

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO



TÁSSIO LEITE SOARES

COMPOSIÇÃO E VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS  
CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS EM  
MACEIÓ/AL

MACEIÓ

2022

---

TÁSSIO LEITE SOARES

COMPOSIÇÃO E VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS  
CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS EM  
MACEIÓ/AL

Plano de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Profa. Dra. Nélia H. Callado

Coorientadora: Profa. Dra. Daysy L. O. Cavalcanti

MACEIÓ

2022

---

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB-4/661

S676c Soares, Tássio Leite.  
Composição e variação espaço-temporal das características dos esgotos sanitários em Maceió-AL / Tássio Leite Soares. – 2024.  
173 f. : il.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.  
Coorientadora: Daysy Lira. O. Cavalcanti.  
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 146-154.  
Apêndices: f. 155-171.  
Anexos: f. 172-173.

1. Poluição difusa. 2. Esgoto sanitário – Maceió, AL. 3. Qualidade da água.  
4. Vigilância sanitária. I. Título.

CDU: 628.3(813.5)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho para as duas mulheres mais importantes da minha vida, responsáveis por quem eu sou e por estar onde estou, vovó Cida e minha mãe Julieta, obrigado por tanto amor.

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu gostaria de agradecer a Deus, em qualquer que seja sua forma ou figura por ter me guiado até este momento, o qual sonhei por tanto tempo.

Agradeço a Universidade Federal de Alagoas, ao PPGRHS e seu corpo docente pelo vasto conhecimento compartilhado comigo durante esses anos, o qual com toda certeza irá agregar imensamente em minha vida profissional.

Gostaria de agradecer, e falo isto com todo carinho, a minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nélia Henriques Callado pelo incentivo, suporte, correções e atenção que me deu durante a produção desta dissertação, estendo estes agradecimentos a minha coorientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Daysy L. O. Cavalcanti, muito obrigado.

Agradeço a importante parceria das empresas BRK Ambiental e CASAL, por terem acreditado na importância do projeto COVID-ESGOTO-MACEIÓ, projeto este que tenho orgulho de ter feito parte e que culminou neste trabalho.

Agradeço também a parceria de todos meus colegas de turma e de laboratório em que nas horas mais complicadas estavam lá para alegrar o meu dia e deixar o trabalho árduo mais leve, meus amigos pessoais.

Gostaria de agradecer em especial a duas pessoas muito importante para mim, Fernando meu amigo de graduação, de mestrado e da vida obrigado por ser o melhor amigo que eu poderia ter e ao Henrique por ser esse companheiro da vida que esteve sempre ao meu lado, enxugou minhas lágrimas e por todos os dias me fazer lembrar que eu sou capaz.

Agradeço a minha família composta pela minha avó Jacilda, minha mãe Juliêta e ao meu irmão Wanderson pelo apoio, incentivo e amor incondicional.

A todos vocês, o meu muitíssimo obrigado.

---

## RESUMO

### COMPOSIÇÃO E VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS EM MACEIÓ/AL

As considerações dos aspectos quantitativos e qualitativos dos esgotos sanitários por meio de análises físico-químicas e microbiológicas são de extrema importância para garantir o funcionamento dos sistemas de esgotamento sanitário dentro dos padrões adequados. Ocorre que a cobertura de rede de esgotos das cidades brasileiras ainda é parcial, existindo localidades que utilizam soluções individuais ou que simplesmente jogam seus esgotos no leito das ruas ou em canais urbanos, transformando-os em sistemas unitários, onde o esgoto é carreado misturado com água de chuva, de escoamento do próprio manancial e outros resíduos. A cidade de Maceió/AL, se desenvolve por uma região baixa onde se encontra a planície costeira lagunar e marítima e uma região alta nos tabuleiros, e sua cobertura por rede coletora de esgotos ainda está em expansão, atingindo atualmente cerca de 40 % da população, e com isso, seus canais urbanos recebem contribuições difusas de esgotos sanitários em todo o seu percurso. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar de forma qualitativa, espacial e temporal, a rede coletora e os canais urbanos de Maceió. Para isso foram realizadas coletas quinzenais em amostras simples de esgoto bruto nos principais canais de drenagem urbana da cidade, na rede coletora de esgoto e na ETE de um hospital público, durante o período de dezembro de 2021 a junho de 2022 com intuito de analisar a composição espaço temporal das características físico-químicas e biológicas do esgoto, levando em consideração os períodos secos e chuvosos, e as características socioeconômicas da área de estudo. Os resultados mostraram que os esgotos da zona alta da cidade, que chegam as ETEs, onde predominam uma população de baixa renda, apresentam valores de constituintes típicos de esgotos de alta concentração, enquanto os da zona baixa, onde predomina população de alta renda, apresentam composição típicas de esgotos de média concentração. Resultados estes inversamente ao citado na literatura, que relaciona a concentração de forma diretamente proporcional as condições socioeconômicas. Outro fator analisado foi o dinamismo do lençol freático, a zona baixa está mais próxima deste possibilitando uma diluição dos esgotos de forma mais significativa que o aporte de água de chuva na rede. Verificou-se, também que os esgotos hospitalares apresentam características típicas de alta concentração e que, a qualidade das águas dos canais urbanos os classifica como esgoto sanitário de baixa concentração.

**Palavras-chave:** poluição difusa; esgotos sanitários, qualidade da água, vigilância sanitária.

---

## ABSTRACT

COMPOSITION AND SPATIAL-TEMPORAL VARIATION OF SANITARY SEWAGE  
CHARACTERISTICS IN MACEIÓ/AL

The considerations of the quantitative and qualitative aspects of sanitary sewage by means of physical-chemical and microbiological analyses are of extreme importance to ensure the operation of sanitary sewage systems within the foreseen standards. It happens that the sewage network coverage in Brazilian cities is still partial, and there are places that use individual solutions or simply throw their sewage in the street beds or urban channels, turning them into unitary systems, where the sewage is carried mixed with rainwater, runoff from the spring itself and other residues. The city of Maceió/AL is developed by a low region where the lagoon and maritime coastal plain is located and a high region in the tablelands, and its coverage by sewage collection system is still in expansion, currently reaching about 40% of the population, and thus, its urban channels receive diffuse contributions of sanitary sewage throughout its course. In this context, the aim of this work was to monitor through qualitative, spatial and temporal characterization, the collecting network and urban channels of Maceió. For this purpose, biweekly collections of simple samples of raw sewage were performed in the main urban drainage channels of the city, in the sewage collection network and in the WWTP of a public hospital, during the period from December 2021 to June 2022, in order to analyze the spatial and temporal composition of the physicochemical and biological characteristics of the sewage, considering the dry and rainy periods, and the socioeconomic characteristics of the study area. The results showed that the sewage from the upper part of the city, which arrive at the ETEs, where a low-income population predominates, present constituent values typical of high-concentration sewage, while those from the lower part of the city, where a high-income population predominates, present a composition typical of medium-concentration sewage, inversely to what is mentioned in the literature, since the lower part is a coastal region where the influence of the water table diluting the sewage is more significant than the contribution of rainwater in the network. It was also verified that hospital wastewater presents typical characteristics of high concentration wastewater and that the water quality of urban channels classifies it as low concentration sanitary wastewater.

**Keywords:** diffuse pollution; sanitary sewers, water quality, sanitary surveillance.

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

ANVISA - Agência de Vigilância Sanitária

*APHA - American Public Health Association*

APP - Área de Preservação Permanente

BH - Bacia Hidrográfica

BNH - Banco Nacional da Habitação

BRA - Bactérias resistentes a antibióticos

BRS - Bactérias redutoras de sulfatos

CASAL - Companhia de Saneamento de Alagoas

CELMM - Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIB - Banco Interamericano de Desenvolvimento

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EEE - Estação Elevatória de Esgoto

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FAE - Fundo de Financiamento para Água e Esgoto

---

FBP - Filtros biológicos percoladores

Fe - Ferro

FJP - Fundação João Pinheiro

GRA - Genes de resistência a antibióticos

HPA - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LDNSB - Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico

*MBBR - Moving Bed Biofilm Reactors*

*MBR - Membrane Bioreactor*

Mg - Manganês

N - Nitrogênio

NBR - Norma Brasileira

NMMC - Navi Mumbai Municipal Corporation

NTK - Nitrogênio de Kjeldahl Total

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PLANASA - Planos Nacional de Saneamento

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

---

PMSB - Plano Municipal de Saneamento

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PPP - Parceria-Público-Privada

PQMM - Parque Municipal de Maceió

PROSEGE - Programa de Ação Social em Saneamento

RH - Região Hidrográfica

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SANAMA - Saneamento Alta Maceió

Selic - Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SES - Sistema de Esgotamento Sanitário

SFT - Sólidos Fixos Totais

SNIS - Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento

ST - Sólidos Totais

SVT - Sólidos Voláteis Totais

*UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UC - Unidades de Cor

UDH - Unidades de Desenvolvimento Humano

UFAL - Universidade Federal de Alagoas

UFC - Unidade Formadora de Colônias

UNT - Unidades de Turbidez

*WBE - Wastewater-Based Epidemiology*

*WHO - World Health Organization*

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura de esgotamento sanitário no Brasil .....	23
Figura 2 - Diagrama representativo do grupo Coliformes.....	29
Figura 3 - Limites de coliformes termotolerantes, E. coli e enterococos .....	30
Figura 4 - Sistema de esgotamento de uma cidade.....	33
Figura 5 - Sistema de esgotamento individual .....	34
Figura 6 - Sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto.....	35
Figura 7 - Sistema de Esgotamento Unitário ou Combinado .....	36
Figura 8 - Mapa das regiões alta e baixa de Maceió - AL.....	37
Figura 9 - Divisão geomorfológica de Maceió.....	46
Figura 10 - Índice de desenvolvimento humano municipal IDHM de Maceió – AL.....	48
Figura 11 - Gráfico renda mensal média por posição de ocupação de Maceió – AL.....	48
Figura 12 - Rendimento mensal per capita do bairro Cidade Universitária .....	50
Figura 13 - Rendimento mensal per capita do bairro Benedito Bentes .....	51
Figura 14 - Rendimento mensal per capita do bairro Serraria.....	52
Figura 15 - Rendimento mensal per capita do bairro Levada.....	53
Figura 16 - Rendimento mensal per capita do bairro Prado .....	54
Figura 17 - Rendimento mensal per capita do bairro Ponta Verde.....	55
Figura 18 - Rendimento mensal per capita do bairro Pajuçara.....	56
Figura 19 - Rendimento mensal per capita do bairro Pajuçara.....	57
Figura 20 - Bacias Hidrográficas e Regiões Hidrográficas de Maceió .....	58
Figura 21 - Bacia do Reginaldo e seu afluente riacho Pau D'Árco .....	59
Figura 22 - Riacho Salgadinho (Trecho final do riacho Reginaldo) .....	59
Figura 23 - Trecho do riacho Pau D'Arco .....	61
Figura 24 - Delimitação Riacho Pau D'Arco, Gulandim e Riacho do Sapo.....	61
Figura 25 - BH Riacho das Águas Férreas .....	63
Figura 26 - BH Riacho do Silva .....	64
Figura 27 - Bacias naturais de esgotamento de Maceió .....	66
Figura 28 - Bacias de esgotamento de Maceió, planejamento em 1970 .....	66
Figura 29 - ETE e emissário submarino de Maceió. ....	68
Figura 30 - Lagoas de aeradas do Benedito Bentes.....	69
Figura 31 - Etapas de implantação do SES Maceió planejado em 1991. ....	69

---

Figura 32 - Bacias de esgotamento dos SES de Maceió, do Planejamento de 2012.....	70
Figura 33 - ETE Benedito Bentes operada pela SANAMA .....	71
Figura 34 - ETE Caçadores (SANEMA operada pela COSANA) .....	72
Figura 35 - Mapa das áreas com esgotamento sanitário em Maceió. ....	74
Figura 36- Mapa da cidade de Maceió – AL .....	75
Figura 37 - Localização dos Pontos de coletas.....	78
Figura 38 - EEE da Levada localizada no Bairro da Levada.....	78
Figura 39 – Pontos de coleta nos canais urbanos .....	79
Figura 40 – Pontos ETEs Centralizadas .....	79
Figura 41 - EEE da Levada localizada no Bairro da Levada.....	80
Figura 42 - Dados de precipitação de 2021 .....	81
Figura 43 - Dados de precipitação jan./2022 a jun./2022 .....	82
Figura 44 - Visão geral da renda per capita média mínima e máxima dos bairros.....	85
Figura 45 - Valores médios de cor e turbidez da zona alta e zona baixa de Maceió.....	89
Figura 46 - Boxplot dos valores de cor e turbidez da zona alta de Maceió.....	89
Figura 47 - Boxplot dos valores de cor e turbidez da zona baixa de Maceió.....	90
Figura 48 - Gráfico de sólidos zona alta e zona baixa.....	90
Figura 49- Gráfico dos parâmetros de DBO <sub>5,20</sub> e DQO (mgO <sub>2</sub> /L) .....	91
Figura 50 – Nitrogênio e fósforo na zona alta e zona baixa de Maceió .....	92
Figura 51 – Cloreto, alcalinidade, sulfato e pH zonas alta e baixa de Maceió.....	93
Figura 52 - Variação temporal da DQO, DBO <sub>5,20</sub> , P e NTK na ETE SANAMA.....	97
Figura 53 – Variação temporal da DQO, DBO <sub>5,20</sub> , P e NTK na ETE Caetés.....	97
Figura 54 – Variação temporal da Alcalinidade, pH, Sulfato e Cloreto na ETE SANAMA ...	98
Figura 55 - Variação temporal Alcalinidade, pH, Sulfato e Cloretos na ETE Caetés.....	98
Figura 56 – Variação temporal de Ferro e manganês na ETE SANAMA .....	99
Figura 57 – Variação temporal de Ferro e manganês na ETE Caetés .....	99
Figura 58 - Parâmetro E. coli em períodos secos e chuvosos (ZN ALTA).....	100
Figura 59 - Gráfico de cor e turbidez (zona alta de Maceió).....	102
Figura 60 – Gráfico de sólidos totais fixos e voláteis (zona alta de Maceió).....	103
Figura 61 - Valores médio DQO e DBO <sub>5,20</sub> zona alta da cidade de Maceió .....	104
Figura 62 - Boxplot dos valores de DQO e DBO <sub>5,20</sub> das ETEs da zona alta da cidade.....	104
Figura 63 - Valores médios de nutrientes no esgoto da zona alta da cidade de Maceió .....	106
Figura 64 - Valores médios do pH do esgoto da zona alta da cidade de Maceió .....	107
Figura 65 - Boxplot dos valores de pH das ETEs da zona alta da cidade. ....	107

---

Figura 66 - Valores médios da alcalinidade do esgoto da zona alta da cidade.....	108
Figura 67 - Valores médios da alcalinidade do esgoto da zona alta da cidade.....	108
Figura 68 - Valores médios de metais no esgoto da zona alta da cidade de Maceió.....	109
Figura 69 - Valores médios de metais no esgoto da zona alta da cidade de Maceió.....	109
Figura 70 - Gráfico de E. coli nas ETEs da zona alta.....	110
Figura 71 - Boxplot de E. coli nas ETEs da zona alta.....	111
Figura 72 - Cor e turbidez dos esgotos da zona baixa da Cidade de Maceió.....	113
Figura 73 - Série de sólidos da zona baixa da cidade de Maceió.....	114
Figura 74 - Gráfico com a DBO <sub>5,20</sub> e DQO da zona baixa da Cidade de Maceió.....	115
Figura 75 - Gráfico com a N e P da zona baixa da Cidade de Maceió.....	116
Figura 76 - Gráfico pH e Alcalinidade do esgoto da zona baixa da cidade.....	117
Figura 77 - Cloretos e Sulfatos no esgoto da zona baixa da cidade.....	117
Figura 78 - Ferro e manganês no esgoto da baixa da cidade de Maceió.....	118
Figura 79 - Boxplot DBO <sub>5,20</sub> e DQO zona baixa da cidade.....	118
Figura 80 - Concentração de Escherichia Coli no esgota da zona baixa de Maceió.....	119
Figura 81 - Boxplot de Cor, Turbidez e Sólidos totais do esgoto hospitalar.....	121
Figura 82 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Cor, Turbidez, ST).....	121
Figura 83 - Boxplot DQO e DBO <sub>5,20</sub> do esgoto hospitalar.....	122
Figura 84 - Comparativo Hospital e Zona Alta (DQO e DBO <sub>5,20</sub> ).....	122
Figura 85 - Boxplot N-NTK e Fósforo.....	124
Figura 86 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Série 1: N-NTK, Série 2: Fósforo).....	124
Figura 87 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Cloretos, Alcalinidade, Sulfatos e pH).....	126
Figura 88 - Boxplot Ferro e Manganês.....	127
Figura 89 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Ferro e Manganês).....	127
Figura 90 - Comparativo Hospital e Zona Alta (E. coli).....	128
Figura 91 - Imagem de satélite de trechos dos canais estudados.....	130
Figura 92 - Parâmetros físicos para os canais de drenagem urbano (Cor e Turbidez).....	131
Figura 93 - Parâmetros físicos para os canais de drenagem urbano (série de sólidos).....	132
Figura 94 – Valores médio de DQO e DBO <sub>5,20</sub> nas águas dos canais urbanos.....	133
Figura 95 - Nutrientes nos canais de drenagem urbana (Nitrogênio e Fósforo).....	134
Figura 96 - Alcalinidade e pH dos canais de drenagem urbana.....	135
Figura 97 – Cloretos e sulfatos nos canais de drenagem urbana.....	136
Figura 98 - Ferro e Manganês nos canais de drenagem urbana.....	137
Figura 99 - E. coli nos canais de drenagem urbana.....	137

---

### LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas de execução PLANSAB .....	21
Tabela 2 - Principais constituintes dos esgotos .....	24
Tabela 3 - Variação da concentração dos esgotos brutos .....	30
Tabela 4 - Bacias Hidrográficas da região metropolitana de Maceió.....	57
Tabela 5 - Classes de uso e ocupação do solo na BH Águas Férreas.....	67
Tabela 6 - Critério de classificação de estrato socioeconômico no ano de 2020 .....	83
Tabela 7 - Características locais e socioeconômicas dos pontos de coleta de esgotos ...	86
Tabela 8 - Valores médio e o desvio padrão dos esgotos sanitários de Maceió.....	88
Tabela 9 - Valores médio e o desvio padrão dos parâmetros dos esgotos da zona alta .....	96
Tabela 10 - Valores médio e o desvio padrão dos parâmetros dos esgotos da zona baixa.....	96
Tabela 11 - Características do esgoto bruto das ETEs estudadas na zona alta.....	102
Tabela 12 - Características do esgoto bruto da ETE centralizada e EEs setorizadas - zona baixa .....	112
Tabela 13 - Relação de matéria orgânica e matéria inerte.....	114
Tabela 14 - Caracterização dos esgotos sanitários do Hospital em estudo .....	120

### LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Divisão dos Blocos do Programa Saneamento do Estado de Alagoas.....	73
Quadro 2 - Pontos de monitoramento em canais urbanos de Maceió. ....	77
Quadro 3 - Pontos de monitoramento da rede de esgoto de Maceió. ....	77

---

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3.1</b>	<b>Abordagem histórica do saneamento no Brasil .....</b>	<b>20</b>
3.1.1	Planos Nacional de Saneamento – PLANASA (1971).....	20
3.1.2	Programa de Ação Social em Saneamento – PROSEGE (1992) .....	21
3.1.3	Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013) .....	21
<b>3.2</b>	<b>Novo marco do saneamento .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Características de esgotos .....</b>	<b>23</b>
3.3.1	Características físicas do esgoto.....	24
3.3.2	Constituintes químicos (não metálicos e metálicos).....	26
3.3.3	Constituintes biológicos no esgoto .....	28
<b>3.4</b>	<b>Características de Esgoto Hospitalar .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Sistemas de esgotamento sanitário .....</b>	<b>32</b>
3.5.1	Sistema de Esgotamento Individual .....	33
3.5.2	Sistemas de Esgotamento Coletivos .....	34
<b>3.6</b>	<b>Concepções dos Sistemas de Esgotamento Sanitário.....</b>	<b>38</b>
3.6.1	Sistema convencional ou centralizado .....	38
3.6.2	Sistema alternativo ou descentralizado .....	40
<b>3.7</b>	<b>Urbanização desordenada e seus impactos ambientais .....</b>	<b>41</b>
<b>3.8</b>	<b>Rios urbanos e poluição hídrica .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>MUNICÍPIO DE MACEIÓ.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Geomorfologia de Maceió .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Aspectos socioeconômicos .....</b>	<b>47</b>
4.2.1	Bairro Cidade Universitária .....	49
4.2.2	Bairro Benedito Bentes .....	50
4.2.3	Bairro da Serraria .....	51
4.2.4	Bairro da Levada.....	52
4.2.5	Bairro do Prado .....	53
4.2.6	Bairro da Ponta Verde e Pajuçara .....	54
4.2.7	Bairro da Jatiúca .....	56
<b>4.3</b>	<b>Bacias Hidrográficas de Maceió .....</b>	<b>57</b>

---

<b>4.4</b>	<b>Bacia do Riacho Reginaldo .....</b>	<b>58</b>
4.4.1	Sub-bacia riacho Pau d'Arco.....	60
<b>4.5</b>	<b>Bacia Hidrográfica da Levada.....</b>	<b>62</b>
<b>4.6</b>	<b>Bacia Hidrográfica das águas Férreas .....</b>	<b>62</b>
<b>4.7</b>	<b>Bacia Hidrográfica do Riacho do Silva.....</b>	<b>63</b>
<b>4.8</b>	<b>Sistema de esgotamento sanitário de Maceió .....</b>	<b>65</b>
4.8.1	Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico (Pajuçara).....	66
4.8.2	Bacia de Drenagem Sudoeste Oceano Atlântico (Bacia Lagunar) .....	67
4.8.3	Da origem a atualidade SES Maceió.....	68
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>
<b>5.1</b>	<b>Área de estudo .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2</b>	<b>Pontos de monitoramento .....</b>	<b>76</b>
<b>5.3</b>	<b>Período de secos e chuvoso .....</b>	<b>81</b>
<b>5.4</b>	<b>Estrato socioeconômico .....</b>	<b>82</b>
<b>5.5</b>	<b>Localização e lençol freático .....</b>	<b>83</b>
<b>5.6</b>	<b>Padrões de referência .....</b>	<b>83</b>
<b>5.7</b>	<b>Tratamento dos dados .....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>6.1</b>	<b>Avaliação locacional e socioeconômica das características dos esgotos da cidade</b>	<b>85</b>
<b>6.2</b>	<b>Interferência da precipitação nas características dos esgotos coletados.....</b>	<b>95</b>
<b>6.3</b>	<b>Características dos esgotos afluentes a unidades centralizadas e</b>	
	<b>descentralizadas.....</b>	<b>101</b>
6.3.1	ETEs da zona alta da cidade de Maceió.....	101
6.3.2	ETEs da zona baixa da cidade de Maceió .....	111
<b>6.4</b>	<b>Caracterização de esgoto hospitalar.....</b>	<b>120</b>
<b>6.5</b>	<b>Avaliação da qualidade das águas dos canais urbanos .....</b>	<b>129</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>139</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>140</b>
	<b>ANEXO A – GEOMORFOLOGIA DE ALAGOAS.....</b>	<b>166</b>
	<b>ANEXO B – MAPA REGIÕES HIDRÓGRAFICAS e BACIAS HIDROGRAFICAS</b>	
	<b>ALAGOAS .....</b>	<b>167</b>

---

## 1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que as condições sanitárias são consideradas ferramentas importantes para que haja um equilíbrio entre a sociedade e o meio ambiente de forma sustentável, preservando também a saúde do ser humano. Uma das principais características do século XX se deu pelo intensificado processo migratório da zona rural (êxodo rural) e conseqüentemente urbanização das cidades, resultando em cidades cada vez mais populosas, porém de maneira descontrolada e colocando risco as necessidades básicas da população (CASTRO; CARVALHO, 2018; KUMAR; TORTAJADA, 2020).

O crescimento demográfico desordenado dos centros urbanos, aliado a má gestão do uso e ocupação do solo, expansão do setor industrial e a baixa cobertura de coleta e tratamento de esgoto são os principais responsáveis pelo decaimento da qualidade dos ecossistemas aquáticos e propagação de doenças de veiculação hídrica (MENEZES et al., 2016; SILVA et al., 2017; RODRÍGUEZ-GUERRA & MARTÍNEZ, 2020; MARAÑÓN et al., 2020). A urbanização tende a expandir as áreas de baixa permeabilidade nas bacias hidrográficas, causando aumento no volume escoado superficialmente e arraste de sedimentos as galerias pluviais, como consequência ocorrem alterações nas características físico-químicas e microbiológicas dos corpos d'água receptores, sendo os rios urbanos os mais afetados por este fenômeno (BEGA; OLIVEIRA; ALBERTIN, 2021).

Para que o esgoto sanitário possa ter impacto positivo no ambiente e na saúde pública é necessário que ele passe por um processo de tratamento e que o sistema de esgotamento sanitário tenha um efetivo controle operacional, o qual só pode ser alcançado através de um adequado programa de monitoramento. Monitoramento esse que envolve a qualidade do esgoto bruto, do sistema de tratamento e do esgoto tratado, e pode ser usado inclusive para a vigilância ambiental de patógenos de interesse. O uso do monitoramento do esgoto para tal fim é denominado como vigilância epidemiológica baseada em esgotos (em inglês: *Wastewater-Based Epidemiology*, ou *WBE*).

Atualmente, o cenário brasileiro de esgotamento sanitário é deficitário e caminha a passos lentos para a universalização do acesso. De acordo com dados levantados pelo SNIS (Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento), o Brasil possui 54,1% do esgoto coletado, ou seja, apenas um pouco mais da metade da população tem acesso ao serviço – aproximadamente 105 milhões de pessoas –, e desta porcentagem apenas 49,1% do esgoto recebe tratamento adequado (SNIS, 2021).

---

No estado de Alagoas o panorama é ainda mais preocupante, segundo informações divulgadas pelo Ministério do Desenvolvimento Regional em 2021, apenas 22,35% da população tinha acesso à coleta de esgoto, onde 20% destes recebem tratamento, enquanto a capital Maceió apresenta 47,1% de esgotamento sanitário adequado (SNIS, 2021). Infere-se então, que mais da metade da população ainda não tem acesso aos serviços de coleta e tratamento do seu esgoto, dispendo de forma inadequada seus desejos na superfície dos solos, galerias de águas pluviais e nos corpos d'águas causando grandes impactos nos ecossistemas que a longo prazo podem ser irreversíveis (MESSIAS, 2020).

A cidade de Maceió está inserida neste contexto, sua cobertura da rede coletora de esgotos ainda está em expansão, e seus canais urbanos recebem contribuições difusas de esgotos sanitários clandestinos em todo o seu percurso (SILVA, 2014; VIDAL, 2012). Como visto, a cobertura de rede de esgotos nas cidades brasileiras não é total, existindo localidades que utilizam soluções individuais ou simplesmente jogam seus dejetos *in natura* nos mananciais e canais urbanos de drenagem, os transformando em unidades de sistema unitário onde o esgoto é carregado junto a água da chuva de escoamento.

Este trabalho está inserido no projeto COVID-ESGOTO-MACEIÓ desenvolvido em uma parceria entre a UFAL, CASAL e BRK com finalidade de caracterizar microbiologicamente o vírus SARS-CoV-2 presente no esgoto, e surgiu da necessidade de levantamento de dados qualificados e complementares para preencher as lacunas existentes acerca do comportamento do vírus nas águas residuárias do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Maceió.

Analisa-se então neste trabalho as variáveis ambientais, espaço-temporais, sociais e econômicas dos esgotos gerados nas regiões estudadas, trazendo à luz a discussão sobre o impacto do lançamento do esgoto municipal nos corpos hídricos urbanos colocando em risco o equilíbrio ambiental e a saúde da população. Neste contexto, o propósito do trabalho é monitorar por meio da caracterização qualitativa, espacial e temporal os efluentes da rede coletora e as águas dos canais urbanos de Maceió.

