos rios Caí, Sinos, Gravataí e Jacuí que desaguam no Delta do Jacuí, corroborando com Andrade (2018),

cuja pesquisa constatou que a baixa qualidade da água dos rios tributários do Delta, afeta negativamente as águas do Lago Guaíba.

Já o parâmetro Turbidez teve suas médias anuais classificadas em sua grande maioria como Classe 1, principalmente nos anos mais recentes com a ETE operando em pleno funcionamento.

O parâmetro ST, assim como o pH e o Nitrato, foi classificado como Classe 1 em todas as médias anuais calculadas para todos os pontos de monitoramento.

Tabela 12 – Classificação dos parâmetros de qualidade de água dos pontos de monitoramento do DMAE no Lago Guaíba/RS no período 2010-2022 segundo a Resolução nº357 do CONAMA de 2005.

A classificação dos parâmetros segundo a Resolução nº 357 do CONAMA explicitou que aqueles que possuem a pior avaliação foram a *E.coli*, Fósforo Total e Turbidez. *E.coli* e Turbidez apresentaram os piores resultados nos pontos localizados próximos a foz do Arroio Dilúvio (41B) ou fora da zona de influência da ETE Serraria (36 e 86A), e principalmente no período anterior a implantação da mesma. O Fósforo Total, como analisado anteriormente, foi classificado como Classe 4 em praticamente todas as médias anuais calculadas. De acordo com Leite et al. (1996) as concentrações de Fósforo nos corpos d'água não poluídos do Rio Grande do Sul são superiores aos valores propostos pelo CONAMA. Sperling (1996) propôs uma revisão nos limites deste parâmetro, pois a maior turbidez encontrada nos meios aquáticos do país, os tornam menos suscetíveis à eutrofização.

4.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O Índice de Qualidade da Água é uma metodologia para avaliar a sua qualidade, a partir da medição de suas características físicas, químicas e biológicas, classificando-as a partir de parâmetros de qualidade estabelecidos. O IQA tem como suas principais vantagens a facilidade de comunicação com o público leigo, e por representar a média de diversas variáveis, com diferentes unidades em um resultado somente (CETESB, 2017). Por outro lado, a desvantagem consiste na perda das informações individuais de cada variável. Segundo o mesmo órgão, apesar do IQA fornecer uma avaliação integrada, sempre será de maior valor realizar uma avaliação detalhada das águas de uma bacia hidrográfica.

A Tabela 13 apresenta o Índice de Qualidade da Água utilizado pela CETESB calculado para o Lago Guaíba no período que compreende os anos de 2010 a 2022. Foram utilizados os valores médios anuais de cada parâmetro de qualidade de água em cada um dos oito pontos de monitoramento geridos pelo DMAE. Os intervalos de classificação do IQA segundo a CETESB são demonstrados na Tabela 14.

A partir destes dados se constata que no geral o IQA do Lago Guaíba é classificado como Bom (52-79), com três IQA anual enquadrados na categoria “Ótima” (80-100). Os pontos com IQA classificados como “Ótimo” (45E e 60) estão localizados

dentro da área de influência da ETE Serraria, e ambos os índices correspondem ao período posterior ao início de operação da ETE.

Ressalta-se que os pontos 36, 86A e 41B, apesar de terem IQA classificado na categoria “Boa”, apresentaram valores médios anuais mais próximos do limite estabelecido para a categoria “Regular”, com um intervalo entre 37 e 51. Enquanto isso, a grande maioria dos valores médios anuais do IQA dos pontos 50, 60 e 47-8D, também classificados como “Boa”, estiveram próximos do limite estabelecido para a categoria “Ótima”.