---

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Monitorar o sistema de esgotamento sanitário de Maceió, no que diz respeito a caracterização físico-química e bacteriológica, como ferramenta de controle e mapeamento da evolução espacial e temporal da qualidade dos efluentes e das condições socioeconômicas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Relacionar as características dos esgotos com a localização georreferenciada da rede coletora e condições socioeconômicas da população contribuinte;
  - Avaliar a interferência da precipitação nas características dos esgotos coletados em períodos de baixa precipitação e chuvosos;
  - Comparar a variação temporal das características dos esgotos afluentes a ETEs centralizadas e ETEs compactas descentralizadas;
  - Analisar as características dos esgotos gerados em unidades de saúde.
  - Avaliar a qualidade das águas de canais urbanos localizados em áreas com e sem rede coletora de esgotos.
-

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Abordagem histórica do saneamento no Brasil

##### 3.1.1 Planos Nacional de Saneamento – PLANASA (1971)

Abordando um contexto histórico sobre saneamento básico no Brasil, pode-se considerar o PLANASA (Plano Nacional de Saneamento) como o primeiro grande ato político aplicado para tentar sanar a deficiência encontrada no abastecimento de água e esgotamento sanitário do país. Em meados dos anos 70, o plano foi instituído pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) agente financeiro oficial das políticas de habitação e saneamento, gestor do FGTS - Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - e responsável pelos repasses de recursos estabelecidos para políticas de desenvolvimento (LOBO, 2016) .

O PLANASA foi das políticas sociais de maior destaque no período, tido como um instrumento de ação permanente para substituir de maneira eficaz, inúmeros planos anteriores frustrados, por um sistema de saneamento básico eficiente para a população brasileira, além de oferecer subsídios para os estados brasileiros criarem suas próprias companhias de saneamento (LOBO, 2016). Para que os estados obtivessem o apoio financeiro era necessário criar um Fundo de Financiamento para Água e Esgoto (FAE) e a sua própria companhia de abastecimento de água e esgoto, para só então ter acesso ao Sistema de Financeiro de Saneamento, este administrado pelo próprio BNH (MACHADO, 2018). Essa medida emergencial partiu do pressuposto que de um lado existia a necessidade de uma reestruturação dos aspectos sociais e melhoria na qualidade de vida, saúde e bem-estar dos brasileiros e do outro a necessidade de levantar recursos financeiros a nível federal, na intenção de diminuir a deficiência no saneamento básico brasileiro no âmbito municipal (MACHADO, 2018).

A intenção do plano era instruir as empresas estaduais que prestavam serviços aos municípios que não possuíam um sistema de saneamento, buscando a universalização do acesso e principalmente para as áreas metropolitanas em desenvolvimento. O PLANASA apesar de não ter atingido a universalização do acesso ao saneamento, como todo plano, teve seus altos e baixos deixando resultados positivos durante o seu período de vigência, além disso é importante levar em consideração que muitos estados, naquele momento, não possuíam companhias de saneamento, as tendo que criar do zero (SANTOS; KUWAJIMA; SANTANA, 2020).

Em meados dos anos 90 o PLANASA foi desprezado, nessa mesma época foram criadas as companhias de saneamento de outros estados, o que não foi o caso de Alagoas que já possuía sua Companhia de Saneamento criada em 1962.

---

### 3.1.2 Programa de Ação Social em Saneamento – PROSEGE (1992)

Alguns anos depois, o Governo Federal instituiu o Decreto nº 481, de 26 de março de 1992, denominado Programa de Ação Social em Saneamento (PROSEGE), visando trazer melhorias para a qualidade de vida da população através de ações que melhorassem as condições sanitárias e ambientais das áreas urbanas. As melhorias viriam a partir das construções de obras de saneamento promovidas pelos governos estaduais e as companhias estaduais de saneamento, assim como pelas prefeituras e os serviços autônomos municipais.

A principal fonte de investimento do PROSEGE era advinda de recursos provenientes dos empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, contratado pelo próprio governo federal, além das contrapartidas dos seus agentes promotores. Quanto a estrutura do programa, suas diretrizes e políticas operacionais eram atribuídas a comissão interministerial, a análise e aprovação dos projetos integrantes do programa eram realizadas pela comissão especial, ficando o gerenciamento da implantação do PROSEGE a cargo da unidade executora.

### 3.1.3 Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013)

Levando em consideração a crescente problemática da falta de estrutura no saneamento básico do país, o Governo Federal criou um novo Plano de Saneamento o *PLANSAB* (Plano Nacional de Saneamento Básico) coordenado pelo Ministério das Cidades, previsto na Lei 11.445 de 2007 que instituía as diretrizes básicas de saneamento e o definiu como o conjunto de estrutura e serviços para o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007).

De acordo com o próprio documento do PLANSAB o plano foi executado em três etapas como está representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Etapas de execução PLANSAB

<b>Etapas</b>	<b>Ação</b>
<b>1ª etapa</b>	Pacto pelo saneamento básico: mais saúde, qualidade de vida e cidadania”, este foi o marco que deu início ao processo da elaboração do plano em 2008
<b>2ª etapa</b>	Nos anos de 2009 e 2010 houve a elaboração do estudo denominado “Panorama do Saneamento Básico no Brasil
<b>3ª etapa</b>	Consulta pública, com a finalidade de submissão da versão preliminar do plano para a sociedade promovendo sua discussão e a consolidação da sua forma final

Fonte: BRASIL (2007)

A lei denominada Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB)

---

no seu artigo 52 estabelece que seja de responsabilidade da União elaborar o PLANSAB e seus instrumentos, para uma perspectiva de 20 anos com avaliações anuais e revisões a cada quatro anos, sob a coordenação do Ministério das Cidades devendo conter:

- a) os objetivos e metas nacionais e regionalizadas, de curto, médio e longo prazo, para a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes de saneamento básico no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas públicas da União;
- b) as diretrizes e orientações para o equacionamento dos condicionantes de natureza político institucional, legal e jurídica, econômico-financeira, administrativa, cultural e tecnológica com impacto na consecução das metas e objetivos estabelecidos;
- c) a proposição de programas, projetos e ações necessários para atingir os objetivos e as metas da Política Federal de Saneamento Básico, com identificação das respectivas fontes de financiamento;
- d) as diretrizes para o planejamento das ações de saneamento básico em áreas de especial interesse turístico;
- e) os procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações executadas.

Fonte: (BRASIL, 2007)

Assim como em outras diretrizes o plano também visava que cada estado da federação acompanhado de seus municípios, com participação da sociedade, criasse o Plano Municipal de Saneamento (PMSB) para auxiliar na gestão e na diminuição do desperdício de dinheiro público (BRASIL, 2007).

### **3.2 Novo marco do saneamento**

No ano de 2020 o Governo Federal sancionou a Lei nº 14.026, de 15 de julho e 2020, considerada o novo marco do saneamento básico, trazendo uma narrativa de avanços para o seguimento no país. Visando, principalmente, à universalização e qualificação dos serviços de saneamento básico, o novo marco propõe levar para 90% da população brasileira tratamento adequado de esgoto sanitário e a 99% a cobertura de abastecimento de água até o ano de 2033 (BRASIL, 2020).

A nova Lei, em uma tentativa de redistribuir as atribuições referente as metas a serem atingidas, delega à Agência Nacional de Águas (ANA) ditar normas de referência sobre os serviços de saneamento, como, por exemplo, a imposição do cumprimento das metas estabelecidas nos contratos de concessões, estes que são realizados apenas através da abertura de licitações (BRASIL, 2020).

Em uma tentativa de reformulação das políticas sanitárias do país, a nova legislação prevê aplicação de mudanças como a possibilidade da troca da administração pública no setor do saneamento, dando abertura para concorrência onde empresas privadas e mistas possam

---

apresentar melhores propostas, oferecendo uma maior segurança jurídica e uma maior fiscalização por meio das entidades reguladoras e fiscalizadoras responsáveis (SOUSA, 2020). Na visão de Sousa (2020) é importante avaliar além das fronteiras políticas observando o que o campo do conhecimento consolidado pode acrescentar sobre esta atualização, ou seja, avaliar a concepção de países que adotaram ou recusaram o seguimento do modelo proposto pelo novo marco do saneamento.

SOUSA, (2020) explica que obras de saneamento são atividades que demandam tempo, este tipo de consórcios dura em média de 20 a 35 anos, devido aos altos valores relacionados aos investimentos iniciais, para que dessa forma haja um retorno financeiro. Cerca de 90% dos países no mundo possuem administração pública na área do saneamento, contrapartida do que o governo brasileiro propõe, um estudo internacional que apresenta dados referente a diversas cidades que optaram pela privatização desistiram e voltaram seus serviços (KISHIMOTO; PETITJEAN, 2017; SOUSA, 2020). O novo marco do saneamento é real, atual e vigente, entretanto, é importante avaliar todas as perspectivas e cenários para que seus objetivos sejam atingidos e a sociedade seja beneficiada uma vez que em execução seu principal objetivo é mudar o atual panorama das condições de esgotamento sanitário no país

Figura 1.

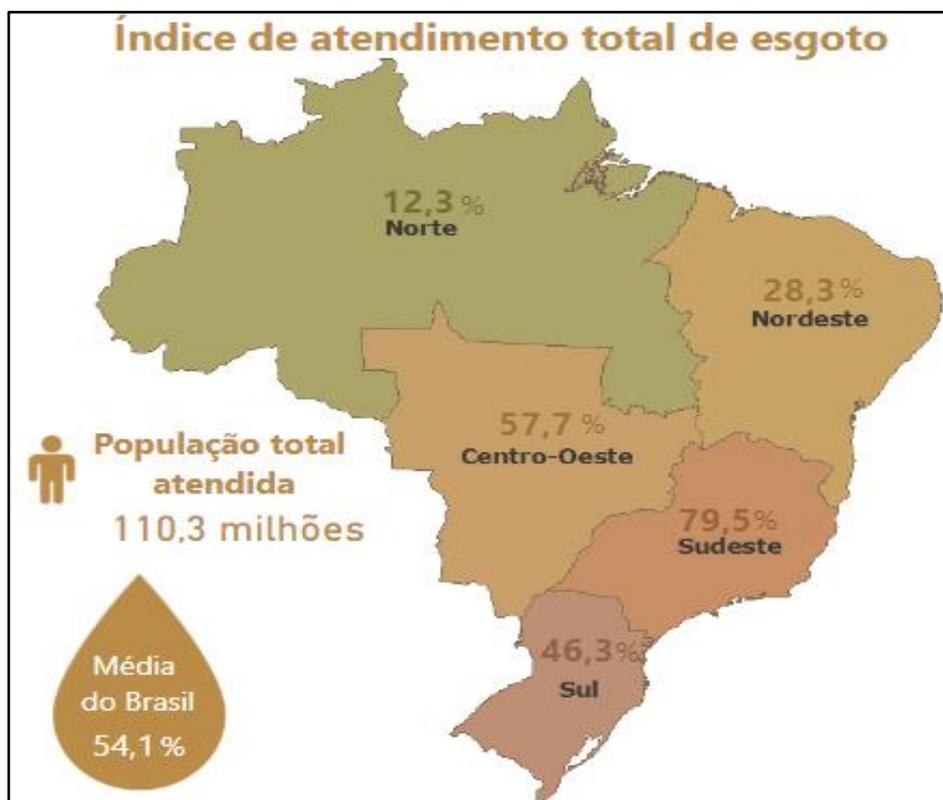


Figura 1 - Cobertura de esgotamento sanitário no Brasil

Fonte: SNIS (2021)

### 3.3 Características de esgotos

Os principais autores da literatura que tratam sobre águas residuárias explicam que esgotos bruto municipais apresentam grande variabilidade a depender de fatores como o volume, características socioculturais, medição do sistema de distribuição de água, hábitos alimentares (METCALF & EDDY, 2016; SPERLING, 2005). O esgoto bruto a depender dos seus constituintes apresenta composição variada quanto seus aspectos físico-químicos e bacteriológicos. Isto se deve ao fato de que o esgoto sanitário é formado, basicamente, pela mistura das águas residuais provenientes de uso doméstico, comerciais e instituições públicas.

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), os principais constituintes de esgotos originados de fontes domésticas, municipais (industriais, comerciais e institucionais) são: excretas humanas, águas de banho, processamento de alimentos, componentes químicos (inerentes aos processos industriais), produtos de manutenção pessoais como remédios e cosméticos. Devido a variedade de constituintes encontrados no esgoto, é prática comum à sua caracterização segundo suas propriedades físicas e de seus constituintes químicos e biológicos. A Tabela 2 mostra os principais constituintes do esgoto visando seu tratamento.

Tabela 2 - Principais constituintes dos esgotos

Constituintes	Razão de Importância
Sólidos Suspensos	Sólidos suspensos podem provocar depósitos de lodo e condições anaeróbias quando esgoto bruto é descarregado no ambiente aquático
Orgânicos Biodegradáveis	Contendo principalmente proteínas, carboidratos e gorduras, os orgânicos biodegradáveis são mais comumente medidos em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Se lançado sem tratamento ao ambiente, suas estabilizações biológicas podem levar a depleção dos recursos de oxigênio natural e ao desenvolvimento de condições sépticas.
Patógenos	Doenças transmissíveis podem ser transmitidas por organismos patogênicos que podem estar presentes no esgoto.
Nutrientes	Associados ao carbono, tanto nitrogênio como fósforo são elementos essenciais para o crescimento. Quando descartados em meio aquático, esses nutrientes podem levar ao crescimento de espécies aquáticas indesejáveis. Quando descarregados no solo em grandes quantidades, podem, também, provocar a poluição de águas subterrâneas.
Poluentes Prioritários	Compostos orgânicos e inorgânicos selecionados com base em suas conhecidas ou suspeitas carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade ou elevada toxicidade aguda. Muitos desses compostos são encontrados nos esgotos.
Orgânicos Refratários	Esses orgânicos tendem a resistir aos métodos convencionais de tratamento de esgotos. Exemplos típicos incluem surfactantes, fenóis e pesticidas utilizados na agricultura.
Metais Pesados	Metais pesados são, usualmente, adicionados ao esgoto por atividades comerciais e industriais e poderá haver a necessidade de removê-los se o esgoto for reutilizado.
Orgânicos Dissolvidos	Constituintes inorgânicos, como cálcio, sódio e sulfato são adicionados à água distribuída por sistemas de abastecimento público e devem ser removidos se o esgoto for reutilizado.

Fonte: Metcalf & Eddy (2016)

### 3.3.1 Características físicas do esgoto

As principais características físicas presentes na composição do esgoto sanitário são

os sólidos, temperatura, cor, odor, turbidez e variação de vazão. As partículas de sólidos representam 0,1%, aproximadamente de sólidos divididos entre os sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão. Apesar da maior parte do esgoto ser de água (99,9%), são nos constituintes sólidos que são encontrados micropoluentes inorgânicos (arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata), metais estes que se dissolvem na água e os micropoluentes orgânico (defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes e muitos produtos químicos) estes são mais resistentes a degradação biológica (SPERLING, 2005).

A temperatura do esgoto, normalmente encontrada um pouco superior as águas de abastecimento, é um importante parâmetro de controle para caracterização de águas residuárias uma vez que a velocidade da depuração da matéria orgânica presente no esgoto é proporcional ao aumento da temperatura sendo a faixa ideal entre 25 e 35° C, assim como também o seu decaimento afeta o crescimento bacteriano no meio é afetado (NASR; ABDELFADEL; ELSHAFI, 2022; RAJAPAKSE et al., 2022; RODRIGUES; NUNES; MADEIRA, 2022; SHAABAN, 2022).

O odor é outro componente físico importante para avaliação qualitativa dos esgotos sanitários, de acordo com a suas características odoríferas é possível presumir se o esgoto é fresco ou mais antigo (BRASIL, 2004). No primeiro caso esgotos frescos apresentam um odor de mofo, sendo razoavelmente suportável, já no segundo caso esgotos velhos ou sépticos apresentam odor de ovo podre, devido ao gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) resultante da ação das bactérias redutoras de sulfatos (BRS) além de apresentarem um grau relativo de toxicidade, sendo assim indesejáveis em sistemas de tratamento anaeróbio de Estações de Tratamento de Esgoto (ARAÚJO, 2019; LILIAMTIS; MANCUSO, 2003).

A turbidez, de acordo com Sperling (2005), indica o grau de interferência da passagem de luz através da água, varia de acordo com a quantidade dos sólidos em suspensão e podem ser de origem natural ou antrópica (DE ASSIS et al., 2020; FREITAS et al., 2018). O parâmetro cor também está relacionado aos sólidos dissolvidos, originada de forma natural através de níveis mais altos nas concentrações de ferro e manganês, através da decomposição da matéria orgânica ou de forma antropogênica ocasionada pelo lançamento de efluentes industriais e esgotos domésticos (FREITAS et al., 2018).

As resoluções CONAMA 430 de 2011 e 357 de 2005 que estabelece os padrões de lançamento de efluentes e o enquadramento dos corpos hídricos, respectivamente, não estipulam um valor ideal de cor para disposição final, indicando apenas que ao lançar o efluente a cor verdadeira do manancial não seja alterada (BRASIL, 2005, 2011; SCOTTÁ, 2015). Tanto a cor como a turbidez, indicam o grau da decomposição dos esgotos, onde a

---

tonalidade acinzentada acrescida de pouca turbidez é comumente encontrada em esgotos recentes, já a preta é encontrada em esgotos mais velhos.

### 3.3.2 Constituintes químicos (não metálicos e metálicos)

Segundo Sperling (2005) o nitrogênio normalmente é o nutriente inorgânico exigido em maiores quantidades para o desenvolvimento da comunidade microbiana. O N-total é o somatório do nitrogênio Kjeldahl (NTK) mais a parcela de nitrogênio nas formas de nitrito e nitrato (equação 1), estes últimos não são considerados devido a sua ausência ou concentrações muito pequenas em esgotos sanitários.

$NT = NTK + NO_2^- + NO_3^-$  ..... Equação 1 - Nitrogênio Total

O NTK por sua vez é constituído do composto de N-amoniaco mais o N-orgânico (equação 2). O Nitrogênio amoniacal – íons de Amônio ( $NH_4^+$ ) mais a amônia ( $NH_3$ ) e o N-orgânico são os compostos nitrogenados mais presente nos esgotos de origem domésticas (SPERLING, 2005).

$NTK = N\text{-amoniaco} + N\text{-Org}$  ..... Equação 2 - Nitrogênio de Kjeldahl Total

O fósforo total é encontrado nos esgotos sanitários municipais como fosfatos nas formas orgânicas (origem fisiológica) e inorgânicas (origem de detergentes e produtos químicos domésticos) e através de águas residuárias de origens industriais (SPERLING, 2005). A presença deste nutriente é importante para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da MO, assim como também tem a sua importância para o crescimento das algas, o que em excesso e associado a outros nutrientes como o nitrogênio, por exemplo, pode levar ao fenômeno da eutrofização dos corpos hídricos (SPERLING, 2005).

O fósforo total é soma das frações de fosforo orgânico e inorgânico e no esgoto sanitário é encontrado na forma de fosfato. Assim como outros parâmetros, os níveis de concentração do fósforo dependem das características socioeconômicas, culturais e do nível de acesso a produtos industrializados a base desse composto nas residências da população contribuinte ou da presença de esgotos de origem não domésticas nas redes coletoras. As concentrações de fosfato encontradas na PA foi 5,29 mg/L e 5,1 mg/L na PB, ambos valores são considerados de média concentração (METCALF & EDDY, 2016). A presença do sulfato em meio anaeróbico é responsável pela corrosão das redes coletoras, pelo odor desagradável e a depender da concentração encontrada nos esgotos afluentes são capazes de inibir um

---

processo biológico importantíssimo da digestão anaeróbia que é a metanogênese.

A faixa ideal para o pH do esgoto bruto é próximo a neutralidade em torno de 7 sendo este fator importante para um bom resultado no tratamento. A avaliação da alcalinidade também é significativa para os processos de tratamento de esgoto, uma vez que um esgoto pouco alcalino terá facilmente seu pH diminuído por ácidos fracos, quanto um esgoto muito alcalino não apresentaria uma grande alteração do pH, isso ocorre devido aos íons livres que neutralizam ácidos mais fracos (SPERLING, 2005; METCALF; EDDY, 2016). Segundo estes autores, a alcalinidade em esgotos domésticos ideal se encontra na faixa 100 a 250 mgCaCO<sub>3</sub>/L

Quanto ao ferro e manganês apesar de terem seu padrão para lançamento de efluentes definido pela CONAMA 430/2011 em (15,0 mg/L Fe e 1,0 mg/L Mn), nestas concentrações não é um constituinte tóxico, entretanto a sua caracterização se torna importante para o abastecimento público já que a sua ocorrência em níveis acima do estipulado pelas normas confere cor e sabor as águas de abastecimento (PIVELI; KATO, 2006). Ainda segundo estes autores a presença destes constituintes metálicos são mais comuns em águas subterrâneas devido a dissolução do minério pelo gás carbônico de acordo com a equação 3.



Quanto ao manganês apesar de ser semelhante em alguns aspectos ao ferro é mais rara. Metcalf e Eddy (2016) consideram estes poluentes como prioritários para as águas, uma vez que são importantes para atividades biológicas e a sua ausência pode limitar o crescimento de algas, por exemplo. Entretanto, em quantidades excessivas os usos da água podem ser afetados devido a toxicidade destes metais em altas concentrações, logo é importante realizar a medição e controle destas substâncias (Metcalf & Eddy, 2016).

As concentrações de ferro nas águas superficiais aumentam em períodos chuvosos que através do escoamento superficial carregam o solo até os mananciais e através do fenômeno de erosão (PIVELI; KATO, 2006). A contribuição de efluentes industriais também aumentam os níveis de ferro e manganês nas águas superficiais, visto que indústrias como as metalúrgicas, por exemplo, realizam a remoção das camadas de ferrugem de suas máquinas antes da sua utilização, método que recebe o nome de decapagem.

Quando despejado no corpo hídrico, a quantidade de matéria orgânica (MO) presente no esgoto é decomposta por microrganismos, que durante o processo metabólico utiliza oxigênio disponível na água para realizar o processo de estabilização da matéria. Desta forma, o aumento na concentração de matéria orgânica irá implicar na diminuição dos níveis de

---

oxigênio dissolvidos (OD) implicando na deterioração do meio (SPERLING, 2005). Logo, a quantificação do OD necessário para estabilização da fração biodegradável da MO é medida através de métodos como o da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por meio de processos bioquímicos, Demanda Química de Oxigênio e Carbono orgânico total (SPERLING, 2005).

Sperling (2005), afirma que a estabilização completa da matéria orgânica demora 20 dias para a estabilização completa sendo esta chamada de Demanda Última de Oxigênio ( $DBO_u$ ). Entretanto, existia uma necessidade de otimizar o tempo em laboratório, então foi necessário a padronização da análise sendo lido ao quinto dia, surgindo assim a  $DBO_5$ . Metcalf e Eddy (2016) explicam que o método da  $DBO_5$  é utilizado mundialmente como parâmetro de poluição orgânica, mesmo tendo suas limitações, devido as suas funcionalidades e é utilizado também para determinação das dimensões das ETE, medição da eficiência dos processos de tratamento e determinação do atendimento as descargas de esgotos (METCALF; EDDY, 2016).

Quanto a DQO ou Demanda Química de oxigênio é utilizada para medir o consumo do OD da matéria orgânica através da oxidação química em meio a um forte ácido (dicromato de potássio), onde o resultado encontrado pode ser considerado uma indicação indireta da quantidade de matéria orgânica presente. Dificilmente a DBO terá um valor próximo a DQO, isto se deve devido a quantidade de MO difíceis de se oxidarem, como a lignina, que pode ser oxidada pela via química. Assim como valores elevados de DQO podem ocorrer devido a reação do ácido dicromato com determinadas substâncias orgânicas (METCALF; EDDY, 2016).

### **3.3.3 Constituintes biológicos no esgoto**

Tanto Metcalf e Eddy (2016) quanto Sperling (2005) acreditam que a caracterização biológica do esgoto sanitária é de extrema importância no controle de doenças causadas por orgânicos patogênicos, estes microrganismos presentes no esgoto são os fungos, protozoários helmintos, vírus e bactérias. A principal fonte destes organismos são os esgotos de origem doméstica, embora possam vir também de outras fontes como as comerciais e industriais ou até mesmo infiltrações nas redes. Existem ainda os microrganismos que podem estar presente no esgoto apenas em surtos de doenças, situações e ou eventos específicos, onde dependerão do número de pessoas que os eliminando através das fezes (METCALF; EDDY, 2016).

As bactérias do grupo coliforme há muitos anos são utilizadas como indicador de contaminação fecal na avaliação microbiológica ambiental. A Organização Mundial da Saúde

---

(OMS) define os coliformes como microrganismos que tem capacidade de fermentação da lactose em presença de agentes tensoativos, nas temperaturas de 35°C (coliformes totais) ou 44 a 45°C (coliformes fecais ou termotolerantes), com formação de ácido, gás e aldeído (WHO, 2017; APHA, 2005). Uma classificação mais ampla inclui os coliformes totais no grupo das bactérias da família Enterobacteriaceae, que está presente em vários ambientes (solo, águas superficiais, trato intestinal humano e de animais, peixes, moluscos, plantas, insetos e roedores).

Já as bactérias do grupo de coliformes termotolerantes têm um parâmetro de confiabilidade maior com relação aos coliformes totais, pois essas bactérias são de origem fecal e não se multiplicam com facilidade no ambiente externo, apresentando um período de sobrevivência similar ao das bactérias patogênicas, cujos principais componentes desse subgrupo é a *Escherichia coli*, a *Klebsiella* e os enterococcus, sendo a *E. coli* é a bactéria predominante do grupo dos coliformes termotolerantes e causadora de doenças gastrointestinais como a gastroenterite (VALDEZ; GROSBELLI, 2012). Valdez e Grosbelli (2012) ainda citam que a relação *E. coli*/termotolerantes varia entre 0,77 e 0,84, podendo-se utilizar essa relação para estimar os termotolerantes a partir da *E. coli*. A Figura 2 ilustra o diagrama representativo do grupo coliforme.

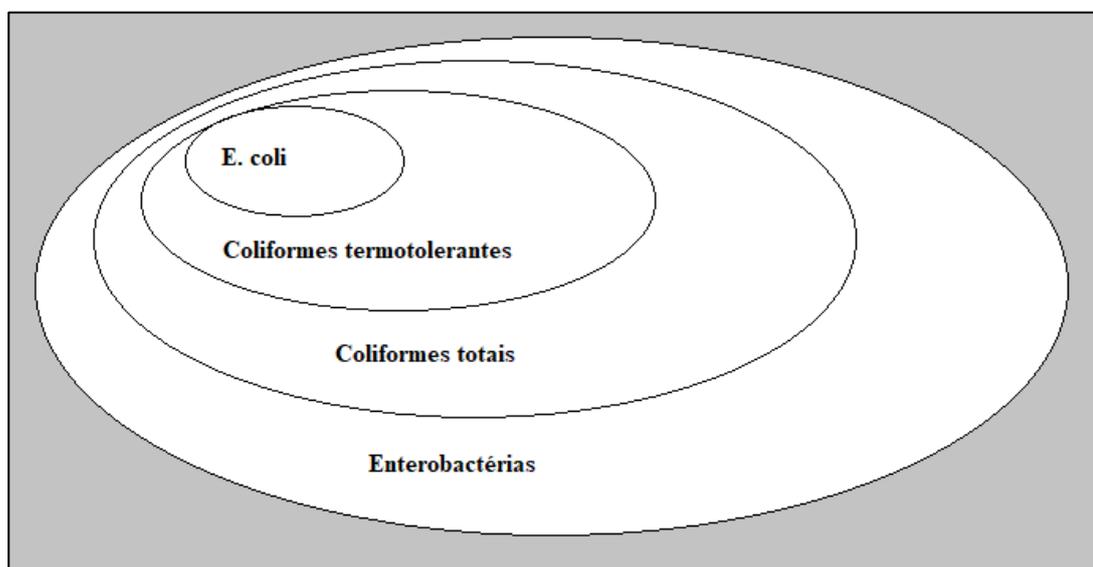


Figura 2 - Diagrama representativo do grupo Coliformes  
Fonte: Adaptado (YAMANE, 2007)

A CONAMA 274 de 2000 classifica as águas doces, salobras e salinas e determina os limites de balneabilidade entre própria para banho subdividida em quatro categorias excelente, muito boa, satisfatória e imprópria, sendo as três primeiras consideradas própria para recreação de contato primário. O parâmetro utilizado é a presença de bactérias de origem fecais realizados através de cinco análises consecutivas, onde a categoria imprópria indica

uma degradação da qualidade sanitária das águas aumentando o risco de contaminação sendo indicado aos banhistas a não recreação (Figura 3).

CATEGORIA		Coliforme Termotolerante (UFC/100 mL)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	Enterococos (UFC/100 mL)
PRÓPRIA	EXCELENTE	Máximo de 250 em 80% ou mais tempo	Máximo de 200 em 80% ou mais tempo	Máximo de 25 em 80% ou mais tempo
	MUITO BOA	Máximo de 500 em 80% ou mais tempo	Máximo de 400 em 80% ou mais tempo	Máximo de 50 em 80% ou mais tempo
	SATISFATÓRIA	Máximo de 1.000 em 80% ou mais tempo	Máximo de 800 em 80% ou mais tempo	Máximo de 100 em 80% ou mais tempo
IMPRÓPRIA		Superior a 1.000 em mais de 20% do tempo	Superior a 800 em mais de 20% do tempo	Superior a 100 em mais de 20% do tempo
		Maior que 2.500 na última medição	Maior que 2.000 na última medição	Maior que 400 na última medição

Figura 3 - Limites de coliformes termotolerantes, E. coli e enterococos  
Fonte: (BRASIL, 2000)

A qualidade do esgoto sofre influências e alterações dependendo do tipo de contribuição recebida, assim como também pelos gases presentes dissolvidos e a composição química dos sólidos (orgânicos e inorgânicos), pelas características microbiológicas influenciadas devido aos aspectos socioeconômicos (SANTOS, 2019). A Tabela 3 apresenta a variação da concentração dos constituintes para as três classes de concentração.

Tabela 3 - Variação da concentração dos esgotos brutos

Constituinte	Unidade	Concentração		
		Baixa	Média	Alta
Sólidos Totais (ST)	mg/L	537	806	1612
Sólidos Dissolvidos totais (SDT)	mg/L	374	560	1121
Sólidos fixos	mg/L	224	336	672
Sólidos voláteis	mg/L	150	225	449
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	130	195	389
Fixos	mg/L	29	43	86
Voláteis	mg/L	101	152	304
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	8	12	23
Demanda Bioquímica de oxigênio 5-d,20°C DBO	mg/L	133	200	400
Carbono total (COT)	mg/L	109	164	328
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	339	508	1016
Nitrogênio (total como N)	mg/L	23	35	69
Orgânico	mg/L	10	14	29
Amônia	mg/L	14	20	41
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total como P)	mg/L	3,7	5,6	11
Orgânico	mg/L	2,1	3,2	6,3
Inorgânico	mg/L	1,6	2,4	4,7
Potássio	mg/L	11	16	32
Cloretos	mg/L	39	59	118
Sulfatos	mg/L	24	36	72
Óleo e graxa	mg/L	51	76	153
Compostos orgânicos voláteis totais (COVs)	µg/L	<100	100-400	>400
Coliformes Totais	No./100 mL	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>10</sup>

---

Coliformes Fecais	No./100 mL	$10^3 - 10^5$	$10^4 - 10^6$	$10^5 - 10^8$
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	No./100 mL	$10^{-1} - 10^1$	$10^{-1} - 10^2$	$10^{-1} - 10^3$

Fonte: Metcalf e Eddy, 2016.

A alteração destes fatores depende diretamente dos hábitos de uso da água, dos níveis socioeconômico da população, regiões geográficas e existência de áreas verdes e dos níveis de saneamento básico, estes fatores exercem influência sobre o regime de geração de esgotos e de sua concentração e quantidade de organismos patogênicos (PAIVA; DE SOUZA, 2018).

Metcalf & Eddy (2016) comentam que as concentrações destes constituintes dos esgotos variam de acordo com o perfil dos contribuintes ao sistema de coleta de esgoto, podendo ser classificado em esgoto de baixa, média e alta concentração e de acordo com as suas características físicas, químicas e biológicas.

### 3.4 Características de Esgoto Hospitalar

Assim como qualquer outro gerador de resíduos os hospitais devem tratar seus esgotos os destinando a um local ambientalmente adequado, porém durante muito tempo era comum a prática de lançamento das águas residuárias (resíduo de serviços de saúde - RSS) diretamente nas redes públicas de tratamento de esgoto sanitário sem tratamento prévio ignorando inúmeros riscos como materiais biológicos contaminados, substâncias tóxicas, inflamáveis e radioativas comprometendo a eficiência das ETE. No Brasil a Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por gerenciar e regulamentar o controle sanitário dos ambientes de serviços de saúde, através da RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 222, DE 28 DE MARÇO DE 2018, os obrigando a realizar tratamento prévio dos efluentes líquidos antes de realizar o lançamento em SES públicos ou em corpos receptores (ANVISA, 2018).

Os constituintes de um esgoto sanitário municipais possuem características conhecidas quanto a sua composição, nesses casos é sabido ou esperado seus compostos (Tabela 3) e as ETEs são projetadas para atender essas especificidades. Quando adicionamos a contribuição de unidades de serviço e saúde em uma rede de tratamento pública, se assume o risco de adicionar constituintes que necessitam de tratamentos mais complexos e específicos. Esgotos de hospitais possuem em sua composição grandes quantidades de substâncias químicas advindos das medicações administradas aos pacientes, por exemplo, os antibióticos que podem afetar a composição e o fenótipo da comunidade microbiana.

De acordo com estudos recentes realizados por Zagui et al., (2022), onde selecionaram o perfil de resistência a antibióticos e os fenótipos multirresistentes (MDR) de

---

organismos bacterianos isolados no esgoto de um hospital terciário no interior de São Paulo, Brasil. Segundo os autores foram encontrados nos testes de sensibilidades elevadas porcentagens de resistências aos antibióticos amoxicilina, ampicilina, ceftazidima, clindamicina, vancomicina e o fenótipo multirresistente (MDR) relacionado a 60% dos microrganismos isolados. Encontram ainda no esgoto hospitalar amostras de bactérias que possuem classificação de prioridade crítica/alta na Lista de Patógenos Prioritários da OMS, como o *Enterococcus* e *Staphylococcus aureus* resistentes à vancomicina e *Enterobacteriaceae* resistentes aos carbapenêmicos, indicando inevitabilidade de implementação de tecnologias de desinfecção do esgoto hospitalar antes de destinar as ETEs públicas, diminuindo o risco de contaminação dos corpos receptores e a proliferação de bactérias super-resistentes (ZAGUI et al., 2022).

Em sua pesquisa Machado et al., (2020), realizaram um estudo de detecção de bactérias resistentes a antibióticos como a ampicilina e cloranfenicol, diretamente do lodo biológico e efluente tratado (ET) de dois sistemas de esgotamento que recebem esgoto de origem doméstica. Segundo estes autores, as ETEs estão entre as principais fontes de disseminação de bactérias resistentes a antibióticos (BRAs) genes de resistência (GRAs) no ambiente. As ETEs avaliadas possuem os seguintes sistemas de tratamento: A Planta A um sistema de lodo ativado convencional e a planta B reatores anaeróbios (UASB) seguidos de filtros biológicos percoladores (FBP). Os resultados apontaram maior eficiência de remoção das concentrações de bactérias resistentes a ampicilina e ao cloranfenicol na Planta A (1,1 e 0,7 log<sub>10</sub> UFC. mL<sup>-1</sup> de remoção, respectivamente) em relação a Planta B (0,5 log<sub>10</sub> UFC. mL<sup>-1</sup>) de remoção para as bactérias resistentes ao cloranfenicol e nenhuma remoção detectada para as resistentes à ampicilina (MACHADO et al., 2020). Ambas as condições de remoção estão associadas apenas aos tratamentos biológicos e não foram condicionadas a etapa de desinfecção.

### **3.5 Sistemas de esgotamento sanitário**

Sistemas de esgotamento sanitário numa visão holística é constituído pelo serviço de coleta, incluindo as ligações prediais, o transporte do resíduo, o tratamento que ocorre dentro das estações de tratamento de esgoto (ETE), a disposição final e reúso dos efluentes líquidos, sólidos (lodo biológico) e gasosos Figura 4 (BRASIL, 2007;ACHON, 2016).

De forma simplificada, para que a água residuária volte para o ambiente de forma tratada é necessário que ela, primeiramente, passe pelo ciclo do saneamento, onde está

---

inserido o sistema de esgotamento sanitário, que possui seu início na captação da água no corpo hídrico e fechando seu ciclo ao voltar ao meio ambiente a posterior tratamento como uma água de reúso.

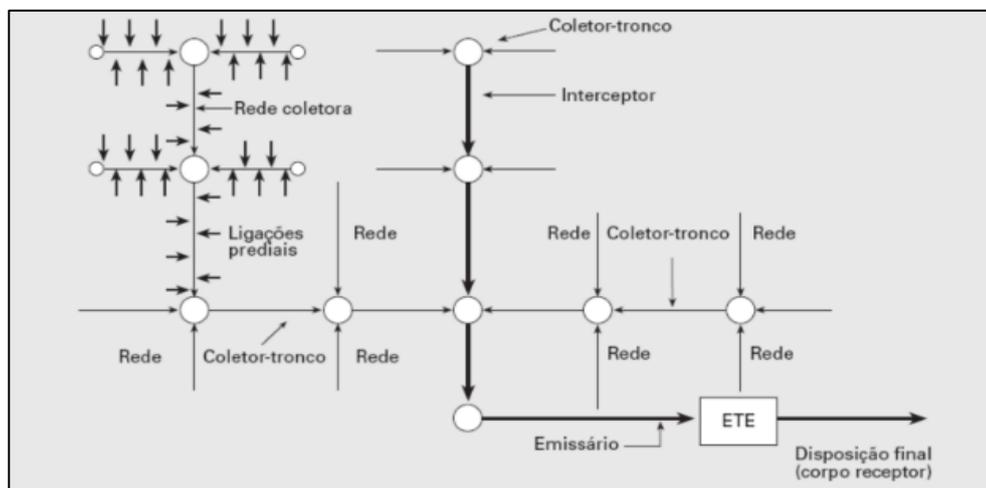


Figura 4 - Sistema de esgotamento de uma cidade

Fonte: <https://canteirodeengenharia.com.br/2020/12/16/redes-de-egotamento-sanitario/>

### 3.5.1 Sistema de Esgotamento Individual

O termo sistema individual (Figura 5) trabalha com o pressuposto de uma alternativa de tratamento no local. Desta forma é utilizado para soluções unifamiliares, embora a depender de como forem projetados, possam atender grupos de residências próximas com o intuito do afastamento rápido do esgoto do seu gerador, possuindo assim menor eficiência de remoção de poluente comparados aos sistemas coletivos (GUTIERREZ; SILVA; PEREIRA, 2019; SPERLING, 2005).

Sperling (2005) define este sistema como para o lançamento de dejetos em privadas higiênicas ou dos esgotos (fossas sépticas) de poucas residências e geralmente envolve infiltração. Sendo assim, dado a simplicidade do sistema se torna uma opção economicamente viável em áreas de baixa densidade populacional e em áreas e possuem solo com boas condições para infiltração.

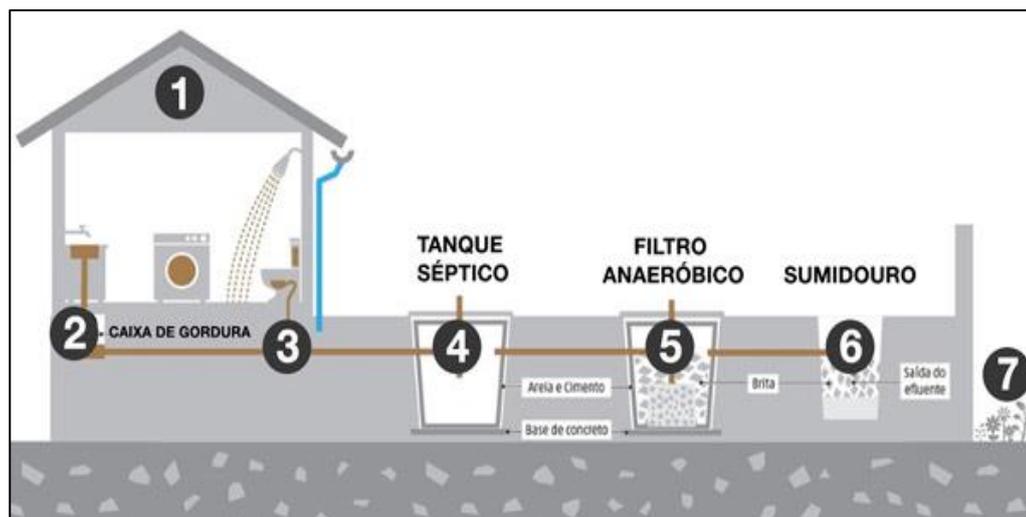


Figura 5 - Sistema de esgotamento individual

Fonte: <http://www.ecoeficientes.com.br/como-se-conectar-a-rede-publica-ou-instalar-sistema-individual-de-tratamento-de-esgoto/>

Este tipo de rede possui pequenas extensões e são instalados em locais onde não existe sistemas públicos de coleta, muito utilizado em áreas rurais, uma vez, que a rede simplificada as vezes é utilizada para interligar a unidade de tratamento ao corpo receptor que receberá o efluente (GUTIERREZ; SILVA; PEREIRA, 2019). Na visão destes autores o grande número e lançamentos difusos de unidades individuais de esgotamento, ao longo do corpo hídrico altera substancialmente as características dos corpos hídricos receptores devido ao baixo nível de eficiência (GUTIERREZ; SILVA; PEREIRA, 2019).

### 3.5.2 Sistemas de Esgotamento Coletivos

Os sistemas coletivos, na visão de Sperling (2005) são adequados para localidades alta taxa de densidade populacional, como nas cidades urbanas. Uma vez que o crescimento populacional resultado na ocupação territorial na redução de áreas livres dificultando utilização de sistemas individuais, transformando as redes coletivas de esgotamento opções mais adequadas (GUTIERREZ; SILVA; PEREIRA, 2019). Esta opção de sistema é caracterizada pela construção de uma rede (canalizações) que recebem os esgotos, servindo de transporte até a destinação final e correta e pode ser de dois tipos: Sistema separador e sistema unitário ou combinado.

Em diversos países onde o clima predominante é tropical e os volumes de chuva são mais significativos, como é o caso do Brasil, os sistemas de esgotamento do tipo separador absoluto (Figura 6) são amplamente utilizados e definido por especialistas da área como a solução ideal em termos de qualidade no saneamento básico (OLIVEIRA; SOARES; HOLANDA, 2014; SPERLING, 2005). As principais vantagens deste do tipo de sistema

separador absoluto são as águas pluviais serem lançadas em tubulações de drenagem independentes, além da utilização de canalizações de coleta em dimensões menores diminuindo os custos da obra e afastamento das águas residuárias, possibilidade de emprego de diversos materiais para as tubulações como PVC ou em casos especiais o ferro fundido e o não extravasamento dos esgotos em períodos chuvosos (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; SPERLING, 2005).

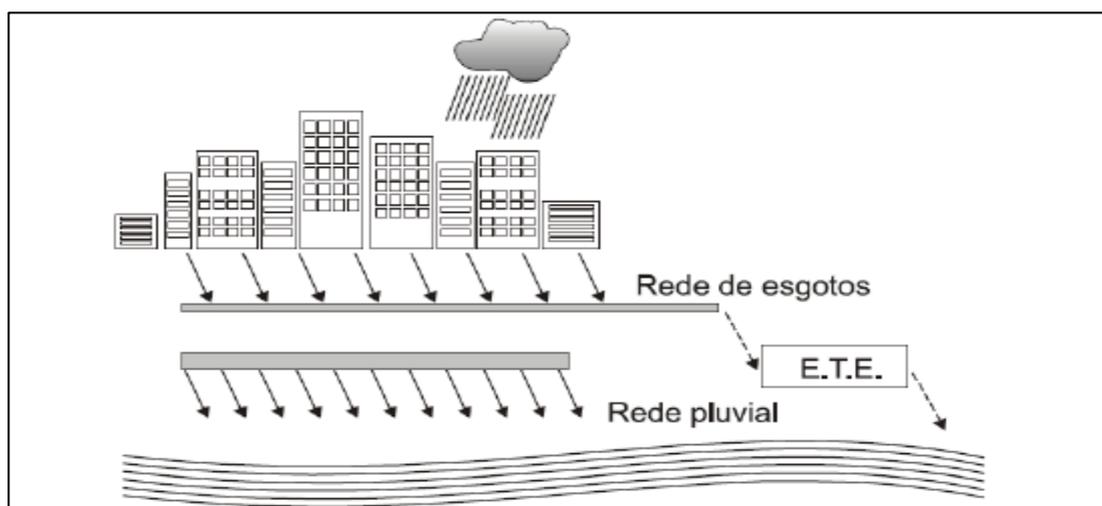


Figura 6 - Sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto  
Fonte: (Sperling, 2005)

Machado et al. (2013) indicam que sistemas combinados realizam a coleta e transporte de águas pluviais, de infiltração e de esgoto sanitário (domésticas e industriais) diretamente de uma única rede, entretanto para não haja sobrecarga dos sistemas são redirecionadas a parte excedente da água para cursos d'água. Holanda et al. (2014) explicam que em regiões subtropicais como é o caso dos países da Europa Ocidental onde toda a descarga pluviométrica são direcionadas aos esgotos, estudiosos da área indicam a utilização dos sistemas combinados (ou unitários) Figura 7.



Figura 7 - Sistema de Esgotamento Unitário ou Combinado  
 Fonte: MACHADO; BORJA; MORAES, (2013) apud Bernardes, 2013

Este sistema possui como principais desvantagens elevado custo de investimento devido as grandes dimensões dos condutos necessários, não funcionam bem em vias pavimentadas, são obras difíceis e demoradas além do odor desagradável que surge nas bocas de lobo em alguns casos devido ao transporte do esgoto na rede.

O esgoto sanitário é composto por esgoto doméstico, esgoto industrial e água de infiltração, esta última se trata da parcela de água escoada ou infiltrada que penetra nos coletores da rede de esgoto, ocorrendo pelas juntas mal executadas ou aberturas nos componentes da rede coletora de esgoto (ACHON, 2016). É necessário levar em consideração a parcela da infiltração nos cálculos do dimensionamento de um sistema de esgotamento, entretanto decisões equivocadas quanto as cargas per capita e demais valores de infiltração podem ocasionar um superdimensionamento tornando a obra inviável.

Uma vez que a quantidade de água infiltrada dependerá de diversos fatores como extensão da rede, diâmetro das tubulações, área servida, tipo de solo, profundidade do lençol freático, topografia e densidade populacional (SPERLING, 2005). Sperling (2005) ainda pontua que para vazão de infiltração são desconsideradas infiltrações advindas de ligações clandestinas e em locais onde não se possui dados específicos a taxa de infiltração é expressa em vazão por extensão de rede ou área servida.

A construção de uma rede de esgoto pode ser realizada acima ou abaixo de um lençol



### 3.6 Concepções dos Sistemas de Esgotamento Sanitário

O processo de escolha de um SES de uma localidade depende de vários fatores, quanto a concepção, as características da população, os tipos de tratamentos necessários e do viés econômico disponível para as fases de construção e operação do sistema. Seguindo estas decisões é possível escolher qual o melhor SES e que atenderá melhor aquela localidade, entre os SES existente existem duas opções: Sistemas Centralizados ou Convencionais e os Sistemas Alternativos ou descentralizados (MESQUITA, 2019).

Segundo Pereira, (2016), as tecnologias de tratamento de esgoto fabricadas de modo compacto são as estações mistas (combinação de tratamento aeróbio e anaeróbio), lodo ativado com pré-desnitrificação e aeração prolongada, reator biológico com membranas (MBR), reator biológico de leito móvel (MBBR), UASB seguido de filtro biológico, *Wetlands* e filtros biológicos.

#### 3.6.1 Sistema convencional ou centralizado

Sistema de esgotamento centralizado é um método mundialmente utilizado, constituído pelo conjunto de operações destinados a coletar, transportar, tratar e destinar grandes volumes de águas residuárias, geralmente implantados em cidades que estão processo de urbanização e considerável densidade populacional. Devido ao grande volume de esgoto recebido neste tipo sistema, suas plantas exigem áreas maiores e a coleta do esgoto é realizada através de tubulações extensas e com grandes diâmetros, quando comparados a outros tipos de SES. Os sistemas convencionais geralmente são administrados pelo poder público ou em parcerias-público-privadas (PPP) como é o caso de Maceió. Essas PPP são importantes já que SES centralizados envolvem grandes investimentos financeiros para a sua implementação e manutenção e podem ter inviabilidade financeira para locais com baixa densidade populacional (ARAÚJO; SANTOS, 2022; BRZUSEK; WIDOMSKI; POMORSKA, 2022).

Ademais, outro ponto de complexidade é que a depender das características do esgoto e tipos de tratamentos (preliminar, primário e secundário) é necessário a complementação com um tratamento terciário e o tratamento da parte sólida do esgoto e sua disposição dos produtos gerados (LIU et al., 2022).

No caso de reúso das águas residuárias é necessária uma solução para transportar a água recuperada até os usuários gerando mais gastos. Na região metropolitana de São Paulo 4

---

grandes ETEs centralizadas foram projetadas e construídas para que o efluente tratado fosse destinado a água de reúso, evitando o transporte através de caminhões tornando uma solução insustentável economicamente e ambientalmente devido a queima de combustíveis fósseis dos veículos. A seguir alguns exemplos de tratamentos que podem ser utilizados em sistemas centralizados:

- Lodos ativados
- Lagoas aeradas
- Lagoa de decantação
- Reator biológico de leito móvel (MBBR)
- Reatores de membranas (MBR)
- Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB)

Diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, incluindo o Brasil, apostam em sistemas convencionais para resolver as equações da problemática do saneamento de grandes centros urbanos. O mesmo não pode ser dito para as zonas rurais, um estudo realizado em um assentamento no leste da Polônia avaliou aspectos socioeconômicos para implantação de um sistema centralizado (BRZUSEK; WIDOMSKI; POMORSKA, 2022). Foi realizada uma pesquisa de disposição para aceitar e para pagar pelo sistema centralizado, e sustentar a melhoria do saneamento da região, e apesar de ter um nível considerado de aceitação social para a sua implantação as análises financeiras indicaram baixo custo-eficiência pela implantação dos sistemas por gravidade e as taxas regionais de esgoto mostravam baixa rentabilidade. Estes autores consideraram inviável a instalação do sistema, mesmo avaliados positivamente quanto aos seus impactos ambientais, tendo em vista os altos valores de investimentos, onde só seria viável a implantação com o aumento significativo das tarifas de esgoto, limitando este tipo de projeto em pequenas comunidades rurais (BRZUSEK; WIDOMSKI; POMORSKA, 2022).

Quanto a capacidade e qualidade dos SES centralizados Ramkumara et al., (2022) realizaram estudos para avaliar o desempenho de sete grandes ETEs que tratam o esgoto gerado pela cidade de Nova Bombaim no estado indiano de Maharashtra. A pesquisa teve como procedimento metodológico a utilização dos índices de conformidade (IC) para avaliar os indicadores de desempenho dos testes de qualidade de parâmetros. Outra forma de avaliação das ETEs fora através dos índices de eficiência de remoção de parâmetros como

---

DBO, DQO, sólidos suspensos totais apresentando bons resultados, o mesmo ocorreu aos IC inferindo que todas as ETEs apresentaram bons desempenhos atendendo aos padrões da Navi Mumbai Municipal Corporation – NMMC (RAMKUMARA; JOTHIPRAKASH; PATIL, 2022).

### **3.6.2 Sistema alternativo ou descentralizado**

A implantação de um SES, de modo geral, envolve diversas variáveis, considerando que uma localidade não seja atendida por um sistema centralizado de esgotamento, uma alternativa relevante é a implementação de um sistema descentralizado para suprir a demanda local, estes podem ser de dois tipos: Local (*on site*) ou coletivo. Um SES alternativo nada mais é do que a implantação de uma ETE no local da demanda, apesar de ser uma opção flexível e economicamente mais viável que um sistema convencional, é necessário que cada caso receba uma avaliação técnica antes da implantação. Este tipo de sistema, apesar da eficiência considerável, sozinho não fornece o nível de tratamento adequado para a destinação final ambientalmente correta, podendo colocar em risco a saúde pública e o meio ambiente necessitando de um pós-tratamento.

Os tratamentos alternativos possuem diversas vantagens, uma delas é justamente a diminuição dos custos de uma grande construção e operação, além da exclusão da necessidade de implantação de extensas redes coletoras para plantas (ETEs) distantes, uma vez que os sistemas descentralizados são instalados diretamente nos locais onde existem demandas, além do fator economia nos gastos de energia, visto que são sistemas compactos.

A literatura aponta diversas opções de tecnologias de tratamento para os sistemas descentralizados, tais como *Wetland*, reatores UASB, sistemas de lodo ativado, lagoas de estabilização, filtros anaeróbios (MESQUITA et al., 2021).

Em diversos países em desenvolvimento, sistemas centralizados de tratamento de esgoto cobrem apenas uma parte das grandes cidades, e o saneamento de comunidades mais afastadas é frequentemente insuficiente em áreas densamente povoadas (KUMAR; TORTAJADA, 2020; ESTÉVEZ et al., 2022; GARRIDO-BASERBA et al., 2022). KUMAR et al., (2022 na busca de compreender as soluções alternativas de esgotamento quanto a sua viabilidade e eficiência e pela demanda existente para soluções rápidas de saneamento, realizaram um levantamento da experiência da Índia com de sistemas descentralizados com gerenciado da própria comunidade em grande escala. Segundo estes autores, há uma dificuldade em gerir o saneamento em locais com alta densidade como a Índia – 1,38 bilhões de habitantes –, entretanto os sistemas alternativos/descentralizados oferecem a possibilidade

---

de melhoria na qualidade do esgotamento sanitário de forma relativamente rápida e eficaz, locais estes que o estado ainda não consegue atender de forma centralizada e global (KUMAR; TORTAJADA, 2020).

Trazendo exemplos de sistemas descentralizados no ocidente, mais especificamente nos Estados Unidos, (EUA) Garrido-Baserba et al., (2022) avaliaram a viabilidade técnica e financeira de sistemas alternativos independentes combinado a coleta de água de chuva, produção de água potável, tratamento e coleta de águas residuais para seis tipos de edifícios desde unidades unifamiliares a arranha-céus. A avaliação feita por estes autores indicou a viabilidade tecnológica e financeira para os custos da implantação de sistemas descentralizados

indicando que os custos para construtores e moradores serão comparáveis ou inferiores aos dos sistemas centralizados (GARRIDO-BASERBA et al., 2022). Ocorre que, para Garrido-Baserba et al., (2022) as plantas descentralizadas permitiram uma redução drástica nos custos de descarte de esgoto e unidades de tratamento biológico (Reator biológico de membrana - MBRs, Reator Anaeróbio de Membrana - anMBRs e reatores anaeróbios de fluxo ascendente - UASB) e bombeamento do esgoto respondem pelos maiores custos operacionais e de capital quando comparados aos sistemas convencionais.

No cenário nacional, o tratamento que mais tem se destacado nos últimos anos no Brasil é o anaeróbio, devido as suas inúmeras vantagens de baixo custo, fácil operação e manutenção e simples construção. Todavia, mesmo como uma taxa de eficiência alta para remoção da matéria orgânica, o mesmo não acontece para a remoção de nutrientes (N e P) e remoção de microrganismos patogênicos, inviabilizando a disposição final dos efluentes tratados (PEREIRA, 2016).

### **3.7 Urbanização desordenada e seus impactos ambientais**

As projeções futuras apontam para um crescimento populacional acelerado para as próximas décadas, podendo o planeta terra chegar ao ano de 2050 com 9,7 bilhões de habitantes (ONU, 2019). Visto o aumento da população e expansão das cidades é necessário que haja um planejamento que defina as áreas que possam ser ocupadas de maneira sustentável para que não comprometa o meio ambiente e a qualidade de vida da sociedade, sendo este o papel do plano diretor de uma cidade. O plano diretor é uma importante ferramenta de desenvolvimento urbano que direciona para onde as cidades devem expandir, a sua elaboração é obrigatória para cidades maiores que 20 mil habitantes (BRASIL, 2001).