Tabela 13 - Índice de Qualidade da Água Anual entre os anos de 2010 e 2022 no Lago Guaíba/RS

Ponto	Ano												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
36	56	57	57	57	60	56	58	56	55	60	59	60	55
38	69	68	59	60	72	72	69	70	72	78	71	69	76
45E	65	62	64	63	63	67	61	67	69	75	67	80	64
41B	56	54	56	56	56	59	58	62	61	58	58	56	54
86A	58	58	60	58	62	61	65	63	60	59	65	64	62
47-8D	72	66	72	72	74	74	73	74	68	77	75	71	71
50	72	72	75	71	76	74	74	73	72	76	73	76	72
60	74	70	77	71	78	77	76	78	77	80	84	74	78

80 - 100	52 - 79	37 - 51	20 - 36	0 - 19
Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima

Em relação a localização dos pontos de monitoramento e a sua respectiva qualidade da água, os pontos situados na porção norte do Lago Guaíba apresentam os piores Índices de Qualidade da Água. Apesar de serem classificados na categoria “boa”, o IQA dos pontos 36 e 41B estão mais próximos do limite da categoria “regular” (limite superior = 51). Isso se deve a proximidade destes pontos com a maior concentração da urbanização do município de Porto Alegre, sendo ainda o ponto 36 próximo da foz dos rios Gravataí e Sinos, e o ponto 41B logo a jusante da foz do Arroio Dilúvio. Enquanto isso, nos pontos 50, 60, 45E e 47-8D verificou-se IQA's com valores mais altos, sendo estes localizados na porção sul do lago, longe das zonas de maior urbanização da margem esquerda do Guaíba.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que o objetivo principal de analisar a influência da ETE Serraria na qualidade da água do Lago Guaíba, foi atingido.

A análise da estatística descritiva demonstrou que existe uma variação percentual nos valores médios calculados entre os dois períodos analisados: o anterior à implantação da ETE Serraria (janeiro de 2010 a março de 2014) e o posterior à sua implantação (abril de 2014 a novembro de 2022). Destaca-se a diminuição da concentração média dos parâmetros DBO e *E.coli* a partir do início da operação da ETE Serraria e consequente interrupção dos lançamentos de esgoto na Ponta da Cadeia. O parâmetro *E.coli* apresentou diminuição da sua concentração média nos pontos 38, 50, 60, 41B, 45E e 47-8D (90,92%, 50,55%, 78,76%, 31,56%, 35,89% e 43,74%, respectivamente), todos localizados na área de influência da ETE Serraria. Também se verificou um decréscimo de 62,53% no ponto 86A, evidenciando uma melhoria na qualidade da água em áreas mais afastadas da influência da ETE. Para o parâmetro DBO, calculou-se uma redução na sua concentração nos pontos 50, 60, 41B, 45E, e 47-8D (15,63%, 9,71%, 13,56%, 13,4% e 4,07%, respectivamente). Tal qual constatado para o parâmetro *E.coli*, igualmente houve uma diminuição da DBO no ponto 86A (28,09%). Ambos parâmetros são de extrema importância para a avaliação da qualidade sanitária da água, pois possuem sua origem ligada ao lançamento de esgotos domésticos.

O resultado da Análise de Componentes Principais (ACP) possibilitou o entendimento da mudança no padrão de poluição do Lago Guaíba após a construção da ETE Serraria. Na ACP do período posterior, não foi verificado um peso tão relevante dos parâmetros majoritariamente ligados ao lançamento de efluentes domésticos (DBO, *Escherichia Coli*, Oxigênio Dissolvido) como averiguado na ACP do período anterior. A ACP do período posterior foi dominada principalmente pelos parâmetros Sólidos Totais e Turbidez, possivelmente oriundos da carga de água e sedimentos trazida pelos rios que desaguam no Lago Guaíba e pelo parâmetro Fósforo Total. O Fósforo pode ter sua origem tanto ligada ao escoamento superficial das áreas agrícolas das regiões drenadas pelos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí, os

quais possuem sua foz no Lago Guaíba, quanto ao lançamento de esgotos domésticos.