---

O panorama de uma expansão demográfica implica, conseqüentemente, no aumento da produção de águas residuárias nos centros urbanos, demandando a expansão dos sistemas de esgotamento sanitário e a construção de ETEs com maiores capacidades. Além disso, a aplicação de políticas públicas fiscalizadoras por parte dos órgãos ambientais locais, são utilizadas para que sejam cumpridas as exigências do Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA) para os lançamentos de efluentes nos mananciais e enquadramento dos corpos hídricos, com o intuito de preservar as bacias hidrográficas, a biodiversidade e a saúde da população (BRASIL, 2005, 2011).

Na tentativa de compreender o comportamento da expansão populacional e os impactos em uma bacia hidrográfica altamente afetada pelo crescimento da população, o Rio Camboriú localizada no litoral sul do Brasil, Silva & Schwingel, (2021) analisaram a variação espaço-temporal no uso do solo da bacia hidrográfica (BH) do Rio Camboriú, no período entre 1986 e 2017. Ademais, fora aplicado um protocolo de avaliação rápida de ambiente visando obter dados sobre os parâmetros complexidade de habitat, qualidade dos remansos, estabilidade dos barrancos, proteção dos barrancos, cobertura vegetal das margens e qualidade das margens. Os parâmetros verificados foram: substrato de fundo, complexidade do habitat, qualidade dos remansos, estabilidade dos barrancos, proteção vegetal dos barrancos, cobertura vegetal das margens, qualidade vegetal das margens e presença de mata ciliar (SILVA; SCHWINGEL, 2021). Constaram que as áreas naturais sofreram as maiores reduções no período entre 1986 e 1993 e apenas no ano de 2006 as áreas verdes voltaram a crescer em locais antes ocupados por pastagem e vegetação rasteira, quanto ao uso e ocupação do solo, contabilizaram crescimento de 156% no período avaliado, levando uma redução de 11% das áreas verdes (SILVA; SCHWINGEL, 2021).

MESSIAS (2020) ao analisar a expansão urbana brasileira, julga como notório que a maioria das cidades foram crescendo de forma não planejada e não articulada ao longo dos anos, desta forma, sem conseguir suprir as necessidades da população quanto aos serviços essenciais de saneamento como sistema de esgotamento sanitário, abastecimento de água, drenagem e limpeza urbana. Ao visitar países marcados pela segregação social e econômica é de fácil identificação ambientes que se formam através de anomalias urbanas como ocupações irregulares em encostas, expansão das favelas e a falta de saneamento básico nestes ambientes (MESSIAS, 2020). Os resultados do crescimento desordenado são em sua maioria devastadores e muitas vezes irreversíveis, podendo ser visualizados de maneira clara nos impactos ambientais causados nas cidades como, por exemplo, na problemática da poluição dos corpos hídricos urbanos e os impactos diretos nas BH (BEGA; OLIVEIRA; ALBERTIN,

---

2021; MARAÑÓN; MULGADO; RODRÍGUEZ, 2020; SILVA; SCHWINGEL, 2021; OLIVEIRA; RUFINO, 2021; MENEZES et al., 2016; CABRAL; REIS; JÚNIOR, 2013; SILVA; ALMEIDA; JUNIOR, 2010).

### **3.8 Rios urbanos e poluição hídrica**

A Lei 6.938/81 intitulada como Política Nacional do Meio Ambiente define que degradação da qualidade ambiental é a alteração das características físicas, químicas e biológicas do meio ambiente e a poluição como a degradação da qualidade ambiental resultantes de atividades que venham afetar a saúde ou bem-estar e a segurança da população, que atinjam maneira negativa a biota, assim como as condições sanitárias e estéticas do meio.

A poluição dos rios urbanos tem assolado o meio ambiente e a qualidade de vida da sociedade, desde a morte da biodiversidade, até prejuízos econômicos ao afetar o setor do turismo e a saúde da população são outros exemplos dos problemas causados pela falta de políticas públicas e prezem pela construção e manutenção dos serviços essenciais ao passo que as cidades se desenvolvam.

A população está em contato com os rios que cortam as cidades que fazem parte do seu dia a dia, desde o contato com a água para conseguir seu alimento e trabalho (pescadores), como na recreação de crianças que brincam descalças sem entender os riscos à saúde (MESSIAS, 2020; NASCIMENTO, 2008). Riscos estes, causados pelos microrganismos patogênicos causadores das doenças de veiculação hídrica como Hepatites A e E, Cólera, amebíases, gastroenterite e vírus, como estudos recentes comprovam a resistência do vírus SARS-CoV-2 no esgoto (DA SILVA et al., 2021; ARAÚJO et al., 2021; AHMED et al., 2020; SILVA; OLIVEIRA; LOPES, 2019).

De acordo com Braga et al. (2005) a poluição hídrica está associada a alterações físicas, químicas e biológica da composição da água, essas alterações podem ser de causa natural ou provocada pelo homem. Na visão de Pereira (2004) o conceito de poluição de um corpo hídrico de forma simplificada se dá pela adição de substâncias, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), que ocorrem naturalmente no carvão, petróleo ou gasolina ou de energia – como a combustão incompleta ou pirólise de matéria orgânica – em contato com a água altera as características físicas e químicas do recurso, que acaba impedindo a utilização para benefício próprio (CETESB, 2018). As principais fontes de emissão do HPAs no meio ambiente são as exaustões de veículos, fontes advindas de aquecimento industrial, queima de carvão petróleo e gás natural, onde em sua maioria estão em forma de vapor e entram em

---

contato com as partículas de ar precipitam chegando aos corpos hídricos trazendo esses contaminantes para o meio aquoso (CETESB, 2018).

Levando em consideração a complexidade da interação entre poluentes como HPAs e ambientes aquáticos torna-se necessário a avaliação do comportamento destes. Wang et al., (2021) analisaram em uma fonte de água potável nas áreas cársticas do sul da China, as características da poluição, análise da fonte, avaliação de risco ecológico e difusão de HPAs foram estudadas. Foi constatado a presença de HPAs no corpo hídrico em diferentes concentrações ao longo do leito, advindo de fontes como combustão de biomassa e de petróleo, onde apesar das concentrações terem diminuído de montante para jusante devido as descargas de poluentes e as propriedades físico-químicas, as concentrações de HPAs altamente cíclico foi aumentando gradualmente (WANG et al., 2021).

Tão importante quanto analisar compostos mais complexos como os HPAs é a avaliação dos níveis de substâncias como séries nitrogenada (NTK, Amônia, nitrito, nitrato), metais pesados e ácidos voláteis que em altas concentrações causam a poluição dos mananciais e a degradação da qualidade ambiental do meio. (ŚLÓSZARCZYK & WITKOWSKI, 2021) apontaram em sua pesquisa, através de análises físico-químicas, a presença de pesticidas (organofosforados e organoclorados) e outros compostos como nitratos em dois reservatórios de águas subterrâneas em Goczałkowice e Kozłowa Góra, ambos no sul da Polônia. Apesar da detecção das substâncias, os níveis encontrados estavam dentro do limite permitido, isto pode ocorrer devido as variações nas taxas de persistências e degradação dos pesticidas ao longo do manancial, logo é necessária a avaliação destes compostos uma vez que a presença destes em mananciais subterrâneos torna possível a suas transferências para aquíferos superficiais afetando biodiversidade do meio (ŚLÓSZARCZYK; WITKOWSKI, 2021). A presença de agrotóxicos nos reservatórios, pode ser justificada pela atividade agrícola e a aplicação de fertilizantes que ocorre na região próxima ao manancial e a presença de nitrato pela gestão inadequada de esgoto nas duas bacias.

Trazendo para um contexto mais próximo no nordeste brasileiro (ALVES et al., 2021), mais precisamente no Rio Capibaribe – responsável pelo abastecimento de 1,7 milhões habitantes e que recebe contribuição e efluente industrial, agrícola – avaliaram a ecotoxicidade na bacia. Foram analisadas as taxas de letalidade, frequência de anormalidade de desenvolvimento e atrasos no desenvolvimento larval embrionário quantificados pelo escore de morfologia geral (GMS), encontrando uma correlação entre este último e o índice de qualidade da água (IQA), sensibilidade à contaminação de esgoto doméstico e índice do estado trófico (ALVES et al., 2021). Ademais, (ALVES et al., 2021) também detectaram a presença

---

nas áreas rurais e urbanizadas a presença de HPAs contribuindo ainda mais para os níveis de toxicidade.

A problemática da poluição em corpos hídricos urbano, torna-se uma questão complexa devido as fontes poluidoras terem duas características distintas: cargas pontuais e difusas. De acordo com (PEREIRA et al., 2021) cargas pontuais apesar de serem mais fáceis de serem detectadas, uma vez que são lançamentos nos corpos d'água específicos como efluentes industriais, de ETEs ou até mesmo lançamentos irregulares de esgoto.

Por outro lado, a poluição difusa ocorre quando a carga chega aos mananciais de maneira aleatória por toda sua extensão fazendo que a identificação da origem poluidora seja difícil de ocorrer e tem relação direta com os eventos de precipitação, uma vez que ocorre devido ao arraste de material através do escoamento superficial (PEREIRA et al., 2021). Um exemplo de poluição difusa muito comum em algumas cidades brasileiras é a de lançamento de rede de drenagem urbana que recebem esgotos clandestinos e lançam por todo o corpo hídrico de forma indiscriminada e difusa (MARTINS, 2017; PEREIRA et al., 2021; SILVA; PORTO, 2015).

Na visão de (MARTINS, 2017; PEREIRA et al., 2021) corpos d'águas urbanos são intensamente impactados pelos diversos tipos de cargas difusas e pontuais ao longo da BH, o que reflete diretamente na qualidade dos mananciais e nos seus usos. No estudo realizado por (PEREIRA et al., 2021), apresentaram elementos de monitoramento da qualidade da água do Rio Pinheiros, nos últimos 10 anos, monitoramento o qual foi realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Além disso, avaliaram o uso de um sistema de biorretenção, que apresentou uma diminuição de 90% das cargas poluidoras advindas do escoamento superficial, sendo apresentada como uma solução ambiental eficiente a ser aplicada no rio Pinheiros com a finalidade de melhorar a qualidade da água e potencializar as funções ecológicas e hidrológicas de ambientes naturais, permitindo assim a recuperação da qualidade dos rios urbanos e devolvendo a sociedade estes ambientes (PEREIRA et al., 2021).

---

## 4 MUNICÍPIO DE MACEIÓ

No último censo (IBGE, 2010), Maceió possuía 932.748 habitantes, já dados mais atualizados através de estimativas indica uma população para 2020 de 1.031.597 habitantes, sendo o município mais populoso do estado de Alagoas (IBGE, 2020). Quanto à topografia da cidade, se apresenta de duas formas bem diferentes: a parcela baixa da cidade próxima ao mar com altitudes de 1 a 20 metros e a zona alta da cidade com altitude variando entre 20 e 180 metros (SILVA; FERREIRA, 2017).

### 4.1 Geomorfologia de Maceió

A morfologia geológica das cidades litorâneas no nordeste do Brasil é caracterizada por relevos de planícies interposto a corpos hídricos estuarinos e lagunares, geralmente conectados à ecossistemas de mangue, onde predominam sedimentos recentes fluviomarinhos e fluviomarinhos-lagunares acompanhado de extensos cordões arenosos e grande presença de recifes de arenito nas partes rasas das águas marinhas (SILVA; GILVONETE; FREITAS, 2013; SILVA; FERREIRA, 2017), como é o caso de Maceió, sendo que aqui ainda existe uma divisão geomorfológica definida entre Planície Costeira e Tabuleiros costeiros (Figura 9).

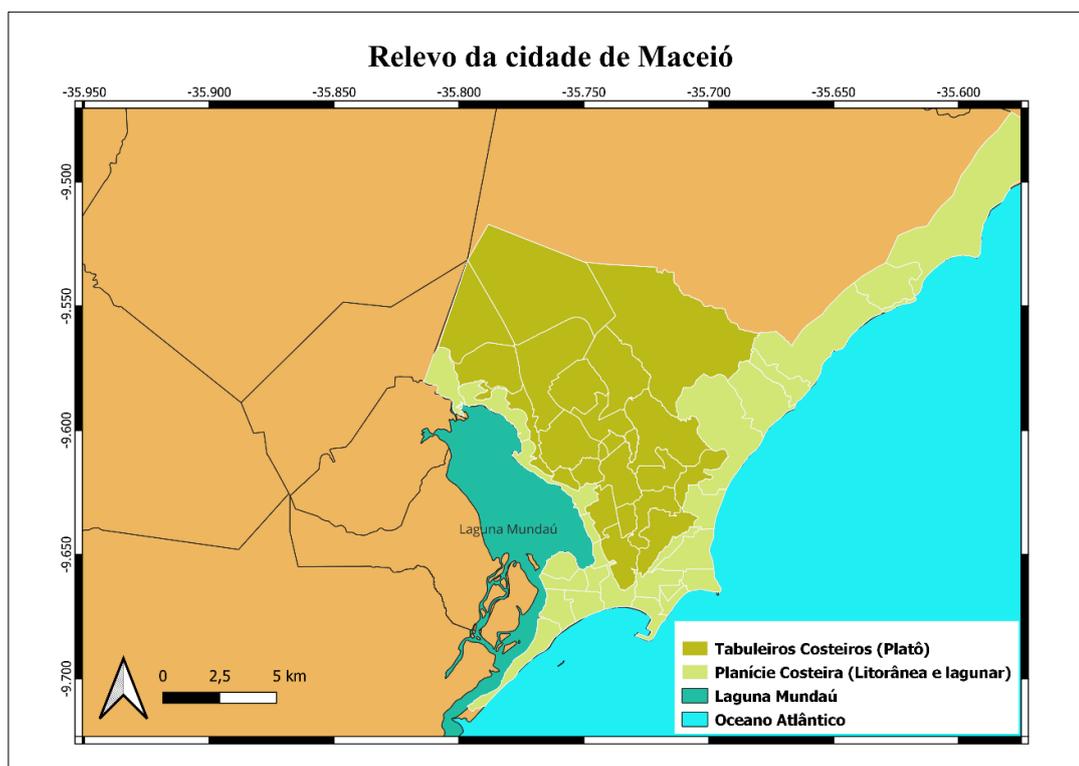


Figura 9 - Divisão geomorfológica de Maceió  
Fonte: Autor, 2022. adaptado (JAPIASSÚ, 2015)

Assim, além das planícies costeiras, em Maceió, existe um segundo elemento que também faz parte da geomorfologia de ambientes litorâneos, este denominado como tabuleiro costeiro (Platô), modelados geologicamente por sedimentos de argilas e arenito limitado por escarpas abruptas da formação Barreiras com altitude variando entre 45 e 100 m que fica entre os bairros da zona alta da cidade situados sobre tabuleiro costeiro e a zona baixa da cidade em planície costeira litorânea e lagunar (JAPIASSÚ, 2015; SILVA; GILVONETE; FREITAS, 2013).

Os tabuleiros presentes na cidade de Maceió representam a maior parte da malha urbana apresentando dois padrões de relevos constantes, sendo caracterizados pela densidade da drenagem e intensidade de dissecação ou rugosidade: Tabuleiros concentrados e tabuleiros dissecados. Já a planície costeira da cidade é composta por outros conjuntos de ambientes deposicionais holocênicos (idade recente) como planícies marinhas acompanhadas de vegetação de restinga acompanhando toda costa do atlântico; planícies fluviomarinhas, coberto de vegetação de mangue e as planícies de brejo encontradas próximo a foz do rio mundaú (CPRM, 2019).

As feições dos ambientes geomorfológicos nas quais Maceió está inserida, estão associadas, quase em sua grande maioria, a um contexto de encostas urbanas que ligam os tabuleiros a planícies e muitas vezes são construídos através de ocupações irregulares e pela população com baixa renda, sendo classificados como ambientes dinâmicos em constante mudança e devido a acentuadas declividades passíveis da ocorrência de desastres naturais (BISPO; MELO; TOUJAQUEZ, 2019; SILVA; FERREIRA, 2017; DOS SANTOS et al., 2014).

#### **4.2 Aspectos socioeconômicos**

De acordo com último censo realizado pelo IBGE em 2010 a cidade de Maceió possuía um índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,721. O IDH (índice de desenvolvimento humano) é baseado na oportunidade de uma sociedade ter vidas longas e saudáveis e é baseado em 3 pilares que são longevidade, educação e renda, sendo o IDHM a nível municipal e bairros e o IDH a nível estadual e nacional (PNUD; IPEA; FJP, 2015). Na Figura 10 é possível notar o crescimento em relação aos últimos censos demográficos.

---

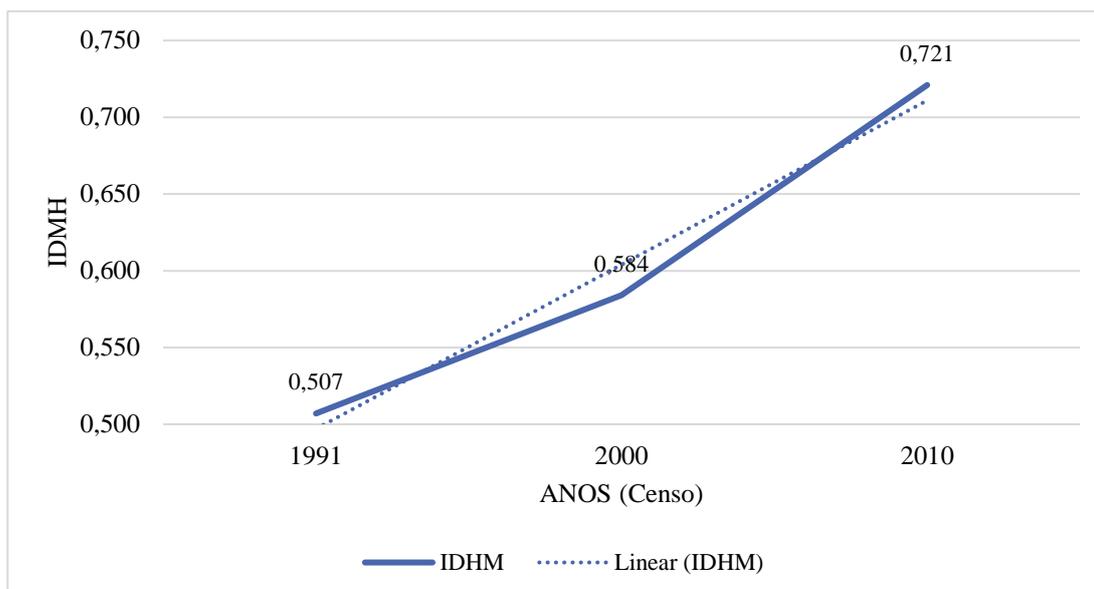


Figura 10 - Índice de desenvolvimento humano municipal IDHM de Maceió – AL  
Fonte: (IBGE, 2010)

A renda per capita é um dos pilares do IDH, e de acordo com IBGE (2010), Maceió possui um valor do rendimento nominal mediano mensal per capita dos domicílios particulares permanentes de R\$ 400,00, quando se fala em renda mensal de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento do trabalho principal o valor é de 1.268,8 reais. Quando a posição da ocupação é levada em consideração pessoas que trabalham de forma autônoma o ganham em valores médios R\$ 1.232,93, quanto aos empregadores R\$ 5.932,34 e em relação aos empregados R\$ 1.168,24 (Figura 11).

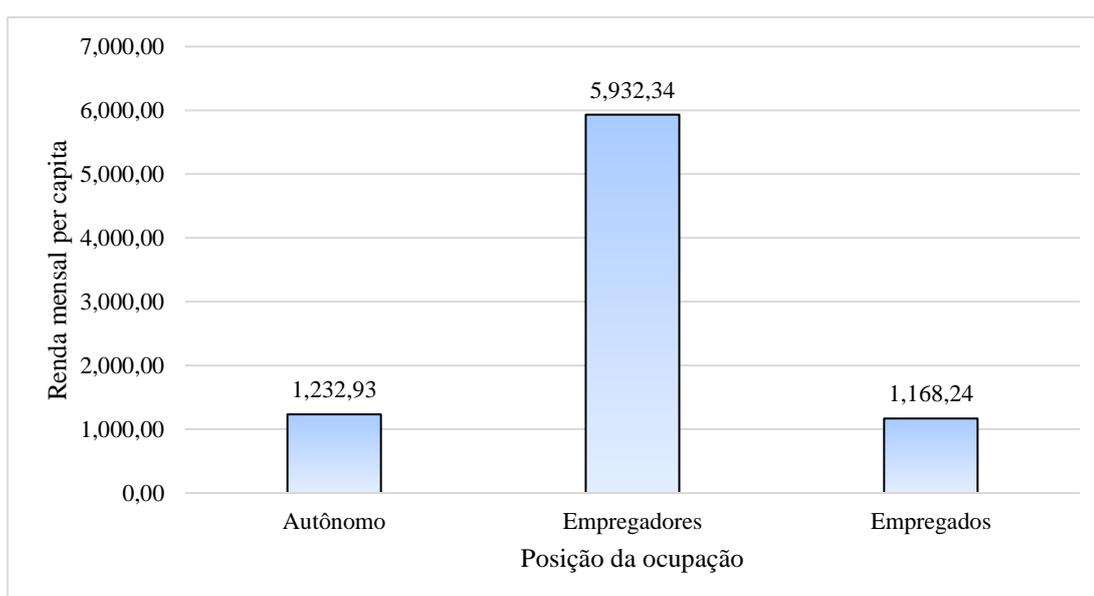


Figura 11 - Gráfico renda mensal média por posição de ocupação de Maceió – AL  
Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática –SIDRA (2010)

A partir de 2014 passou-se a calcular o IDHM em nível intramunicipal levando em consideração as UDH (Unidades de Desenvolvimento Humano, conceitos próximos de bairros). Nesse conceito a renda per capita média mensal máxima é de R\$ 4.432,46 e mínima de R\$ 214,18.

Com a finalidade de realizar uma análise mais específica no interior dos espaços intramunicipais de Maceió, foram levantados os IDHM e as rendas per capita de alguns bairros de interesse de Maceió.

#### **4.2.1 Bairro Cidade Universitária**

O bairro Cidade Universitária foi criado a partir da construção do hospital universitário da cidade utilizado como hospital escola para os alunos da Faculdade de Medicina (1950) e posteriormente da Universidade Federal de Alagoas (1961). Em 1970 o bairro recebe o nome de Cidade Universitária e se caracteriza por diversos conjuntos habitacionais como é o caso do Eustáquio Gomes, Tabuleiro do Martins, Vilagge Campestre, Inocoop, Graciliano Ramos, Loteamentos Jardim da Saúde e Simol.

O bairro possui uma densidade demográfica de 3.505,44 hab./Km<sup>2</sup> e está localizado na zona alta da cidade com uma população de 71.441 habitantes segundo o último censo (2010) a sua população possuía renda per capita média mínima de R\$ 325,74 e renda per capita máxima de R\$ 828,87 o que corrigido pela taxa Selic atualmente corresponde a R\$ 909,56 e R\$ 2.314,45, respectivamente. Quanto ao IDHM em 2010 da Cidade Universitária correspondia a um valor de 0,428 a 0,519 este último levando em consideração o indicador renda per capita.

Segundo o censo demográfico do IBGE (2010) as pesquisas foram realizadas com o salário-mínimo de referência de 2010 no valor de 510 reais em todos os casos (corrigidos pela taxa Selic atualmente corresponderia a R\$ 1.424,07).

A distribuição dos rendimentos nos bairros está plotada no gráfico da **Figura 12** e mostra uma enorme disparidade entre as pessoas mais ricas do bairro e mais pobre da região, onde apenas 153 pessoas recebem entre 10 e 30 salários-mínimos e apenas 13 recebe o valor máximo. Apesar de ser uma quantidade de salário bem acima da média do brasileiro, quando comparados a pessoas que recebem de ¼ a dois salários-mínimos é possível notar claramente diferença de classe econômica mesmo dentro do bairro. Em torno de 27.462 pessoas recebem nessa faixa salarial sendo 2167 pessoas vivendo com apenas R\$ 127,50, ou seja, 25% do salário-mínimo vigente em 2010.

---

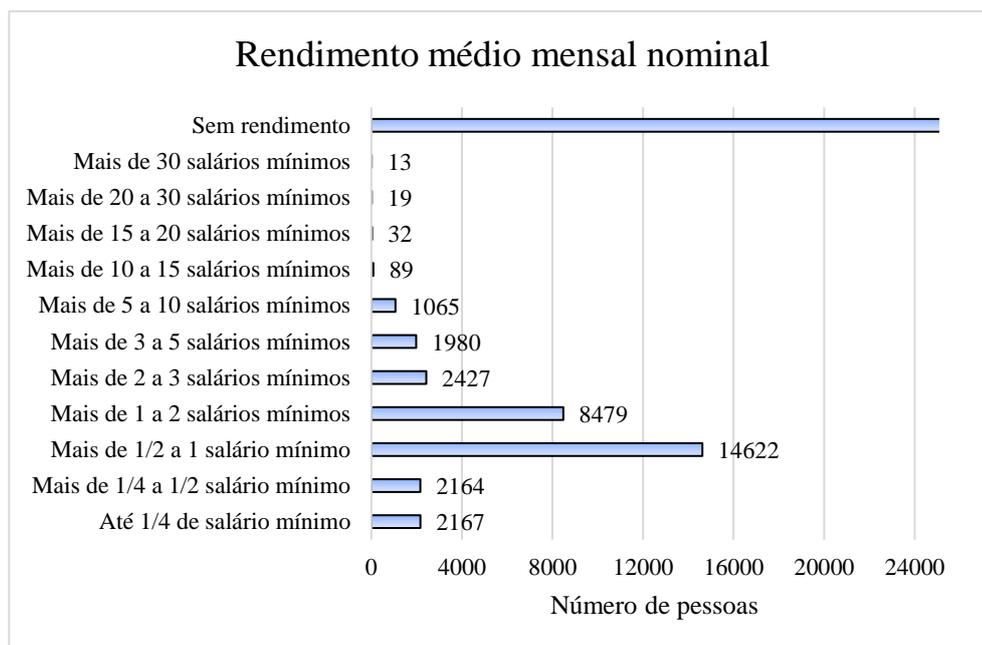


Figura 12 - Rendimento mensal per capita do bairro Cidade Universitária<sup>1</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.2 Bairro Benedito Bentes

O bairro Benedito Bentes foi criado a partir de um conjunto de mesmo nome sendo considerado um bairro para pessoas que não podiam morar em outras localidades da cidade de Maceió. O Benedito Bentes se limita ao norte com o município de Rio Largo, ao sul com Serraria e Jacarecica e ao Oeste com a Cidade Universitária e está localizado na zona alta da cidade, possui a maior área territorial em relação aos outros bairros 24.627 km<sup>2</sup> e perímetro urbano de 26.731,15 metros.

Com uma densidade demográfica de 3.557,74 hab./Km<sup>2</sup> e uma população de 88.084 habitantes de acordo com o IBGE (2010) tornando o bairro um dos mais populosos da cidade. Neste mesmo ano a entidade de pesquisa divulgou o IDHM do bairro que vai de 0,594 a 0,607 este último levando em consideração o indicador renda per capita. A renda per capita média mínima do bairro variou de R\$ 525,10 a renda média per capita máxima de R\$ 1245,09 onde estes valores corrigidos monetariamente pela taxa Selic são convertidos a R\$ 1466,23 e R\$ 3476,66, respectivamente. A distribuição dos rendimentos nos bairros está plotada no gráfico da **Figura 13**.

O gráfico mostra que dentro do Benedito Bentes, apenas 4 pessoas recebem acima de 30 salários-mínimos, 4 pessoas recebem entre 20 e 30 salários, quanto a maior parte da população residente no bairro recebe entre 2 salários e ¼, sendo este último um total de 3693 pessoas recebendo 25% de 510 reais. Algumas das amostras coletadas foram realizadas em

<sup>1</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

dois pontos dentro do bairro, na ETE centralizada SANAMA e no Conj. Parque Caetés.

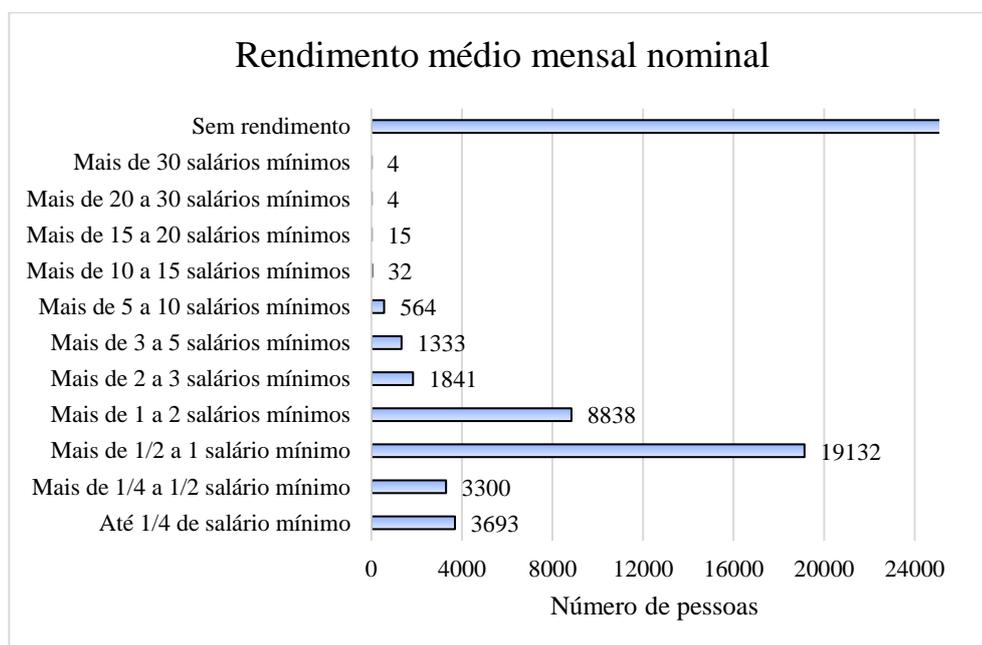


Figura 13 - Rendimento mensal per capita do bairro Benedito Bentes<sup>2</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.3 Bairro da Serraria

O bairro da Serraria foi criado através da Lei Municipal 4.953 em 06 de janeiro de 2000 compreende uma área de 7,55 km<sup>2</sup> possuindo uma população residente de 22.675 habitantes sendo ele o 13º bairro mais populoso. O bairro apresenta um IDHM que varia de 0,705 a 0,735, sendo este último obtido através do indicador de renda per capita. Quanto a média da renda per capita mínima do bairro vai de R\$ 1152,50 e a máxima corresponde a R\$ 2991,34.

A renda média mensal nominal do bairro da Serraria está representada no gráfico da **Figura 14** é possível observar que uma grande parte da população cerca 9.481 pessoas recebem entre 1 e 10 salários-mínimos, 604 pessoas recebem entre 10 e mais de 30 salários-mínimos se contrapondo as pessoas de que possuem baixas rendas sendo elas 3.228 pessoas que recebem entre ¼ e 1 salário-mínimo.

<sup>2</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

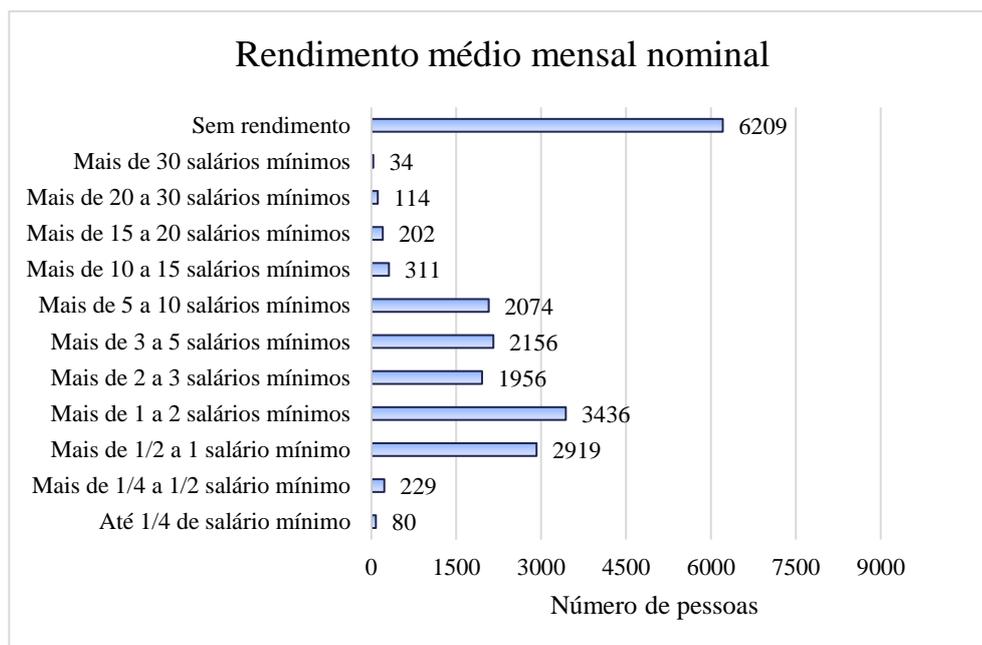


Figura 14 - Rendimento mensal per capita do bairro Serraria<sup>3</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.4 Bairro da Levada

O bairro da levada quando se trata de área é um dos menores bairros de Maceió, possui apenas 0,87 km<sup>2</sup> para abrigar 10.882 habitantes. O bairro ainda é considerado o maior centro de consumo de cereais e hortifrutigranjeiros, lá também está localizado o mercado da produção a feira livre e diversos camelôs. Margeado pela lagoa mundaú onde também serve de sustento para as famílias ribeirinhas que pescam peixes e moluscos para comercializar e se alimentar.

O IDMH da Levada não foi encontrado na base do site Atlas Brasil, porém foi encontrado o de dois bairros vizinhos e com características semelhantes que possuem o mesmo IDHM variando de 0,637 a 0,686, sendo este último obtido através do indicador de renda per capita. Quanto a renda per capita média mínima das famílias residentes no bairro é de R\$ 571,68 a R\$ 1.573.

A Figura 15 representa o gráfico do rendimento médio mensal nominal das pessoas que mora no bairro da levada. Os rendimentos que variam entre 10 salários e 30 salários-mínimos ficam para 0,27% dos habitantes do bairro e mais da metade 50,96% das pessoas recebem entre ¼ e 2 salários-mínimos. É possível identificar uma proporção maior de pessoas de baixa renda, comparadas as que recebem bons salários.

<sup>3</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

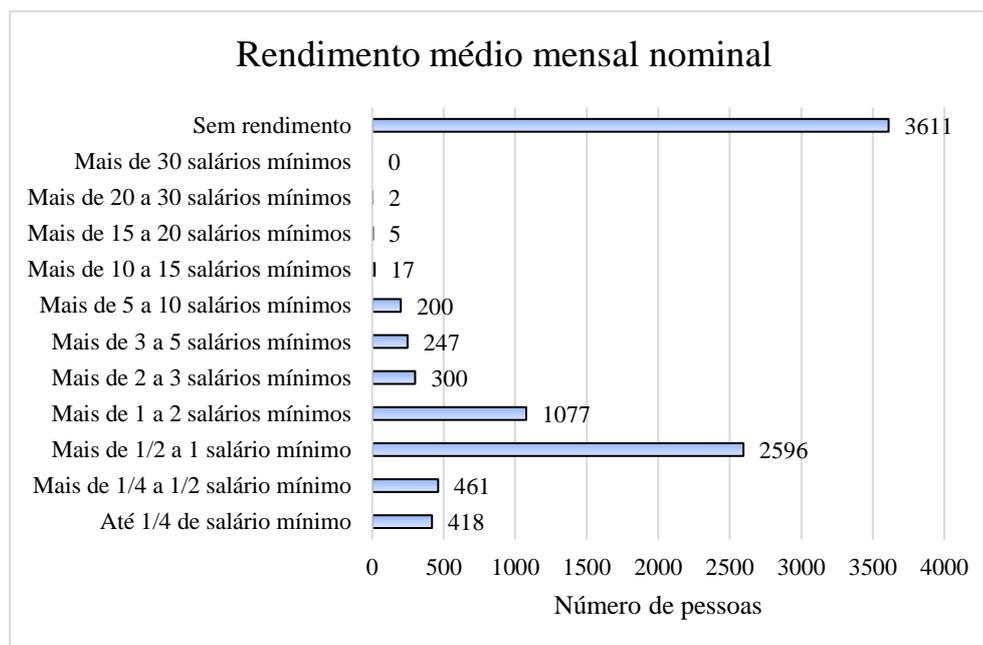


Figura 15 - Rendimento mensal per capita do bairro Levada<sup>4</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.5 Bairro do Prado

O bairro do prado é considerado um dos bairros mais tradicionais de Maceió, antigamente era ocupado em sua maioria por casas com o passar dos anos conjuntos de prédios foram construídos atraindo mais moradores para o bairro com, por exemplo, os edifícios Ômega, Antares, Vega e Maison Chateaubriand. O bairro tem uma área de 1,49km<sup>2</sup> e uma densidade populacional de 11.921,47 hab./km<sup>2</sup> e a população residente é de 17.763 de acordo com o IBGE (2010). Quanto ao seu IDHM o valor varia de 0,683 a 0,659, sendo este último obtido através do indicador de renda per capita. Quanto a renda per capita do bairro os valores variam de R\$ 483,97 a R\$ 1297,00.

A **Figura 16** apresenta o gráfico de renda média mensal do bairro do Prado onde é possível observar uma pequena parcela (1,22%) dos habitantes recebendo entre 10 e/ou mais de 30 salários-mínimos concentrando a maior parte da riqueza. A outra parcela da população, cerca de 44,84%, vive com menos de 2 salário-mínimo, sendo que destes 7,06% vivem com ¼ ou ½ ou seja entre 127 reais e 255 reais por mês e 17,9% de pessoas recebem entre 2 e 10 salários-mínimos e o restante 36,01% são de pessoas sem rendimento ou que recebem algum benefício.

<sup>4</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

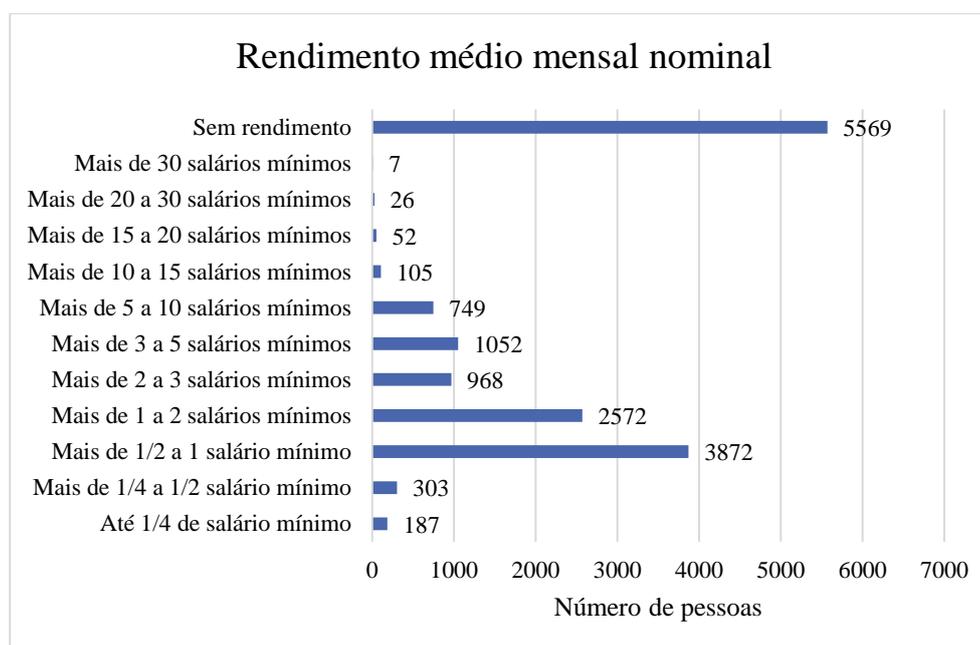


Figura 16 - Rendimento mensal per capita do bairro Prado<sup>5</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.6 Bairro da Ponta Verde e Pajuçara

Os bairros da Ponta Verde e Pajuçara são dois bairros vizinhos que compõem parte da orla marítima de Maceió, assim como vários bairros litorâneos pelo Brasil eles chamam atenção pela grande quantidade de prédios de luxo, lojas shoppings, clínicas médicas e empresariais. Esta parte da cidade já não tem espaço para crescer para os lados, a solução é o investimento na construção de prédios nos espaços que ainda restam para ocupação.

A Ponta verde e Pajuçara juntas possuem área de 1,38 e 6,56 km<sup>2</sup> e população de 24.402 e 3.711, respectivamente ocupados quase exclusivamente por famílias de classe média-alta e alto poder aquisitivo. O IDHM dos bairros varia de 0,898 a 0,981, este último sendo um indicativo calculado através da renda per capita média das pessoas, e o da Pajuçara entre 0,820 e 0,870, onde este último também foi cálculo através da renda per capita dos habitantes.

Estima-se que o rendimento per capto médio da Ponta verde esteja entre 4432,46 e 11.403,09 salários-mínimos o que convertido pela taxa Selic para a cotação atual seria R\$ 12.376,73 e R\$ 31.840,77, respectivamente. O Bairro da Pajuçara possui uma renda per capita média de R\$ 3235,92 a R\$ 10.198,72 o que na cotação atual seria um valor em torno de R\$ 9.035,64 e R\$ 28.477,81.

<sup>5</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

A **Figura 17** mostra que na Ponta Verde 21,5 % do total de pessoas entrevistadas recebem de 10 a mais de 30 salários-mínimos, claramente uma grande diferença quando comparados com outros locais da cidade, em contra partida neste bairro a maior parte das pessoas 37,57 % recebem entre recebem mais de 2 a 3 e mais de 10 a 15 salários mínimos, a menor parcela de pessoas recebem entre menos que 2 e 1 salário mínimo e até ¼, cerca de 6,62%, os outros 27% ficam a cargo dos declarados sem rendimentos e recebedores de benefício.

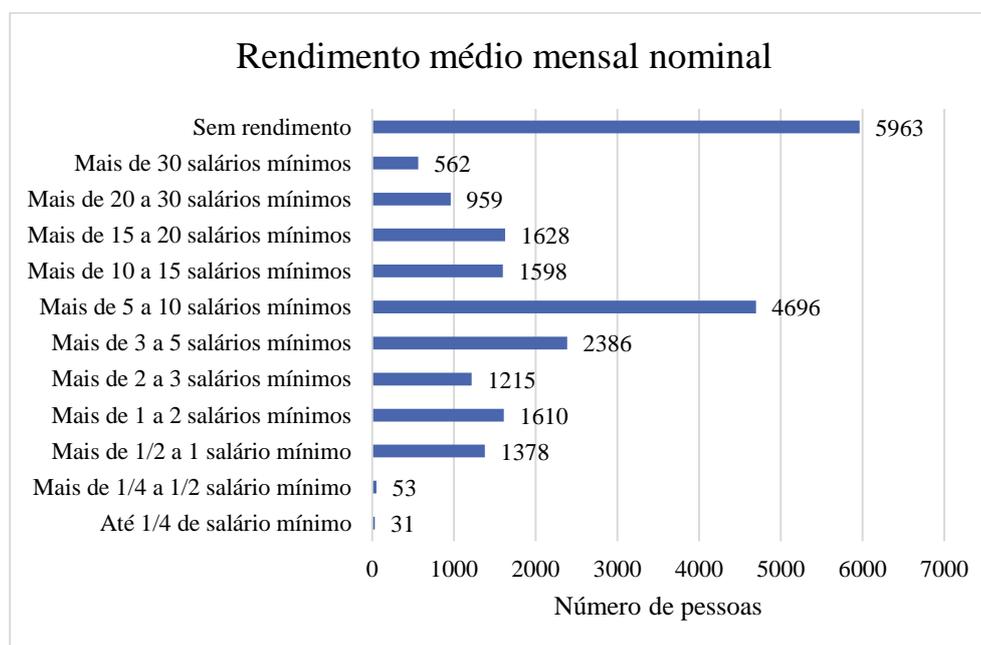


Figura 17 - Rendimento mensal per capita do bairro Ponta Verde<sup>6</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática –SIDRA (2010)

A **Figura 18** mostra que mesmo sendo bairros vizinhos e elitizados existem diferenças quanto aos rendimentos mensais recebidos pelas pessoas na Pajuçara e Ponta Verde. No bairro da Pajuçara 45,15% das pessoas recebem entre 2 e 10 salários-mínimos, os maiores rendimentos ficam com cerca de 10,06% e 15,71% são referentes as pessoas que recebem menos que 2 e ¼ de salário-mínimo, os 29% restante são referentes as pessoas sem rendimento e que recebem benefícios. Foram realizadas coletas na estação elevatória da Praça Lions que está localizada bem no limite dos dois bairros.

<sup>6</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

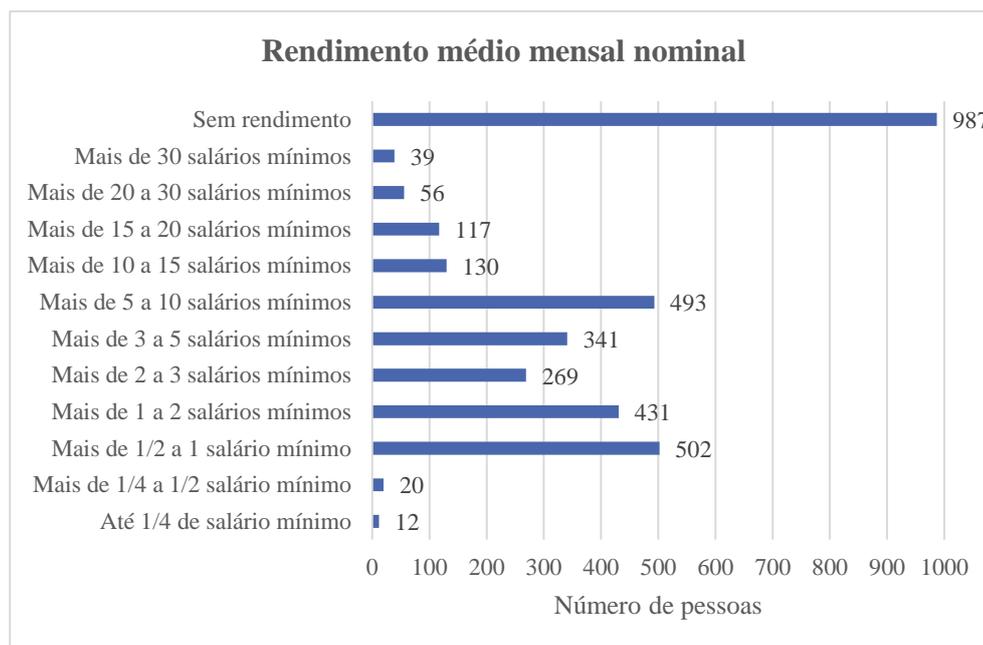


Figura 18 - Rendimento mensal per capita do bairro Pajuçara<sup>7</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

#### 4.2.7 Bairro da Jatiúca

Assim como os bairros da Pajuçara e Ponta Verde, o bairro da Jatiúca compõe o cenário da orla marítima da cidade, com uma área de 2,9 km<sup>2</sup> e uma população residente de 38.027 habitantes, entre os 3 estes é o mais populoso. O bairro também é conhecido pela grande quantidade de prédios, é uma área onde está localizado muitos restaurantes, clínicas médicas, galerias e um shopping. O IDHM da Jatiúca varia de 0,820 a 0,870, sendo este último calculado através do indicador renda per capita média da população. Quanto a renda média per capita da população varia de R\$ 2283,92 e R\$ 6458,13.

O rendimento médio mensal dos moradores do bairro da Jatiúca está exposto no gráfico da **Figura 19**. Analisando o gráfico se nota é possível observar que a maior parte da população do bairro recebe entre 2 e 10 salários-mínimos, cerca de 44,64%, enquanto a outra parcela esta dívida em quem recebe de menos de 1 a ¼ do salário (15%) e os detentores dos maiores rendimentos mensais, 8,57% enquanto as pessoas que estão sem rendimento ou recebendo algum benefício são 30,81% do total de pessoas entrevistadas

<sup>7</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

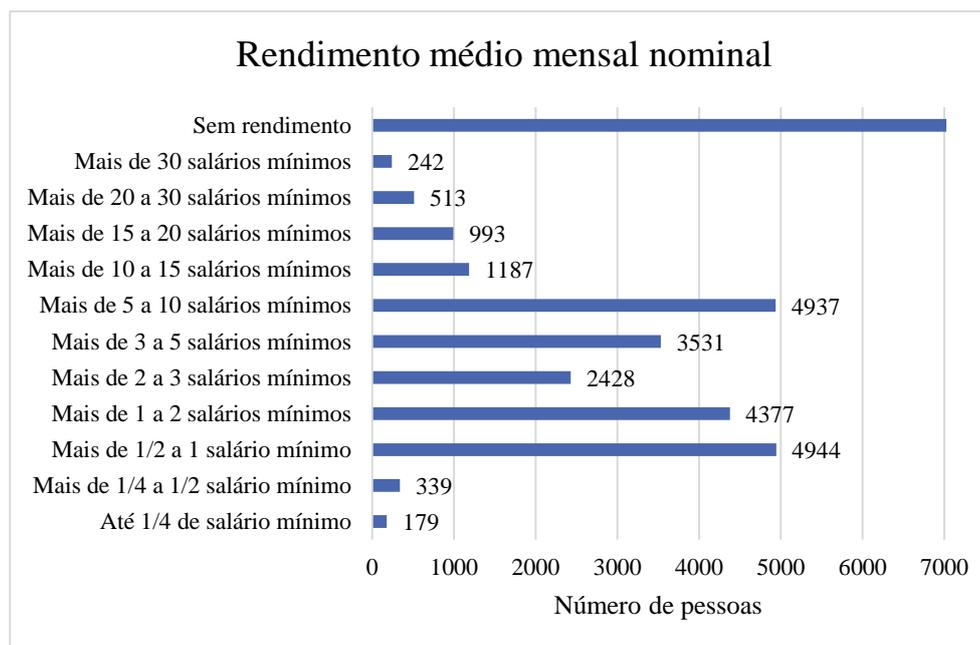


Figura 19 - Rendimento mensal per capita do bairro Pajuçara<sup>8</sup>  
 Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática –SIDRA (2010)

### 4.3 Bacias Hidrográficas de Maceió

A cidade de Maceió possui importantes regiões hidrográficas (RH) em seu território como, por exemplo, a RH do Pratagy e RH do CELMM (Tabela 4 e Figura 20). As RH abrangem uma série de outras pequenas bacias contíguas, cujo seus fluxos desaguam no oceano atlântico. De acordo com informações retiradas do site da Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do estado de Alagoas as bacias hidrográficas (BH) da região metropolitana de Maceió são: BH Riacho Reginaldo, BH Riacho do Silva, BH Rio Sapucaia, BH Rio Meirim, BH Rio Pratagy, BH Rio Jacarecica e BH Rio Mundaú.

Tabela 4 - Bacias Hidrográficas da região metropolitana de Maceió

Nº	Bacia Hidrográfica	Áreas (Km <sup>2</sup> )	Região Hidrográfica
1	Riacho Reginaldo	52,3	Pratagy
2	Riacho do Silva	33,5	CELMM*
3	Rio Sapucaia	218,2	Pratagy
4	Rio Meirim	264,7	Pratagy
5	Rio Pratagy	194,5	Pratagy
6	Rio Jacarecica	33,4	Pratagy
7	Rio Mundaú	1951**	Mundaú

Legenda: (\*) Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba. (\*\*) Área em território alagoano.  
 Fonte: Site da SEMARH-AL

<sup>8</sup> A categoria “Sem rendimento” inclui as pessoas que recebiam somente em benefícios.

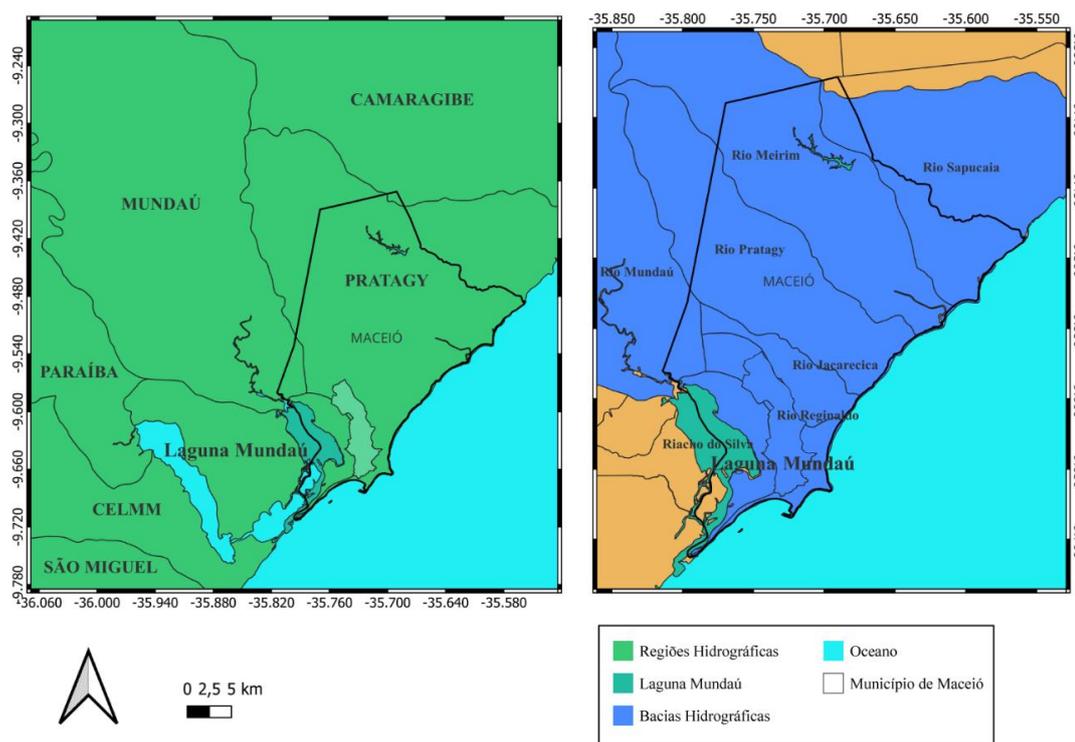


Figura 20 - Bacias Hidrográficas e Regiões Hidrográficas de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

Dentro de cada região hidrográfica existem unidades de BH, que por sua vez são compostas de sub bacias urbanas que drenam para rio principal e esta que drena para o exutório da bacia. As sub bacias urbanas escolhidas para o presente estudo foram: Sub bacia do canal da Levada que está localizada na BH de e RH do CELMM, no riacho principal do Reginaldo, em seu tributário a sub bacia do Pau D'Arco e no riacho das Águas Férreas.

#### 4.4 Bacia do Riacho Reginaldo

A BH do Reginaldo está localizada inteiramente dentro da área urbana da cidade de Maceió (**Figura 21**), o riacho principal - 15 km de extensão – corta a cidade pelo meio no sentido norte-sul -  $9^{\circ}40'12''$  e  $9^{\circ}32'57''$  de latitude sul, e  $35^{\circ}42'18''$  e  $45^{\circ}04'25''$  de longitude oeste -, sua nascente está localizada no bairro da Santa Lucia e sua foz está situada na praia da Avenida tangendo os bairros do Centro e Jaraguá (VIDAL, 2012). O riacho, popular conhecido como Salgadinho (**Figura 22**), possui um fluxo perene apesar da sua vazão nos períodos secos está atribuída a contribuição de esgoto doméstico dos bairros da capital, sendo em sua maior parte revestido com concreto armado e alvenaria (SILVA, 2014). Parte do vale do Reginaldo está situado em planície tabuleiro conservados sulcados por episódicos vales encaixados, além de apresentar encosta com muita declividade ( $20^{\circ}$  a  $35^{\circ}$ ) e amplitude de relevo variando entre 30 e 70 metros (CPRM, 2019).