Foi realizado o Teste de Wilcoxon para os parâmetros DBO e *E.coli*, pois ambos são predominantemente associados a fontes de poluição geradas a partir de esgotos domésticos, os quais são coletados e tratados pela ETE Serraria. Com um nível de significância de 0,05, observou-se que no Ponto 41B, na foz do Arroio Dilúvio, a mediana da DBO no período posterior (1,3 mg/L) foi significativamente menor do que no período anterior (1,6 mg/L). O Ponto 86A, a montante do antigo emissário Ponta da Cadeia, também apresentou uma diminuição significativa na mediana da DBO no período posterior (1,1 mg/L) em comparação com o período anterior (1,6 mg/L). Contudo, no Ponto 36, a montante do antigo emissário, houve um aumento significativo na mediana da DBO, passando de 1,35 mg/L para 1,6 mg/L. Os demais pontos dentro da área de influência da ETE não exibiram diferenças significativas entre as medianas.

Em relação ao parâmetro *E.coli*, apenas os pontos 36 (fora da área de influência da ETE) e 47-8D não apresentaram diferenças significativas nas medianas entre os dois períodos, conforme testado pelo Wilcoxon. Destaca-se o ponto 41B, situado na foz do arroio Dilúvio, que apresentou medianas significativamente diferentes, tendo a sua mediana anterior de 13000 NMP/100ML, passado para 4500 NMP/100ML.

A classificação dos parâmetros de qualidade da água segundo a Resolução nº 357 do CONAMA busca indicar de fato a situação do corpo hídrico e os possíveis usos destinados a água analisada. Assim, ficou demonstrado que dois parâmetros se destacaram quanto aos seus níveis de poluição: *E.coli* e Fósforo Total. A *E.coli* foi classificada em Classe 4 em todos os anos nos pontos de monitoramento fora da área de influência da ETE Serraria (36 e 86A) e no ponto 41B (foz do Arroio Dilúvio). Nos demais pontos, apresentou uma melhoria nos anos posteriores a inauguração da ETE, sendo os pontos 50, 60 e 47-8D classificados como Classe 1 nos anos mais recentes. O parâmetro Fósforo Total foi classificado na quarta classe em praticamente todos os pontos, em todas as médias anuais. Os demais parâmetros foram em sua grande maioria categorizados como Classe 1, a qual indica que a água pode ser usada para fins mais nobres e com menos restrições. Os destaques foram para a

DBO, Nitrato, pH e Sólidos Totais, que em todas as médias anuais foram classificados como Classe 1.

A aplicação do IQA mostrou que o Lago Guaíba possui uma boa qualidade da água, principalmente nos pontos situados longe da mancha urbana (50, 60 e 47-8D). Ademais, esses pontos apresentaram IQAs classificados como “ótimos” ou muito próximo ao limite inferior da categoria, nos anos seguintes a inauguração da ETE Serraria.

Em síntese, os resultados obtidos indicaram que houve uma melhora na qualidade da água do Lago Guaíba após o mês de abril de 2014, quando a ETE Serraria começou a operar no município, sendo responsável por tratar uma parte considerável do esgoto doméstico gerado em Porto Alegre. Nesse sentido, é importante ressaltar que o parâmetro *Escherichia Coli*, por tratar-se de um indicador de contaminação por esgoto doméstico, apresentou reduções expressivas em suas concentrações no Lago Guaíba.

As estações de tratamento de esgoto adquirem uma importância vital na melhoria da qualidade da água dos sistemas receptores. A ETE Serraria vem apresentando influência benéfica à qualidade da água do Lago Guaíba, com potencial para resultados ainda mais positivos à medida que ela começa a operar próxima de sua capacidade total.

Por fim, sugere-se a continuidade na elaboração de pesquisas acerca do tema, a partir de dados atualizados sobre os parâmetros de qualidade da água no Lago Guaíba, e também sobre a análise de diferentes parâmetros.

6. REFERÊNCIAS

ABDI, H.; WILLIAMS, L.J. **Principal component analysis**. Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat. 2010, 2, 433–459.

ALFAIA, S.S. **Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central**. *Acta Amazonica*, Manaus, v.36, n.2, p.135-140, 2006.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. 2017. Disponível em:<
https://capacitacao.ead.unesp.br/images/stories/MOOCs/MonitoramentoQualidadeAgua/materiais/MonitoramentoDaQualidade_unidade3.pdf>. Acesso em: 20 dez de 2023.