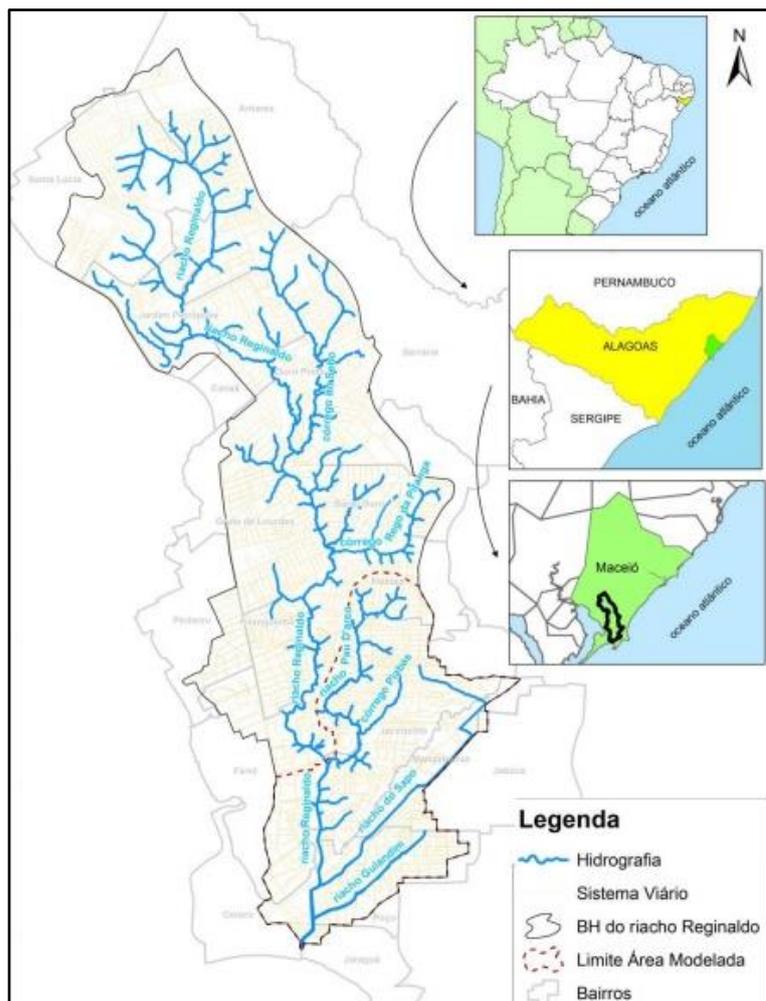


Figura 21 - Bacia do Reginaldo e seu afluente riacho Pau D'Árco  
Fonte: (VIDAL, 2012)

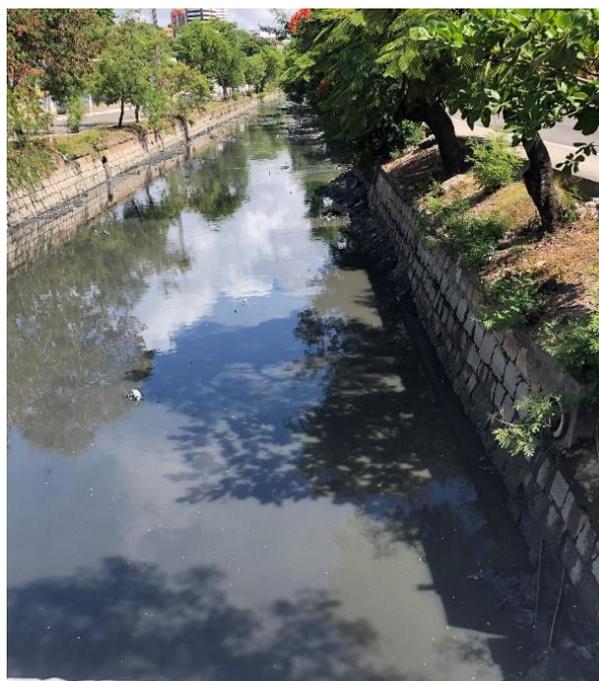


Figura 22 - Riacho Salgado (Trecho final do riacho Reginaldo)  
Fonte: Autor, 2022

A BH do Reginaldo drena uma área de 52,4 km<sup>2</sup> abrangendo um total de 18 bairros da capital alagoana: Santa Lúcia, Antares, Jardim Petrópolis, Ouro Preto, Canaã, Serraria, Gruta de Lourdes, Barro Duro, Feitosa, Jacintinho, Pinheiro, Pitanguinha, Farol, Mangabeiras, Jatiúca, Poço, Centro e Jaraguá (SILVA, 2014; VIDAL, 2012). O somatório populacional dos bairros drenados pela BH do Reginaldo é igual a 337.497 hab., representando 36 % da população total da cidade de Maceió, de acordo com o último censo demográfico, desta forma pode ser considerada como a bacia mais representativa da cidade, tanto em relação aos aspectos de urbanização, uso e ocupação quanto de infraestrutura e problemas socioambientais (IBGE, 2010; HOLTZ, 2010)).

A bacia principal do Reginaldo inclui outras 3 sub-bacias que desembocam na parte zona do Salgadinho e estão localizados à esquerda de sua margem, são elas: riacho Gulandim, riacho do Sapo e riacho Pau D'Arco (HOLTZ, 2010).

#### **4.4.1 Sub-bacia riacho Pau d'Arco**

A bacia do Pau d'Arco (**Figura 23**) sofre com uma intensa ocupação urbana, durante períodos de chuva se torna comum a ocorrência de inundações ao decorrer do canal, carreando sedimentos e esgoto bruto, lançados irregularmente no canal, para dentro das residências afetando diretamente a saúde da população. Os fenômenos de inundações ocorrem devido as ocupações irregulares em áreas de transição de planície para os tabuleiros (encostas), assim como nas Áreas de Proteção Permanente (APPs) próximas as margens dos riachos (VIDAL, 2012). A bacia em questão não é a maior em termos de área, porém possui a maior área de impermeabilização, onde a maior parte das casas são de alvenaria e a população de baixa renda (NEVES et al., 2007; VIDAL, 2012).

O riacho Pau D'Arco (**Figura 24**) é conhecido popularmente como canal do Jacintinho, apesar de estar no limite entre dois bairros: Na margem direita o bairro do Feitosa, e na margem esquerda o bairro do jacintinho. O canal do Jacintinho é o riacho principal da sub-bacia do Pau D' Arco, localizado no trecho intermediário da bacia do riacho Reginaldo, sendo um afluente desse riacho. A nascente do Pau D'Arco está na cota de 65 m e foz na cota 7 m percorrendo aproximadamente 3,8 km pelo bairro do Feitosa e Jacintinho, totalizando uma área de 2,74 km<sup>2</sup> (PIMENTEL, 2009). O bairro Jacintinho é considerado periferia e é o de maior densidade demográfica do município, com população superior a 87.000 habitantes (IBGE,2010).

---



Figura 23 - Trecho do riacho Pau D'Arco  
Fonte: Autor, 2022

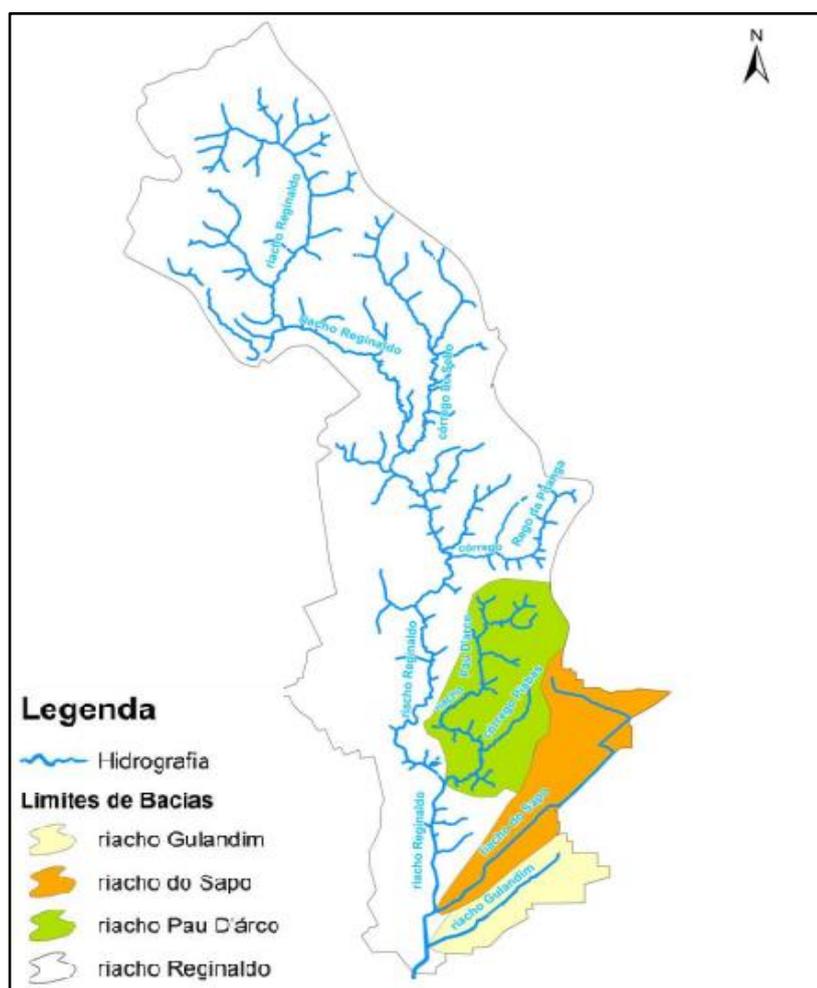


Figura 24 - Delimitação Riacho Pau D'Arco, Gulandim e Riacho do Sapo

---

Fonte: (VIDAL, 2012)

#### 4.5 **Bacia Hidrográfica da Levada**

O canal da Levada drena o escoamento superficial do bairro que recebe o mesmo nome, possui uma área de 0,87 km<sup>2</sup> e está inserido na bacia de drenagem Sudoeste Oceano Atlântico / Bacia Lagunar – inserida na RH do CELMM.

O bairro da levada, possui uma população de cerca de 11.000 habitantes segundo o IBGE (2010), e está localizado na região sudoeste da cidade de Maceió, possui uma relação histórica com a origem da cidade e já foi ponto turístico onde residiam pessoas de classe média. Com o passar do tempo, por ser uma área de mangue a beira da lagoa Mundaú, o bairro passou a atrair uma população de baixa renda, que levados pela pesca passaram a fixar moradia na área, mas sem condições e infraestrutura para tal, uma vez que o bairro sofre com constantes alagamentos, sujeira e mau cheiro advindo dos resíduos despejados irregularmente na laguna (MESSIAS, 2020). Hoje é um bairro em decadência, esquecido pelo governo municipal, mas que possui uma variação de atividades envolvendo comércio, moradia e feira livre que geram renda e movimentam a economia, inclusive com o mercado público, chamado de mercado da produção, um grande centro comercial (NASCIMENTO, 2008; TICIANELI, 2017).

#### 4.6 **Bacia Hidrográfica das águas Férreas**

O canal das Águas Férreas (**Figura 25**) é o curso d'água principal da bacia de mesmo nome, possui uma área de drenagem de 5,42 km<sup>2</sup> e um perímetro de 9,15 km desemboca na orla marítima de Cruz das Almas e drena parcialmente os bairros de Jacintinho, Feitosa, Cruz das Almas, Jacarecica e Sítio São Jorge. Limita-se a norte da BH do rio Jacarecica e a sul com a bacia de drenagem Sudeste e ao leste da bacia do Reginaldo (MACEIÓ, 2016).

Por estar inserida totalmente dentro da cidade de Maceió, a BH do ferro está totalmente comprometida pelo processo de urbanização, que aliado a falta de saneamento impactam a bacia que recebe uma grande quantidade de esgoto bruto lançado de forma irregular através de ligações clandestinas na rede de drenagem pela população residente da área.

A BH possui uma capacidade de drenagem alta em torno de 4,5 km/km<sup>2</sup>, desta forma subentende-se que a formação geológica da bacia é composta por material rochoso (está integralmente inserida na classe de Latossolos, ou seja, pouca infiltração possuindo uma área verde relativamente devido ao baixo índice de vegetação que tem como uma de suas funções desacelerar o escoamento superficial (ES) (SANTOS; SILVA, 2017).

---

Através de uma análise morfométrica da BH pelo método de Strahler de 1974, foi possível definir a bacia como de ordem 4, isto significa que o curso d'água possui muitas ramificações com um bom sistema de drenagem, uma vez que quanto mais ramificada uma bacia mais eficiente será seu sistema de drenagem (SANTOS; SILVA, 2017). Os métodos morfométricos tem como objetivo subsidiar o disciplinamento do uso e ocupação de um BH, uma vez que medidas de contingência para o controle do ES e da erosão do solo e proteção da vegetação tem importância substancial na preservação quanti-qualitativa dos corpos hídricos (SIQUEIRA et al., 2012).

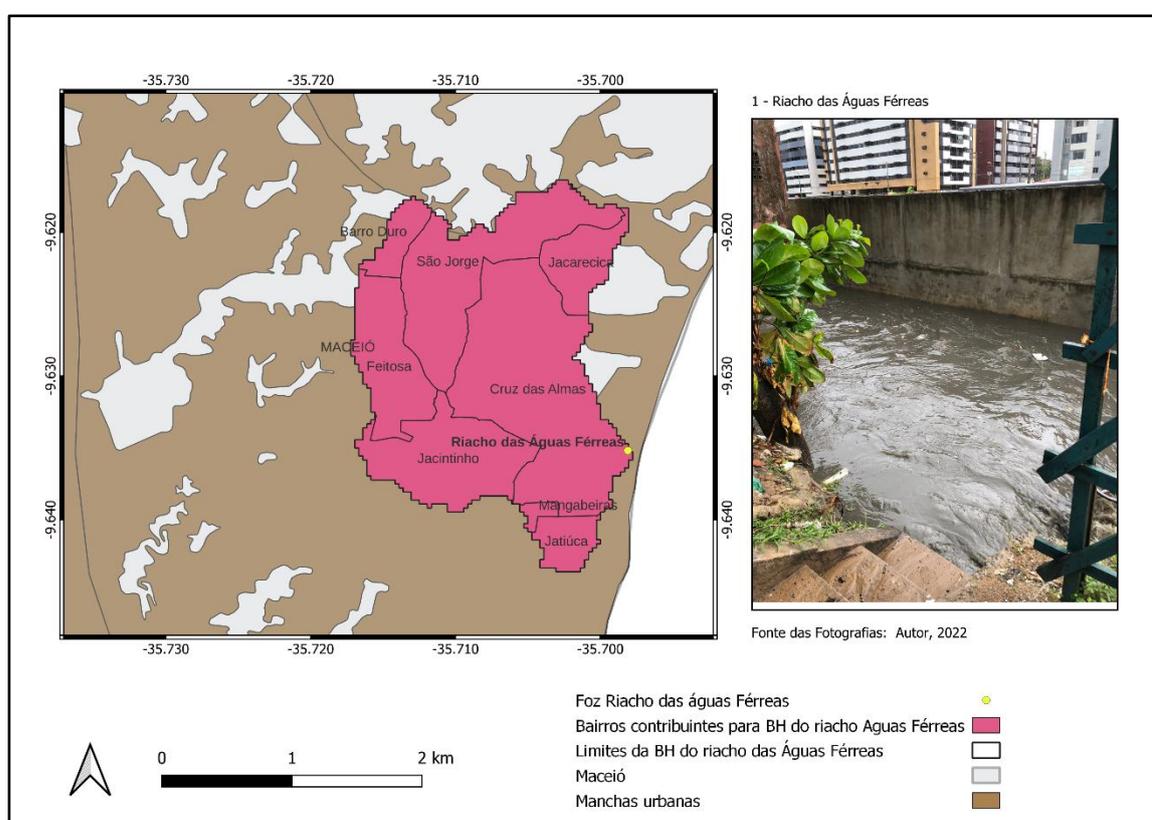


Figura 25 - BH Riacho das Águas Férreas

Fonte: Autor, 2022

#### 4.7 Bacia Hidrográfica do Riacho do Silva

A BH do Riacho do Silva (**Figura 26**) está inserida em sua totalidade na região urbana da capital alagoana, com coordenadas  $9^{\circ}34'54,2''$  a  $9^{\circ}37'43,8''$  de latitude sul e  $35^{\circ}44'17,5''$  a  $35^{\circ}46'30,8''$  de longitude oeste, totalizando uma área de 33,5 km<sup>2</sup> de área total, segundo informações retiradas no site da SEMARH e outros autores (SILVA, 2011; SALUSTIANO, 2018).

A BH em questão, faz limite com a bacia endorréica do Tabuleiro do Martins, ao leste da BH do Reginaldo e ao Oeste da Laguna Mundaú, recebendo contribuição total dos bairros Petrópolis, Santo Amaro e Chã da Jaqueira e parcialmente dos bairros Tabuleiro do Martins, Santa Amélia, Bebedouro, Gruta de Lourdes e Pinheiro totalizando uma população residente de 159.144 habitantes (IBGE, 2010; MACEIÓ, 2016; SALUSTIANO, 2018).

Dentro da Bacia existem 3 Área de Proteção Permanente (APPs): a primeira é um de seus afluentes o Riacho Cardoso denominada Reserva Florestal do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)-AL, a segunda é o Parque Municipal de Maceió (PQMM) e a terceira a laguna Mundaú (SALUSTIANO, 2018; SILVA, 2011).

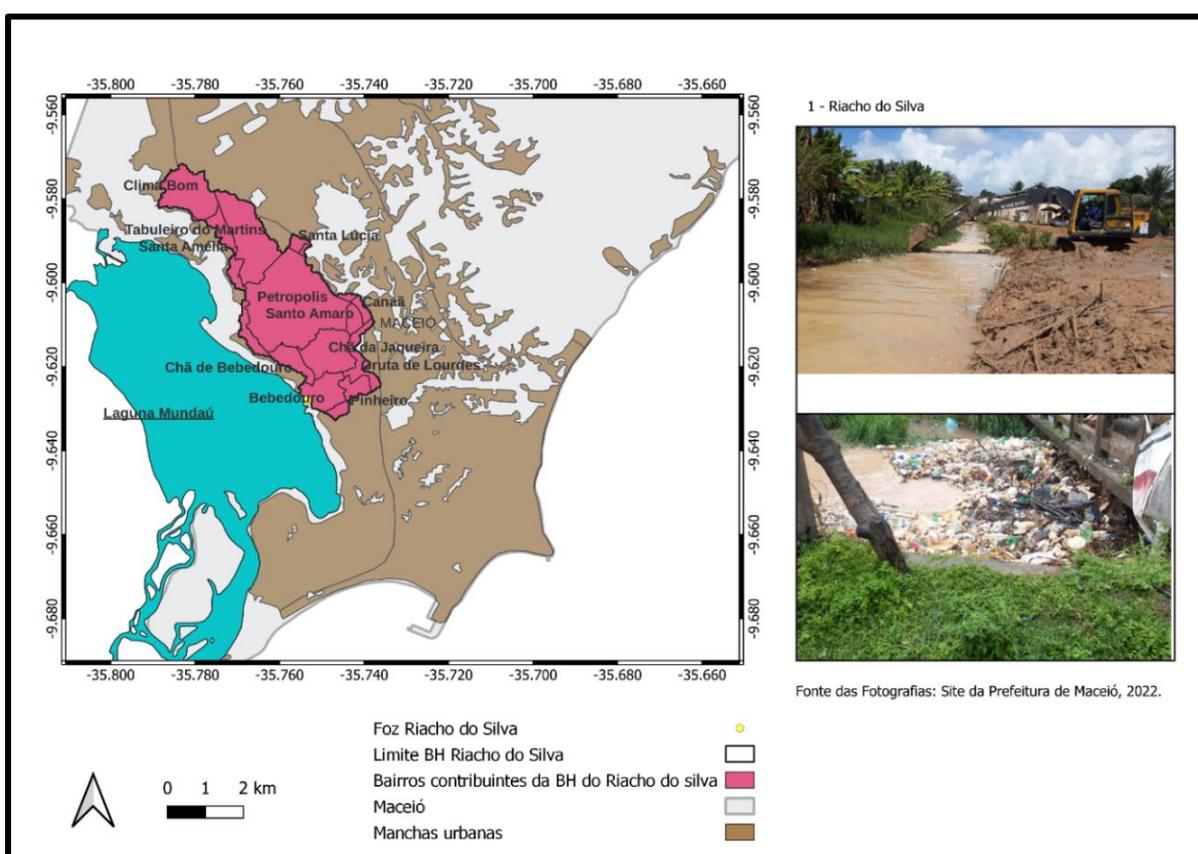


Figura 26 - BH Riacho do Silva

Fonte: Autor, 2022

A BH do Silva, possuía uma ocupação de 62% urbanizada, possuindo ainda uma parcela de 17% com fragmentos de florestas e 20% de área campestres, no que se diz respeito a preservação das APPs das margens do rio dos 1,72 km<sup>2</sup> 21,51% apresentam ações antrópicas urbanas, quanto as APP de nascentes dos 5,48 km<sup>2</sup>, 55,43% apresentam ocupações humanas (SILVA, 2011 apud ALMEIDA et al. 2010).

#### 4.8 Sistema de esgotamento sanitário de Maceió

O sistema público de esgotamento sanitário (SES) de Maceió começou a ser implantado no ano de 1950, pelo então Serviço de Água e Esgoto de Maceió (SAEM) através da construção dos primeiros coletores de esgoto. Essa implantação decorreu de um projeto elaborado pelo de Escritório Saturnino de Brito, o qual previa a divisão da cidade em 13 distritos sanitários, tendo sido construído o sistema que contemplava apenas 3 distritos (D1, D2 e D7 – bacia sudeste) e previa como destino dos esgotos, após tratamento, o oceano Atlântico.

Posteriormente, em 1970, com a formalização do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) e financiamento do Banco Nacional de Habitação (BNH), a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), reestudou a questão e elaborou o “Planejamento Geral dos Sistemas de Abastecimento d'Água e Esgoto Sanitário de Maceió”. Neste documento foram definidas as linhas gerais para o equacionamento do problema de esgotos, resultante de um confronto entre a oferta e a demanda, e a integração do sistema então existente com o planejado, fazendo algumas restrições em casos isolados.

Esse planejamento estabeleceu elementos básicos orientadores da concepção do sistema de esgotamento sanitário, levando em conta a distinção de três grandes bacias naturais de drenagem (SUDESTE área de 645 hectares, Reginaldo com 1.040 hectares e SUDOESTE com 1.400 hectares) e nove sub-bacias, como ilustrado nas **Figuras 27 e Figura 28**.

Desde então foram implantadas 52 km de redes coletoras na Bacia Sudoeste, além de construir diversos sistemas paralelos e alternativo por toda área urbana como por exemplo nos Conjuntos habitacionais José Tenório, Rui Palmeira, Conjunto Caetés no Benedito Bentes, Conjunto Maceió 1 no Eustáquio Gomes.

De acordo com dados do IBGE (2017) o SES de Maceió possui 161.370 economias esgotadas sendo destas 145.538 economias ativas e aproximadamente 867 km de rede coletora.

---



Figura 27 - Bacias naturais de esgotamento de Maceió  
Fonte: CASAL

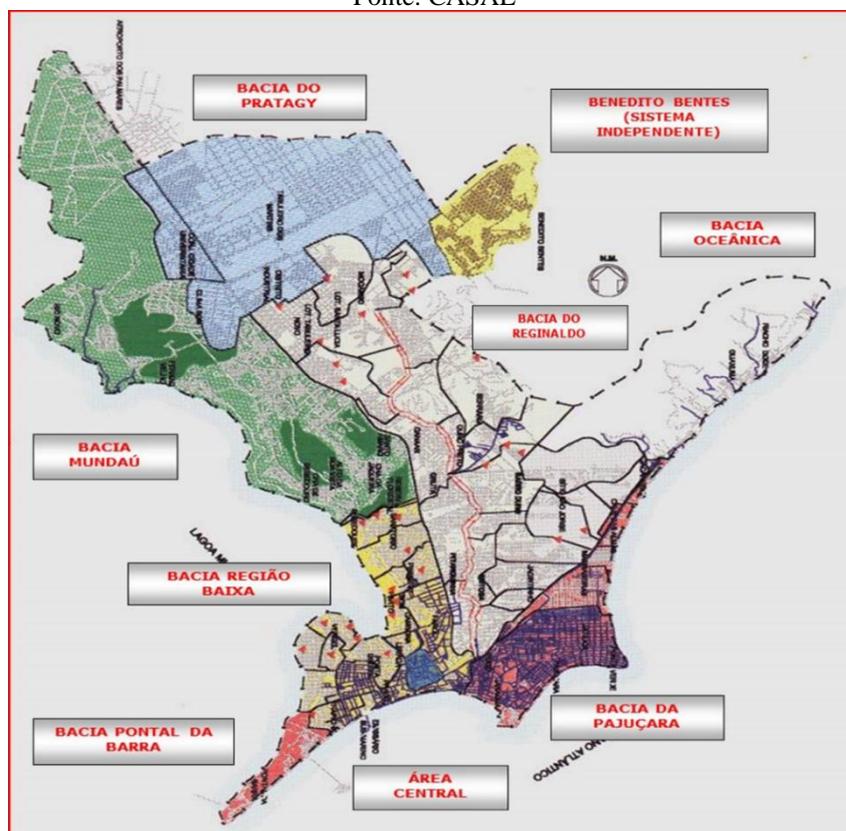


Figura 28 - Bacias de esgotamento de Maceió, planejamento em 1970  
Fonte: CASAL, 2010

#### 4.8.1 Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico (Pajuçara)

A bacia de drenagem sudeste ou bacia da Pajuçara possui 7,34 km<sup>2</sup> de área e drena todo o lado sudeste da capital, está inserida dentro da RH do Pratagy fazendo limite com as BH do Riacho Garça Torta, abrange a faixa costeira das praias da Avenida (acima da foz do Reginaldo) e está localizada totalmente dentro do município de Maceió nos bairros do Jaraguá, Jacintinho, Poço, Mangabeiras, Pajuçara, Ponta Verde, Cruz das Almas e Jacarecica envolvendo as sub-bacias apresentadas:

- Pajuçara
- Oceânica
- Bacia Litoral Norte de Maceió

Quanto a geomorfologia a bacia está totalmente situada sobre sedimentos de latossolo, a amplitude topográfica sofre uma variação equivalente a 65 metros iniciando em 0 metros (nível do mar), possuindo bairros com cotas de inundação que variam de 0 a 10 metros para alguns bairros e graus de declividade que vão de 0° a 10° equivalente a 91,73% da área total da BH (MACEIÓ, 2016).

Tabela 5 - Classes de uso e ocupação do solo na BH Águas Férreas

Classes	Área (ha)	Percentual
Área urbana	705,23	96,89
Solo exposto	12,43	1,70
Pastagem (área úmida)	4,19	0,57
Água	0,77	0,1
Cana-de-açúcar	5,18	0,71
<b>Total</b>	<b>727,82</b>	<b>100,00</b>

Fonte: MACEIÓ, 2016 apud PERH (2009)

#### 4.8.2 Bacia de Drenagem Sudoeste Oceano Atlântico (Bacia Lagunar)

A bacia de drenagem sudoeste abrange a faixa Lagunar do Mundaú, desde as cabeceiras ao norte da cidade, acima da região denominada Clima Bom, até a faixa costeira das praias do Pontal e Sobral, tendo como limite sudeste a Av. Durval de Góis Monteiro; envolvendo as seguintes sub-bacias apresentadas:

- Baixo Maceió
- Central
- Pontal da Barra
- Mundaú

Em sua totalidade, a bacia SUDOESTE abrange uma área de 1400 hectares com 11,29 km<sup>2</sup> de área drenando Maceió de nordeste a sudoeste nos bairros Mutange, Pinheiro,

Pitanguinha, Bom Parto, Farol, Levada, Centro, Prado, Trapiche da Barra, Ponta Grossa e Pontal da Barra (MACEIÓ, 2016; MENEZES et al., 2011). A bacia sudoeste envolve toda a costa lagunar desde a cabeceira no bairro do clima bom até a costa marítimas nas praias do Pontal e Sobral, abrangendo também, além do bairro da levada na zona baixa da cidade possui uma rede coletora com 80 km para interligar a área ao emissário submarino: Ponta Grossa, Prado e Trapiche da barra (MENEZES et al., 2011).

Apesar do planejamento de 1951 já ter o oceano como destino dos esgotos tratados de Maceió, somente em 1989 é que o emissário submarino foi inaugurado operando com vazão máxima de esgoto em  $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$  e média de  $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Todavia, atualmente o sistema de lançamento de efluente tratado opera com  $1,28 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 29).

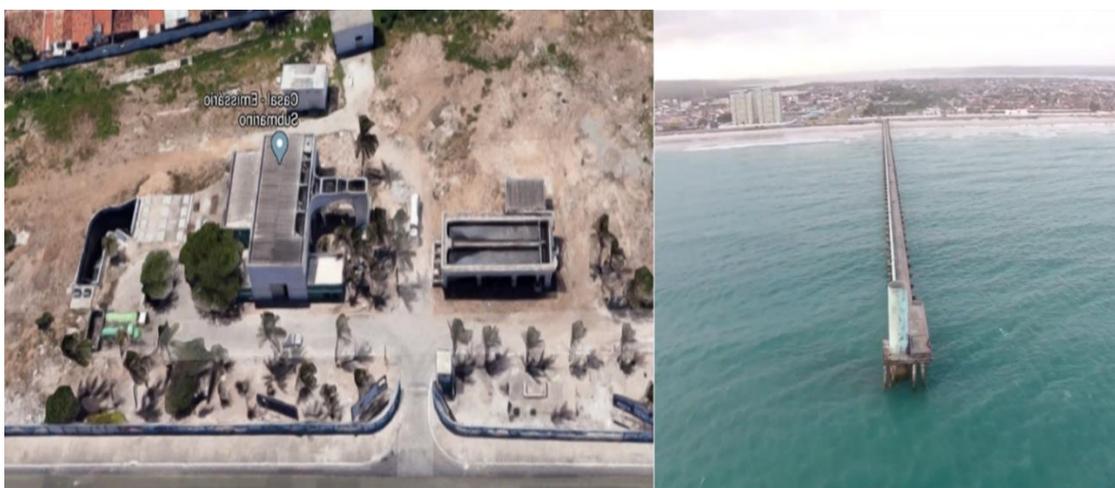


Figura 29 - ETE e emissário submarino de Maceió.  
Fonte: Google imagens

#### 4.8.3 Da origem a atualidade SES Maceió

Em 1991 a CASAL construiu um Plano Diretor o sistema de esgotamento sanitário para Maceió, o qual contemplava o núcleo urbano de Maceió contido nas três grandes bacias naturais de drenagem (bacia sudeste, bacia do Reginaldo, e bacia sudoeste) e encaminhamento dos efluentes sanitários até o emissário submarino. A exceção era a sub-bacia do Benedito Bentes que dispunha de sistema independente de esgotamento e tratamento por lagoa aeradas (Figura 30) com lançamento do efluente tratado na bacia do Riacho Doce, que está localizada no bairro de Riacho Doce, limita-se a norte e sul com os bairros de Ipioca e Garça Torta respectivamente.

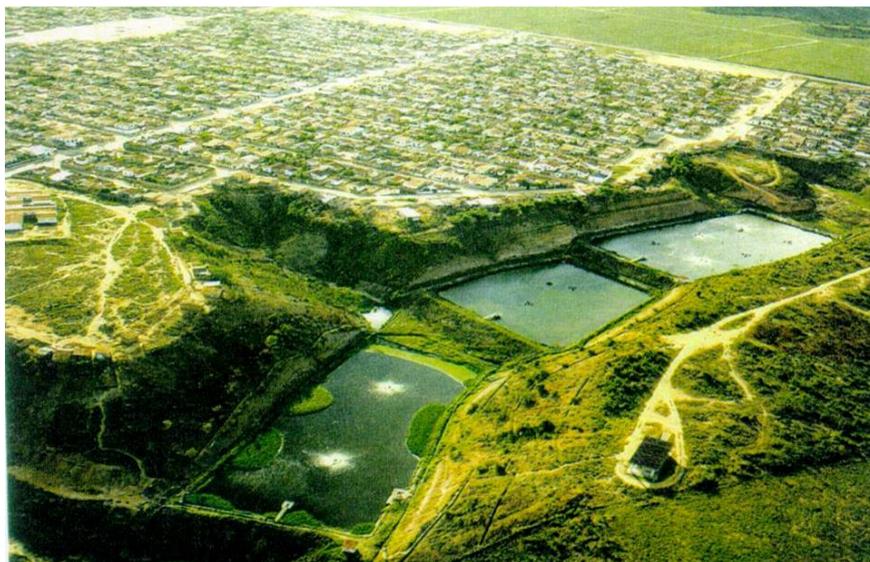


Figura 30 - Lagoas de aeradas do Benedito Bentes

Fonte: CASAL

A implantação das obras do SES foi dividida em 3 fases as quais denominaram-se de 1ª, 2ª e 3ª etapas (Figura 31). Com as obras da 1ª etapa seria implantado o esgotamento sanitário de toda a área litorânea de Maceió, eliminado substancialmente os lançamentos de esgotos na no complexo estuarino lagunar (lagoa Mundaú), e a 2ª etapa deveria ter seu início logo após o término da 1ª etapa. Já a 3ª etapa, seria implantada conforme a evolução do adensamento populacional da área. No entanto a implantação do SES não acompanhou o ritmo do planejamento de 1991, a primeira etapa teve início, mas não foi completamente executada.

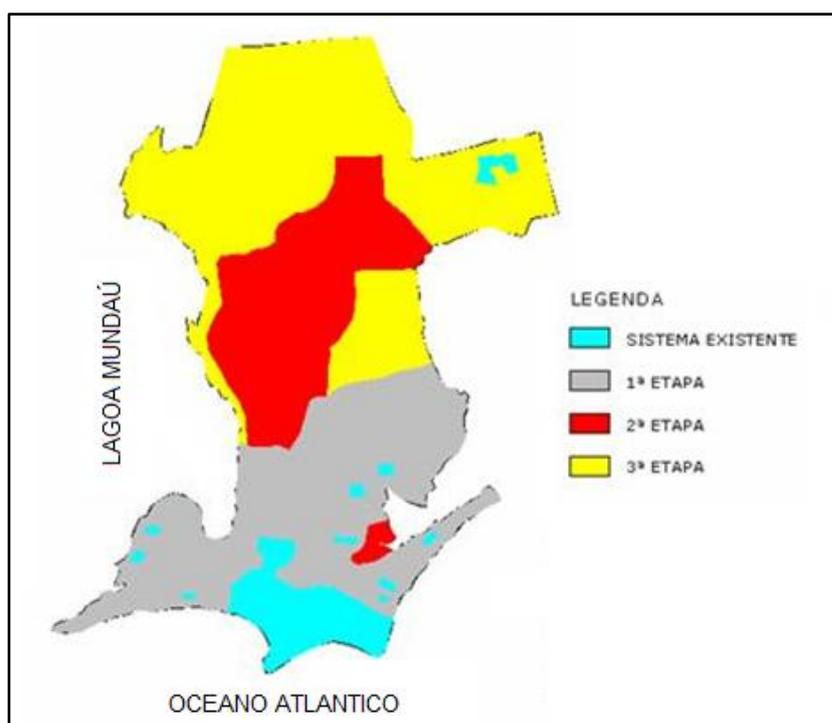


Figura 31 - Etapas de implantação do SES Maceió planejado em 1991.

Fonte: CASAL



Em dezembro de 2013 a CASAL assina o contrato de locação de ativos com a SANEMA (Saneamento de Maceió LTDA) e em dezembro de 2014 a CASAL assina o contrato da PPP denominado Saneamento Alta Maceió (SANAMA).

A PPP da SANAMA beneficia os bairros do Tabuleiro dos Martins, Benedito Bentes, Clima Bom, Colina dos Eucaliptos, Santa Lúcia e Cidade Universitária, atendendo a uma população de 160 mil habitantes. Em 2019 a ETE, com capacidade para tratar 180 L/s na primeira fase e 360 L/s na segunda fase, utilizando a tecnologia de lodos ativados com MBBR (Figura 33), foi inaugurada substituindo as antigas lagoas do Benedito Bentes, e entrou em operação tratando os esgotos coletados pela rede existente na região, devendo a expansão da rede executada ao longo do tempo.



Figura 33 - ETE Benedito Bentes operada pela SANAMA

Fonte: <http://www.sanama.com.br/esgotamento-sanitario>

A locação de ativos da SANEMA beneficia os bairros do Farol, Pitanguinha, Pinheiro, Gruta de Lourdes, Santo Amaro, Canaã, Ouro Preto e Jardim Petrópolis, atendendo a uma população de 130 mil habitantes. A sua ETE também utiliza a tecnologia de lodos ativados com MBBR (Figura 34) com capacidade para tratar 238 L/s, foi concluída em 2021, mas ainda não entrou em operação, visto que as elevatórias de esgoto do sistema ainda não estão prontas.



Figura 34 - ETE Caçadores (SANEMA operada pela COSANA)

Fonte: <https://www.conasa.com/unidades/unidade/sanema>

Por muito tempo se especulava a privatização do Sistema de Esgotamento Sanitário do estado de Alagoas, então no ano de 2020 através de leilão realizado pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL –, o grupo BRK Ambiental venceu a licitação dos serviços de distribuição de água e esgotamento sanitário com a proposta no valor de 2 bilhões de reais, com a responsabilidade de investir um total de 2,6 bilhões na infraestrutura do saneamento básico dentro período de concessão de 35 anos, sendo 2 bilhões ainda nos primeiros 6 anos.

A nova modelagem do SES de Alagoas o estado foi dividido em blocos (A, B e C) onde este primeiro bloco A licitado abrange o serviço de água e esgoto de 13 municípios da região metropolitana, um total de 1,5 milhão de habitantes, são eles: Barra de São Miguel, Coqueiro Seco, Maceió, Messias, Murici, Paripueira, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte e Satuba, antes operados pela CASAL, além dos municípios de Atalaia, Barra de Santo Antônio e Marechal Deodoro operados por autarquias municipais (SAAEs). Com relação aos blocos B (Unidade Regional Agreste Sertão) e C (Unidade Regional Zona da Mata) foram a leilão no dia 13 de dezembro de 2021, tendo como vencedores os consórcios Alagoas, da empresa Allonda, e Mundaú, da empresa Cymi, respectivamente. As companhias apresentaram propostas comerciais de outorga no total de R\$ 1,645 bilhão com duração de contrato de 35 anos (GANDRA, 2021)

Apesar do serviço de esgotamento ser de responsabilidade da BRK, a CASAL ainda será responsável pela produção da água fornecida a população que irá vender a água tratada para BRK realizar a sua distribuição, com exceção dos 3 municípios antes de responsabilidade

dos SAAEs o próprio grupo BRK será responsável pela produção da água de abastecimento público. Quanto a coleta e tratamento de esgoto sanitário a BRK será responsável pelos serviços nos 13 municípios da região metropolitana.

Como a PPP de responsabilidade a SANAMA, para construir e operar um sistema de esgotamento sanitário para 300 mil pessoas residentes da Zona Alta de Maceió dentro de um prazo de 30 anos, já existia antes do leilão, a BRK só assumirá este bloco após vencido o prazo. Já a com relação ao contrato firmado com a SANEMA, para a instalação de um sistema de rede coletora e tratamento de esgoto para oito bairros localizados na Zona Alta de Maceió, como se trata de uma locação de ativos, a BRK já assumiu a operação dessa região.

Quadro 1 - Divisão dos Blocos do Programa Saneamento do Estado de Alagoas

<b>Operadoras</b>	<b>Blocos</b>	<b>Municípios</b>	<b>Valor do leilão</b>	<b>Vencimento da outorga</b>
<b>BRK</b>	<b>Bloco A</b>	<b>Região Metropolitana de Maceió (13 municípios)</b>	<b>2 bilhões</b>	<b>35 anos</b>
<b>Alonda</b>	<b>Bloco B</b>	<b>Unidade Regional Agreste Sertão de Alagoas</b>	<b>1,215 bilhão</b>	<b>35 anos</b>
<b>Mundaú (Cymi)</b>	<b>Bloco C</b>	<b>Unidade Regional Zona da Mata e litoral Alagoano</b>	<b>430 milhões</b>	<b>35 anos</b>

Fonte: Site Agência Brasil <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-12/leilao-de-dois-blocos-de-saneamento-de-alagoas-arrecada-r-16-bilhao>

Essa iniciativa teve apoio Governo do Estado de Alagoas, na tentativa de impulsionar e garantir a universalização do acesso dos serviços de água e esgoto – nas regiões cobertas pelo contrato da CASAL – no período de 6 e 16 anos, respectivamente. Atualmente, na região metropolitana apenas 89% têm acesso a água e 27% contam seu esgoto tratado.

Por muito tempo a grande concentração da rede coletora da cidade (Figura 35) estava localizada na zona baixa da cidade em bairros da faixa litorânea e com uma população com maior poder social e econômico como, por exemplo, os bairros Ponta Verde, Pajuçara, Jatiúca, Mangabeiras, Cruz das Almas e Jacarecica, passando ainda na principal rua da Praia da Avenida adentrando em uma parte do bairro Farol e centro da cidade. o bairro do Benedito Bentes, que já foi concebido com rede e tratamento de esgotos, tendo uma menor presença na bacia lagunar Sudoeste nos bairros que margeiam a orla lagunar e a laguna Mundaú (RODRIGUES et al., 2013). Atualmente, com a implantação das áreas da SANAMA e SANEMA, a cidade de Maceió passou a ter 50,58% do seu esgoto coletado, com 100% das águas residuárias coletadas sendo tratadas (SNIS, 2021).

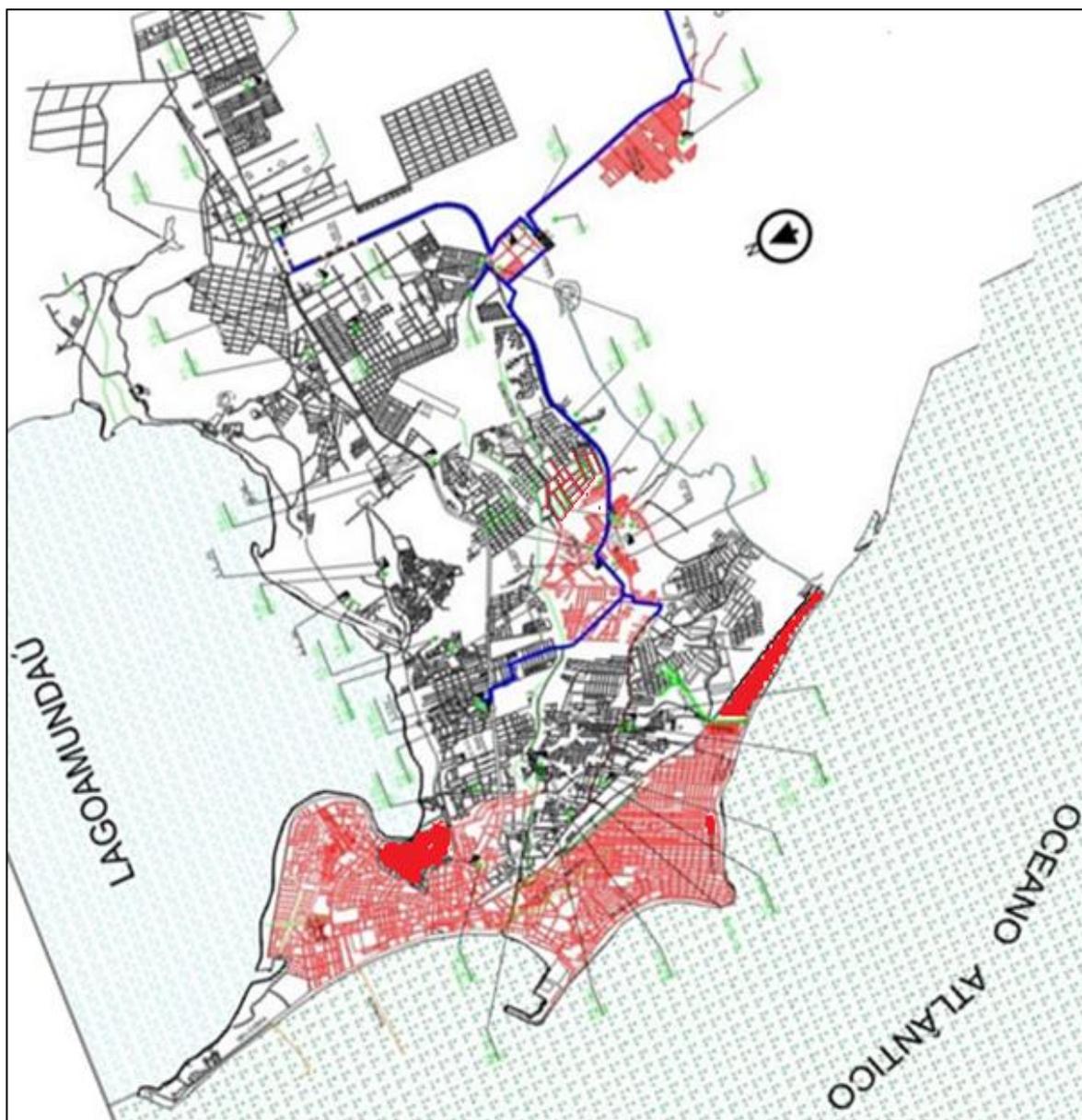


Figura 35 - Mapa das áreas com esgotamento sanitário em Maceió.

Fonte: Adaptado de CASAL

Legenda: Area vermelha = zona baixa da cidade

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a área de estudo, assim como os pontos de amostragem selecionados para representar as regiões que são objetos de estudo do presente trabalho, a frequência e tipos de análises realizadas e o tratamento que foram dados aos dados levantados. Será relatado todo trabalho realizado em campo, assim como os procedimentos necessários para obtenção dos resultados.

### 5.1 Área de estudo

A área de estudo é o município de Maceió capital do estado de Alagoas (Figura 36), que ocupa uma área de 509,320 km<sup>2</sup> de extensão territorial, o que leva a ser um dos municípios com maior extensão territorial de Alagoas e densidade demográfica de 1.854,10 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). no ano de 2010 de acordo com o censo a capital alagoana possuía 932.748 habitantes e atualmente possui uma população de 1.031.597 de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010; 2021)

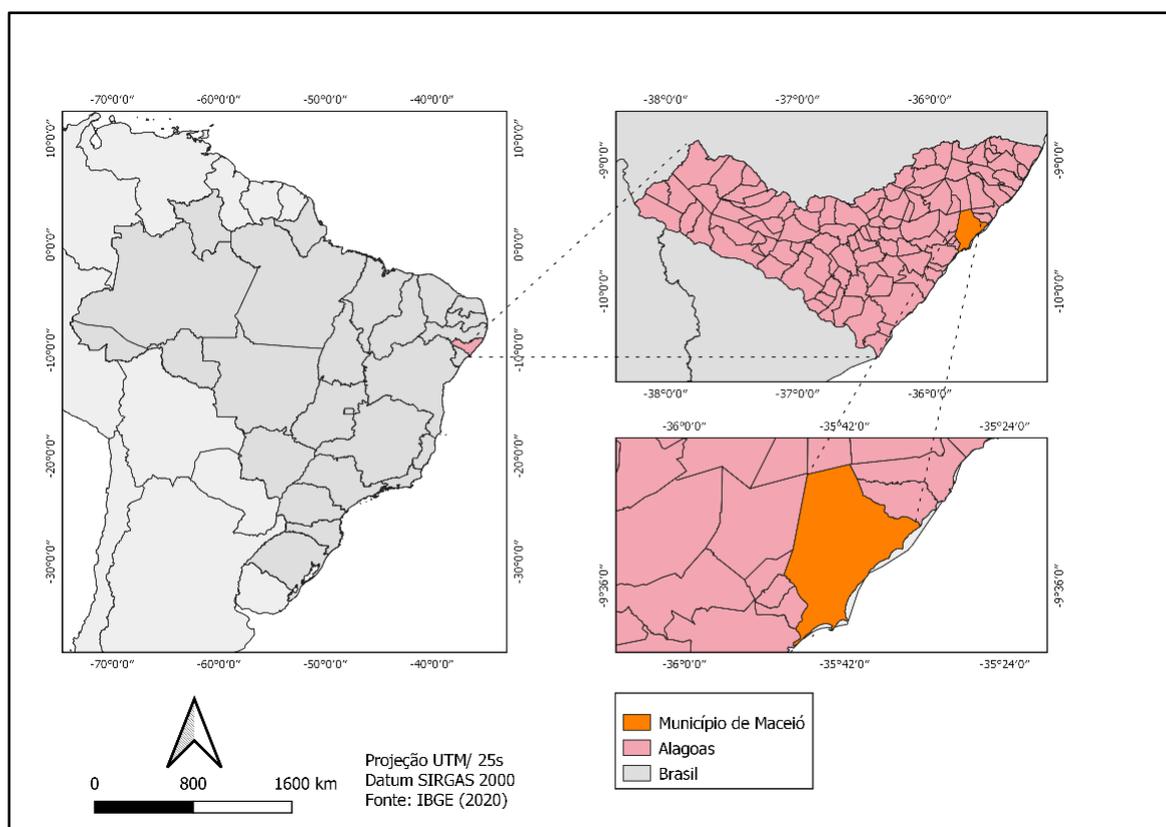


Figura 36- Mapa da cidade de Maceió – AL

Fonte: Autor, 2022

## 5.2 Pontos de monitoramento

O monitoramento envolveu um hospital público, locais providos de rede coletora de esgotos na entrada de estações de tratamento de esgotos (ETEs) centralizadas, ETEs compactas descentralizadas e estações elevatórias de esgotos (EE).

Foram coletadas, também, amostras em canais urbanos, localizados na zona central e baixa da cidade, em regiões sem e com cobertura parcial de rede de esgotos, com a justificativa de que estes corpos hídricos além do seu próprio escoamento recebem águas da drenagem urbana e contribuições difusas de esgotos.

Para a escolha destes pontos levou-se em consideração a topografia da cidade, a existência ou não de rede coletora, estações elevatórias (EE), estações de tratamento de esgotos (ETE), bacias de contribuição de esgotos, as características sociais e sanitárias da região, entre outros aspectos. Assim, foram definidos 13 pontos de coleta: 5 na zona alta da cidade (incluindo um ponto em hospital público), 4 na zona baixa e 4 em canais urbanos.

As coletas foram realizadas quinzenalmente, em amostras simples, e iniciaram-se em novembro/2021 com 3 pontos da rede coletora de esgotos operada pela CASAL/SANAMA e um hospital público na zona alta da cidade, e nos 4 pontos em canais urbanos.

Em março de 2022 foram iniciadas as coletas de esgotos na zona baixa da cidade, e adicionando um ponto na zona alta região localizado na zona central da cidade, no bairro da Serraria (EE Conj. José Tenório), onde o sistema de esgotamento é operado pela BRK.

Ao serem coletadas as amostras foram preservadas em caixa térmica e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões (CACS) onde foram armazenadas e retiradas alíquotas para análises físico-química e bacteriológicas.

Os Quadros 2 e 3 apresentam os bairros/região de abrangência desses pontos e sua georreferenciação em unidade de graus decimais, a Figura 37 mostra a espacialização dos pontos de coleta, e as Figuras 38 a 41 ilustram os pontos de coleta.

---

Quadro 2 - Pontos de monitoramento em canais urbanos de Maceió.

<b>Descrição</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Bairros</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Zona Central (sem cobertura de RE)	Canal do Jacintinho	Bacia do Pau D'Arco – 2 bairros ( <b>Jacintinho</b> e Feitosa)	-9.648032	-35.726509
Zona Baixa Lagunar (cobertura parcial de RE)	Canal da Levada	Bacia da Levada – 1 bairro (Levada)	- 9,660306	- 35,7461883
Zona Baixa Marítima 01 (cobertura parcial de RE)	Canal das Águas Férreas	Bacia das Águas Férreas - 3 bairros (Cruz das Almas, Jacarecica, São Jorge)	- 9.6351885	-35.6980642
Zona Baixa Marítima 02 (cobertura parcial de RE)	Canal do Salgadinho	Bacia do Reginaldo – 18 bairros (Sta Lúcia, Antares, Jardim Petrópolis, Ouro Preto, Canaã, Serraria, Gruta de Lourdes, Barro Duro, Feitosa, Jacintinho, Pinheiro, Pitanguinha, Farol, Mangabeiras, Jatiúca, Poço, Centro e Jaraguá)	-9.666804	-35.729439

Fonte: O autor, 2022

Quadro 3 - Pontos de monitoramento da rede de esgoto de Maceió.

<b>Descrição</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Bairro</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Unidade de saúde (Hospital público)	Entrada da ETE do hospital	Bairro Cidade Universitária	-9.559200	-35.765379
Zona Alta 01 (ETE Centralizada)	Entrada da ETE da SANAMA	Bairros da zona alta	-9.541076	-35.715177
Zona Alta 02 (ETE compacta descentralizada)	Entrada da ETE do conj. Hab. Maceió 1	Bairro Cidade Universitária	-9.527152	-35.778736
Zona Alta 03 (ETE compacta descentralizada)	Entrada da ETE do conj. Hab. Parque dos Caetés	Bairro Benedito Bentes	-9.566010	-35.700747
Zona Alta 04 (EE setORIZADA)	Entrada da EE Conjunto José Tenório	Bairro Serraria	-9,60434	-35,719951
Zona Baixa 01 (ETE Centralizada)	Entrada da ETE Emissário submarino	Bairros da zona baixa	-9,674444	-35,751463
Zona Baixa 02 (EE setORIZADA)	Entrada da EEE Praça Lions	Bairros Mangabeiras e Ponta Verde	-9,662467	-35,709218
Zona Baixa 03 (EE setORIZADA)	Entrada da EEE Castelo Branco	Bairro Jatiúca	-9,652125	-35,712931
Zona Baixa 04 (EE setORIZADA)	Entrada da EEE Levada	Bairro Levada	- 9,660306	-35,746188

Fonte: O autor, 2022

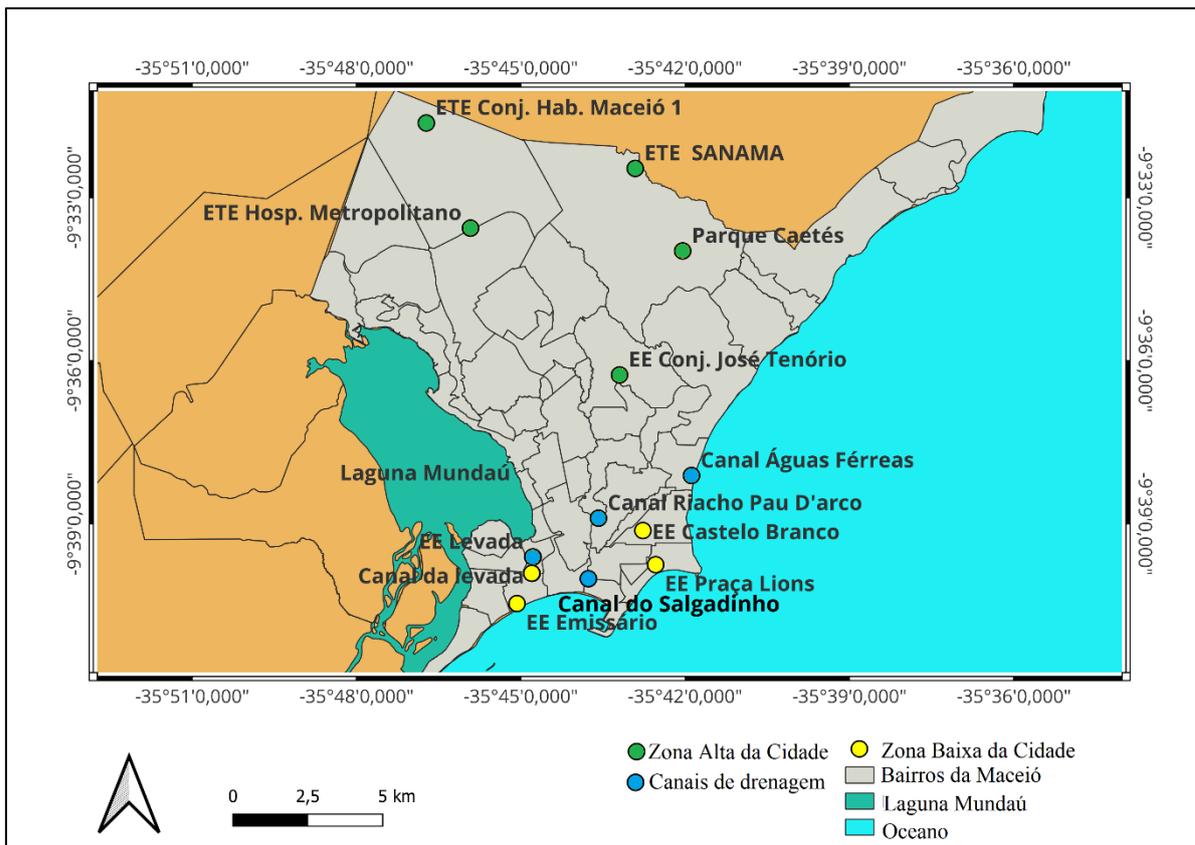


Figura 37 - Localização dos Pontos de coletas

Fonte: Autor, 2022



Hospital metropolitano

Figura 38 - EEE da Levada localizada no Bairro da Levada

Fonte: Autor, 2022



Figura 39 – Pontos de coleta nos canais urbanos  
Fonte: Autor, 2022



Figura 40 – Pontos ETEs Centralizadas  
Fonte: Autor, 2022



Figura 41 - EEE da Levada localizada no Bairro da Levada

Fonte: Autor, 2022

Os efluentes foram caracterizados por meio de análises de turbidez, cor, série de sólidos, pH, alcalinidade, DBO<sub>5,20</sub>, DQO, Fósforo, Cloretos, Metais (manganês e ferro), série nitrogenada e presença de coliformes totais e fecais. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do Centro de Tecnologia (CTEC) da UFAL, seguindo o manual do Laboratório de Processos Biológicos (Métodos Analíticos Aplicados de Processos Biológicos de Tratamento de Águas Residuárias) – LPB, da EESC/USP (2021).