ANDRADE NETO, J.S.; RIGON, L.T.; TOLDO JR., E.E.; SCHETTINI, C.A.F. **Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba RS, e sua variabilidade temporal**. *Pesquisas em Geociências*, v. 39, n. 2, p. 161-171. 2012.

ANDRADE, L. C. **Impactos do ambiente urbano na poluição de sedimentos do lago Guaíba**. UFRGS. 2018

AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>. Acesso em: 21 dez. 2023.

BASSO, L. A. **A crise dos recursos hídricos**. *Boletim Gaúcho de Geografia*, Porto Alegre, v. 25, p. 141-153, 1999.

BASSO, L. A. **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: implicações ambientais**. In: VERDUM, R.; BASSO, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. (Orgs.). *Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 355 p, 2012.

BENDATI, Maria Mercedes et al. **Avaliação da qualidade da água do lago Guaíba (Rio Grande do Sul, Brasil) como suporte para a gestão da bacia hidrográfica.** In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre. 2000.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA.** Resolução CONAMA Nº 357/2005, de 18/03/2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> Acesso em: 10 de mai. 2023.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul.** Santa Maria - RS, 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Secretaria do Meio Ambiente. Governo do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 2008.

CETESB. **Índices de Qualidade das Águas. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo,** [s. l.], v. Apêndice D, p. 1–31, 2016. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br>.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. **Selection of water quality variables.** In: CHAPMAN, D. (Ed.). Water quality assessments - a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2.ed. London: UNESCO/WHO/UNEP, 1996. p.74-133.

COMITEGUAIBA. **Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba.** 2016.

COSTA, S.S; SILVA, J. D. B; RODRIGUES, A.J. **Um estudo sobre a evolução das cidades para o ensino de geografia.** In: Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade”, VIII, São Cristóvão/SE. 2013.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS. **O Rio Guaíba: suas características físicoquímicas e biológicas.** Vol.43. Porto Alegre; DMAE, 1986.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. **Qualidade da água do Lago Guaíba após a implantação da estação de tratamento de esgotos – ETE Serraria, Porto Alegre, RS.** In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, n 29, São Paulo: FENASAN, 2017. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/03/9511.pdf>.

DORNELAS, F.L.; MACHADO, M.B.; VON SPERLING, M. **Performance evaluation of planted and unplanted subsurfaceflow constructed wetlands for the post-treatment of UASB reactor effluents.** Water Science and Technology, v. 60, p. 3025-3033. 2009.

EMBRAPA. Agricultura e Qualidade da Água: **Contaminação por Nitrato. Ministério da Agricultura e Pecuária.** Brasília, 2002.

FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler-RS). **Qualidade ambiental – Região hidrográfica do Guaíba.** Acesso em: 03 de outubro de 2022.

FERREIRA, C. P. e MEIRELLES, R. M. S. de. **A experiência da construção compartilhada em atividades sobre doenças relacionadas à água para alunos do ensino fundamental. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.** São Paulo/SP, Atas do V ENPEC - nº 5; 2005.

FERREIRA, D.F. Estatística Multivariada. Lavras: UFLA, 2011. 675p.

FINKLER, N.R. **Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal.** Revista Ambiente & Água. Brasil. Nº10. Dez, 2015.

FINOTTI, A. R., FINKLER, R., SILVA M. D´A., CEMIN, G. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas.** Educus, Caxias do Sul, 2009.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. **Qualigraf.** Disponível em: < <http://www.funceme.br/qualigraf/>>.

GADELHA, F. J. S. et al. (2005). **Verificação da presença de Nitrito em águas de consumo humano da comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-CE.**In Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC - Fortaleza - CE, Jul. 2005.

Hongyu, et al. **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**.V. 1, E&S - Engineering and Science, 2015.

HONGYU, K. **Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente**. 2015. 155p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

How Much Water is There on Earth?. United States Geological Survey, 13 nov. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>. Acesso em: 25. Dez. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, RJ. IBGE. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas (1991/2020)**. Brasília - DF, 2022.

IKEJIRI, L. **Aplicação da análise de componentes principais na avaliação da qualidade da água do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos – SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022.

Instituto Trata Brasil. **Ranking do Saneamento Básico 2023**. SNIS. Brasil, 2023.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório econômico**. Brasília: Ipea; IBGE, 2021.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816p

JOLLIFFE. I. T. **Principal Component Analysis** (Springer Series in Statistics) 2º ed. 2002.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas – RS**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos

e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 177 p. 2004.

LARSON, R., FARBER, B. **Estatística Aplicada**. Prentice Hall Brasil. 2004.

Brasil. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília-DF. 1981.

LEITE, E. H. et al. **Qualidade das águas do Rio Gravataí. Período 92/94. Porto Alegre**; FEPAM, 1996.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 206 p. 2001.

LEUCK, M. F. **A universalização do saneamento e a gestão urbana em Porto Alegre**. 2022. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2022.

MENDONÇA, F.; SANTOS, L. J. C. **GESTÃO DA ÁGUA E DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: AVANÇOS E DESAFIOS A PARTIR DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS – UMA ABORDAGEM GEOGRÁFICA**, GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 31, n. 1, p. 103-117, jan./abr. 2006

MERTEN, G. H. E; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. 2002.

MINGOTI, S. A. in **Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada** p. 295, 2005.

MIYOSHI, C. **Reconstrução ambiental de uma região sob influência antrópica: uma avaliação dos últimos 200 anos do Rio Guaíba (RS)**. USP. São Paulo. 2017.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 3 ed. 2003.

MUSSI, R.F.F., MUSSI, L.M.P.T., ASSUNÇÃO, E.T.C., NUNES, C.P. Pesquisa Quanti-tativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Rev Sustinere**. 2019

PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Departamento Municipal de Água e Esgoto. Porto Alegre, 2015.

PESSOA, M. L. (Org.). **Saneamento no RS**. In: FEE RS. Atlas FEE. Porto Alegre: FEE, 2017. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

PINTO, C. C. **Monitoramento de qualidade de água baseado em análise por componentes principais: uma abordagem local**. UFMG. Belo Horizonte, 2021

Portal da Qualidade das Águas: **Indicadores de Qualidade da Água – Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: 12 de mai. 2023.

ROSSIN, A. C., 1987. **Desinfecção**. In: **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, V. 2, São Paulo: CETESB/ASCETESB.

SANTOS, V.D. **Disposição de efluentes tratados em uma lagoa de evapoinfiltração**. 2018. 148p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2018.

SEMA. **G080 – Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Disponível em <<https://sema.rs.gov.br/g080-bh-guaiba>> Acesso em: 13. mai. 2023.

SNIS. **Diagnóstico AE 2021 - SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento**. Disponível em: <[https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos snis](https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis)>. 2019. Acesso em: 05 out. 2023.

SUMIRÊ, H. **Avaliação e mapeamento de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do Lago Guaíba-RS**. 2023. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2023.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005

THEODORSON, G. A, THEODORSON, A. G. **A modern dictionary of sociology.** London: Methuen, 1970.

TOZZI, B. K. M. **Verificação da estacionariedade de séries hidrológicas de vazões na Bacia do Rio Iguaçu.** Acervodigital.ufpr.br, 2014.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C. E. M **Apreciação do plano nacional de recursos hídricos e visão prospectiva dos programas e ações. Documento de apoio às ações de planejamento da Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA, 2001. 53 p.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos no futuro: Problemas e soluções.** São Carlos. Instituto Internacional de Ecologia, 2003.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** São Carlos: RiMa/IIIE. 2003.

VON SPERLING, M V. (1995). **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias.** In: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. V.1. Minas Gerais: ABES, 1995.

VON SPERLING, M V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1).** Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

World Bank. **World Bank Annual Report 2023: A New Era in Development.** Washington, 2023.

WWAP (World Water Assessment Programme). UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk.** Paris, 2012.