### 5.3 Período de tempo secos e chuvosos

Para análise da influência do período seco e chuvoso sobre a composição dos esgotos brutos e águas dos canais urbanos, foram inicialmente observados os dados de precipitação do ano de 2021 (Figura 42) onde se verifica que os meses mais chuvosos ocorreu de março a agosto, tendo sido dezembro, o mês com a menor índice pluviométrico.

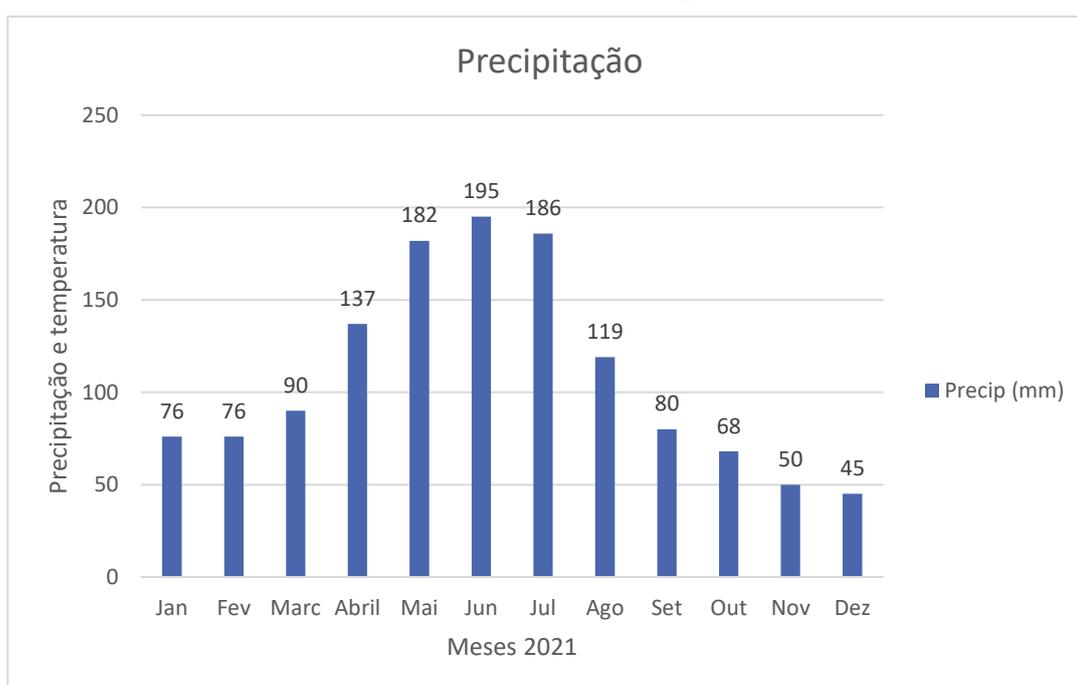


Figura 42 - Dados de precipitação de 2021

Fonte: Autor, 2022 adaptado do site Clima tempo

Para o trabalho o período seco e chuvoso foi ajustado aos dados de precipitação de 2022 da estação pluviométrica Maceió A303, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 43).

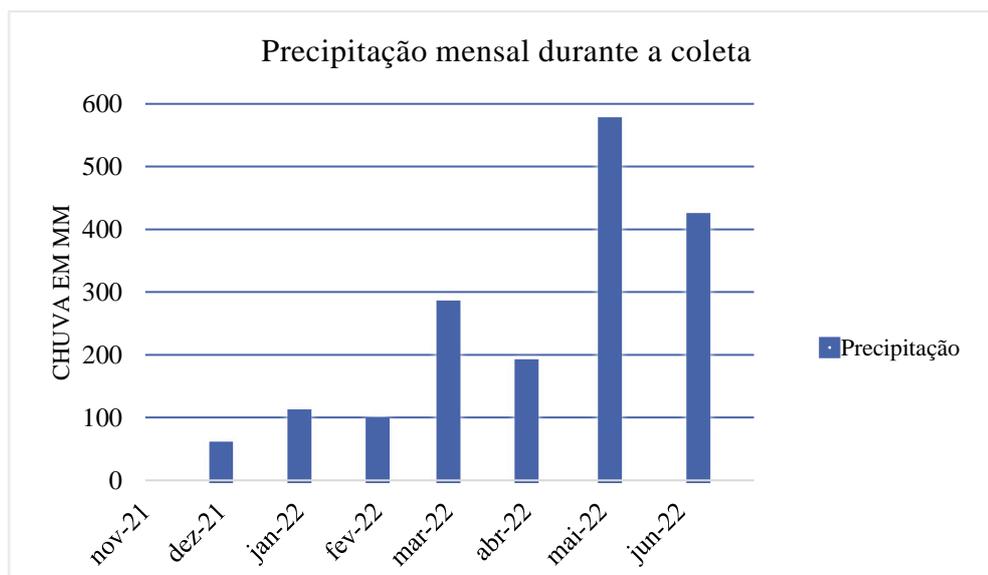


Figura 43 - Dados de precipitação jan./2022 a jun./2022  
Fonte: Inmet (2022)

Os períodos seco e chuvoso foram definidos de acordo com as estações do ano, as coletas se iniciaram no dia 16 de dezembro coincidindo com o início do verão e terminaram no dia 22 de junho de 2022 quando acaba o outono e se inicia o inverno. Todavia, o outono se inicia no dia 20 março onde se dá início a quadra chuvosas no estado de Alagoas e termina no final de junho, onde os índices de precipitações aumentam, dessa forma as coletas foram realizadas em ambos os períodos secos e chuvoso para uma avaliação da interferência da precipitação.

Para a caracterização da concentração encontrada no esgoto após os períodos de sazonalidade da chuva e avaliação dos seus níveis e do comportamento da sua variação no tempo, lotou-se em gráficos os valores encontrados e dos valores máximos e médios das concentrações segundo o que diz a literatura.

#### 5.4 Estrato socioeconômico

A população representativa de cada bairro foi caracterizada em relação a condições socioeconômicas, em função da renda familiar publicada pela ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisas (2021), referente ao ano de 2020 (Tabela 6).

Em seguida foi realizada a identificação da renda per capita média domiciliar da população dos bairros que contribuem com esgotos para cada ponto de coleta, assim como informações sobre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) levantados através do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea, Fundação João Pinheiro - FJP, e pelo Sistema IBGE de

Recuperação Automática – SIDRA (2019<sup>9</sup>).

Os valores de renda *per capita* foram ajustados para o ano do 2021 (ano do estrato socioeconômico) tomando como referência o valor do salário-mínimo.

Tabela 6 - Critério de classificação de estrato socioeconômico no ano de 2020<sup>10</sup>

Estrato socioeconômico	Renda familiar (R\$)
A	22.749,24
B1	10.488,56
B2	5.7272
C1	3.194,33
C2	1.894,95
D e E	862,56

Fonte: ABEP, 2021

## 5.5 Localização e lençol freático

As características dos esgotos foram analisadas quanto a localização da fonte geradora, se estão na zona alta ou baixa da cidade e a possibilidade de interferência da profundidade do lençol freático na infiltração de água na rede coletora de esgotos.

## 5.6 Padrões de referência

Os resultados dos esgotos brutos foram avaliados tendo como base a resolução do CONAMA nº 430/2011 e demais legislações pertinentes e com a classificação dos esgotos segundo Metcalf e Eddy (2016). As águas dos canais urbanos foram avaliadas tendo como base a Resolução do CONAMA 357/2005.

## 5.7 Tratamento dos dados

Para entender a distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos esgotos e água dos canais urbanos da cidade de Maceió, será aplicada análise estatística descritiva a partir do uso de diagramas de caixa (*boxplots*), para os quais é necessário obter os valores mínimo e máximo e os quartis, para ser possível identificar o centro, a dispersão, a distribuição de dados e *outliers* (valores extremos).

Aplicou-se aos dados um tratamento estatístico básico, pelo cálculo da média e

<sup>9</sup> Ano em que houve a última atualização após o censo de 2010.

<sup>10</sup> Os valores se baseiam na PNADC 2020 e representam aproximações dos valores que podem ser obtidos em amostras de pesquisas de mercado, mídia e opinião.

desvio padrão organizados e demonstrados através de gráficos para uma melhor análise e interpretação de resultados. Estas análises foram feitas primeiramente considerando as características dos esgotos agrupando os dados de todo o primeiro semestre da zona alta, baixa da cidade e dos canais urbanos.

Agrupou-se os dados da ETEs centrais que reúnem os esgotos das respectivas bacias para comparar com os dados semestrais das EEEs setorizadas e ETEs compactas descentralizadas, que reúnem esgotos de setores distintos tanto para zona alta como para zona baixa. As mesmas análises foram feitas com dados agrupados para uma avaliação comportamental em período seco e chuvoso aplicando métodos estatísticos para identificar diferenças no comportamento das amostras. Para as águas dos canais serão agrupados os dados de forma semelhante aos da ETEs e EEEs, entretanto a resolução utilizada como referência dos parâmetros fora a CONAMA 357 de 2011.

Para verificação de diferenças estatísticas entre os valores das amostras se utilizou o software Minitab para aplicação do teste não-paramétrico Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test), como alternativa ao teste *t de student*, não precisando demonstrar se a amostra segue uma distribuição normal. Este teste é utilizado para identificar diferenças significativas em duas amostras pequenas que possam ter sido extraídas da mesma população ou não através da sua mediana utilizando um intervalo de confiança (IC) de 95%, onde para  $p > 0,05$  IC e para aceita ou recusar a hipótese nula ou alternativa se há ou não diferença significativa entre as os parâmetros estudados.

---

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Avaliação locacional e socioeconômica das características dos esgotos da cidade

A Figura 44 apresenta a síntese da renda per capita dos bairros estudados, onde foram realizadas as coletas de esgoto para a obtenção dos dados primários, assim como suas características locais e socioeconômicas preponderantes.

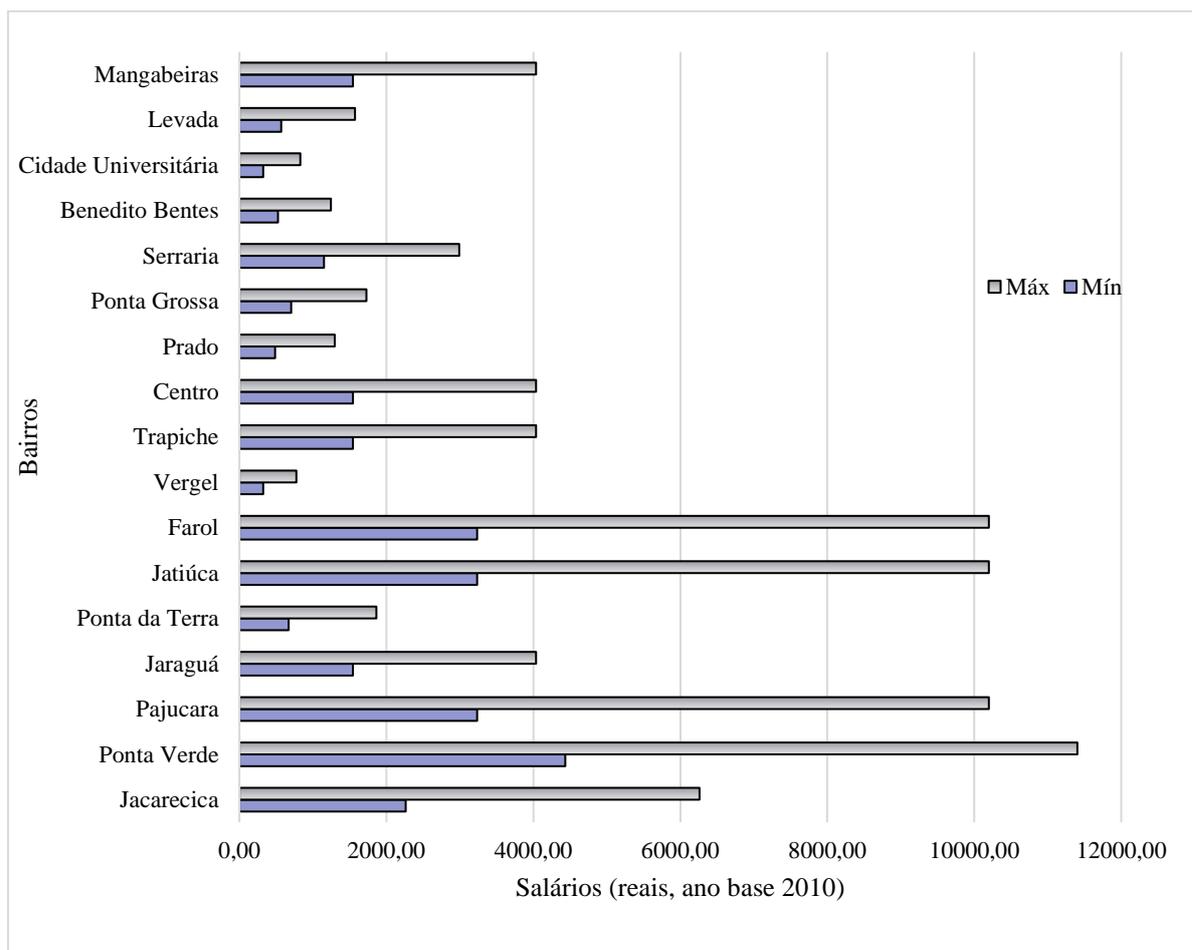


Figura 44 - Visão geral da renda per capita média mínima e máxima dos bairros  
Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

Pode-se notar na Tabela 7 que os bairros da zona baixa da cidade estão em vantagem econômica em relação aos bairros da zona alta da cidade. Essa diferença de renda entre os bairros é perceptível e palpável ao visitá-los, a presença marcante dos recursos hídricos como lagoas, lagunas e o mar na zona baixa é um possível indicador responsável do progresso econômico da região, uma vez que tais características são convites para o comércio, turismo e o poder das paisagens naturais que atraem os que podem pagar por ela.

Tabela 7 - Características locacionais e socioeconômicas dos pontos de coleta de esgotos

Ponto de coleta		Bairro	Renda per capita média mensal (R\$)		Estrato socioeconômico
			Mínimo	Máximo	
Zona Alta	Entrada da ETE da SANAMA	Bairros da zona alta: Benedito Bentes e Cidade Universitária	1.559,91 <sup>11</sup>	2.740,822 <sup>12</sup>	C2
	Entrada da ETE do conj. Hab. Maceió I	Bairro Cidade Universitária	909,56	2.314,45	C2
	Entrada da ETE do conj. Hab. Parque dos Caetés	Bairro Benedito Bentes	1.466,23	3.476,66	C1
	Entrada da EE Conjunto José Tenório	Bairro Serraria	3.218,12	8.352,70	B2
Zona Baixa	Entrada da ETE Emissário submarino	Centro, Jaraguá, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Cruz das Almas, Levada, Ponta Grossa, Vergel, Prado e Trapiche <sup>13</sup>	5393,787	11.472,71	B1
	Entrada da EE Praça Lions	Bairros Pajuçara	9.035,64	28.477,81	A
		Mangabeiras	4.315,07	11.272,32	B1
		Ponta Verde	12.376,73	24.572,37	A
	Entrada da EE Castelo Branco	Bairro Jatiúca	5.028,61	31.840,77	A
	Entrada da EE Levada	Bairro Levada	1.596,58	4.392,28	C1

Fonte: Autor (2022)

A diferença de classe de determinado lugar tende a alterar as características do esgoto gerado em relação a sua concentração. Ocorre que uma comunidade de maior poder socioeconômico irá consumir uma maior diversidade de produtos e em quantidade maiores do que outra comunidade de uma classe mais baixa que não teria acesso aos mesmos produtos e mesmas quantidades. No entanto, a condição socioeconômica por si só não determina a qualidade dos esgotos que chegam as ETEs, pois contribuições parasitárias por infiltrações na rede também interferem nas concentrações de seus constituintes.

Neste estudo, as amostras coletadas na zona alta da cidade são provenientes de redes coletoras instaladas em solo tipicamente argiloso, arenoso e siltoso misturados entre si com consistência ou compacidade crescente com a profundidade, indo de mole ou fofa a dura ou muito compacta em cotas que variam de 40 a 114 m e cuja região o lençol freático está a 35 metros de profundidade não contribuindo para infiltração das águas do lençol freático na rede coletora. Estão nessa região:

<sup>11</sup> Média mínima dos bairros cidade Universitária e Benedito Bentes

<sup>12</sup> Média máxima dos bairros cidade Universitária e Benedito Bentes

<sup>13</sup> Média mínima e máxima de todos os bairros que contribuem para ETE Centralizada do Emissário

---

- A ETE SANAMA centralizada, está localizada no bairro Benedito Bentes, mas recebe os esgotos de diversos bairros da zona alta de Maceió como Tabuleiro dos Martins, Benedito Bentes, Clima Bom, Colina dos Eucaliptos, Santa Lúcia e Cidade Universitária e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante C2 com renda per capita variando de R\$ 1.559,91 a R\$ 2.740,822.

- A ETE compacta descentralizada que atende apenas ao Conj. Maceió 1 localizada no conjunto habitacional Eustaquio Gomes, no bairro Cidade Universitária, e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante C2 com renda per capita variando de R\$ 909,56 a R\$ 2.314,45.

- A ETE compacta descentralizada que atende apenas ao Conj. Parque dos Caetés está localizada no bairro Benedito Bentes e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante C1 com renda per capita variando de R\$ 1.466,23 a R\$ 3.476,66.

- A EE setORIZADA que recebe esgotos apenas do Conj. José Tenório, está localizada no bairro da Serraria, e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante B2 com renda per capita variando de R\$ 3.218,12 a R\$ 8.352,70.

As amostras coletadas na zona baixa da cidade são provenientes de redes coletoras instaladas em solo tipicamente constituídos por areias, siltes, calcário arenítico, algumas ocorrências de calcário coralíneo, argila e areias siltosas ou de argilosas e silte argiloso, em cotas que variam de 0 a 10 e em cuja região o lençol freático está a 4,7 metros de profundidade que podem contribuir para infiltração das águas do lençol freático na rede coletora. Estão nessa região:

- A ETE centralizada do emissário submarino que está localizada no bairro do Prado, mas que recebe o esgoto da zona baixa da cidade (bairros Centro, Jaraguá, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Cruz das Almas, Levada, Ponta Grossa, Vergel, Prado e Trapiche) e parte de um bairro da zona alta (Farol). Representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico variado com renda *per capita* de R\$ 5.393,787 a R\$ 11.472,71.

- A EE setORIZADA que recebe esgotos do bairro da Levada, bairro onde está a mercado central da cidade, e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante C1 com renda *per capita* variando de R\$ 1.596,58 a R\$ 4.392,28.

- A EE Castelo Branco que recebe as contribuições do bairro da Jatiúca e representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante A com

---

renda *per capita* variando de R\$ 5.028,61 a R\$ 31.840,77.

- A EE da praça Lions que recebe as contribuições dos bairros Ponta Verde e Mangabeiras e Pajuçara representa os esgotos gerados por uma população com estrato socioeconômico predominante B1 com renda *per capita* variando de R\$ 8.345,9 a R\$ 15.920,39.

O bairro da Serraria localizado na zona alta apresenta renda per capita maior do que os bairros do Prado e Levada localizados na zona baixa. Como as médias dos parâmetros foram categorizados e divididos pelas regiões, zona alta e zona baixa, onde esta última possui população com maior estrato econômico em relação a primeira, foi levado em consideração, para interpretação dos resultados, o estrato social preponderante. A Tabela 8 apresenta a média e o desvio padrão dos parâmetros dos esgotos a zona alta e zona baixa de Maceió.

Tabela 8 - Valores médio e o desvio padrão dos esgotos sanitários de Maceió

Parâmetros	Zona alta		Zona baixa	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Cor	292,38	±112,15	206,7	±8,60
Turbidez	127,47	±27,16	65,7	±2,82
Sólidos Totais	846,10	±30,22	711,7	±19,66
Sólidos Fixos	406,74	±72,27	349,6	±40,27
Sól. Voláteis	439,36	±43,70	362,1	±15,73
DQO mgO <sub>2</sub> /L	730,76	±25,73	429,3	±68,43
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	289,29	±36,65	195,8	±35,82
DBO/DQO	0,39	±0,04	0,5	±0,12
N-total	46,77	±4,17	33,9	±6,31
N-Amoniacal	32,21	±3,42	17,3	±3,83
Fósforo mg/L	6,01	±3,77	7,9	±3,31
pH	7,21	±0,08	7,2	±0,20
Alcalinidade	229,62	±54,10	171,3	±43,82
Sulfatos	59,14	±6,68	60,3	±12,08
Cloretos	245,25	±58,58	246,0	±24,94
Ferro mg/L	1,72	±0,17	1,6	±0,52
Manganês mg/L	1,00	±0,14	1,1	±2,15
E. coli	3,96E+05	±1,88E+04	4,33E+05	±3,56E+04

Fonte: Autor, 2022

Os parâmetros físicos analisados foram cor, turbidez, sólidos totais, fixos e voláteis. A Figura 45 mostra os valores médios de cor e turbidez e as Figuras 46 e 47 os gráficos

*boxplot*, que apresentam a variação desses parâmetros nas regiões alta e baixa de Maceió.

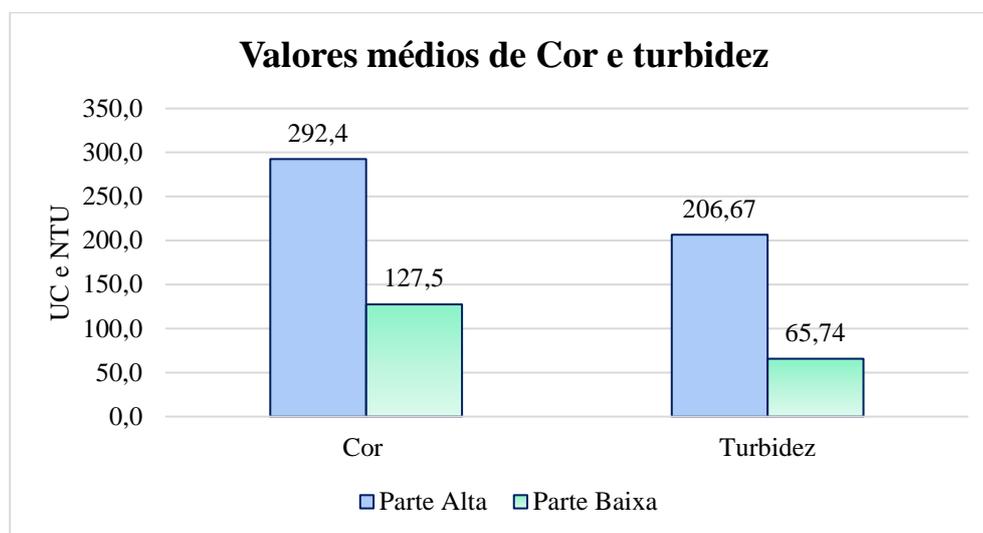


Figura 45 - Valores médios de cor e turbidez da zona alta e zona baixa de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

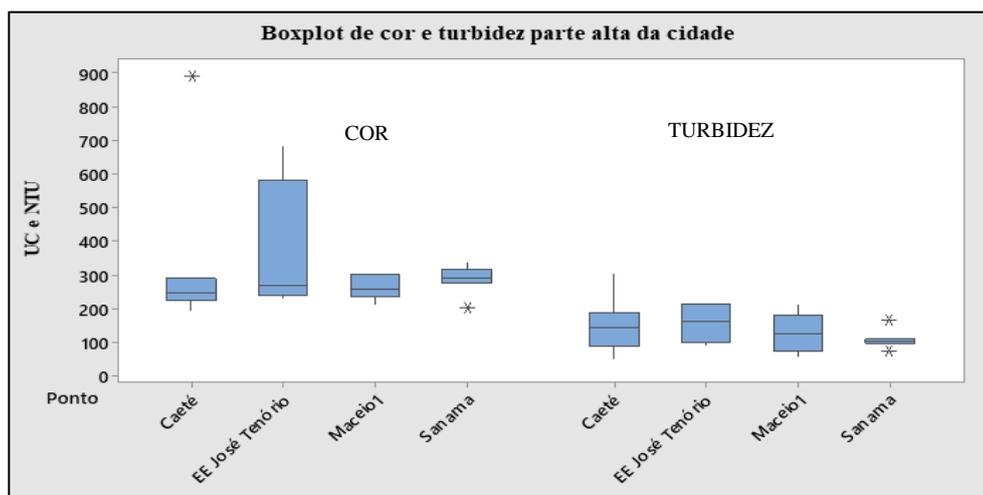


Figura 46 - Boxplot dos valores de cor e turbidez da zona alta de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

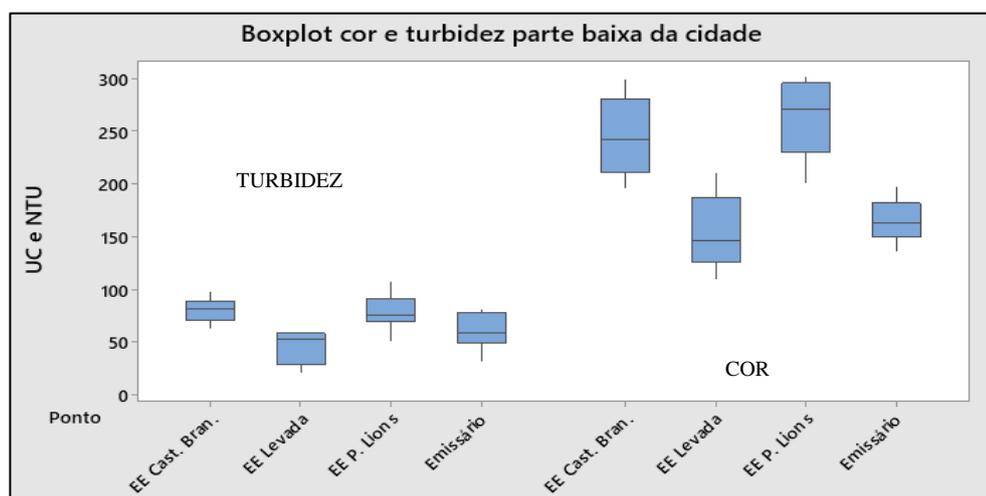


Figura 47 - Boxplot dos valores de cor e turbidez da zona baixa de Maceió

Fonte: Autor, 2022

Observando-se as Figuras 44, 45 e 46 se verificou que na zona alta o valor médio da cor é de  $292,4 \pm 112,2$  UC maior que na zona baixa  $206,7 \pm 8,6$  UC. Esse mesmo comportamento foi encontrado para a turbidez com valor de  $127,5 \pm 27,2$  NTU na zona alta (ZA) e de  $65,74 \pm 2,8$  NTU para região baixa (ZB).

O *boxplot* apresentado na Figura 46 mostra que houve pequenas variações de nos intervalos interquartílicos demonstrando uma proximidade entre os valores encontrados para Cor e Turbidez na zona alta e a presença de um outlier no conjunto de dados da ETE Caetés.

Já os valores de Cor e Turbidez no esgoto da zona baixa da cidade representaram pequena variação entre as amplitudes dos *Boxplot* apresentados na Figura 47. A cor dos esgotos da EE Castelo Branco e da ETE Emissário apresentaram *boxplot* com distribuições mais simétrica, diferentemente do *boxplot* da EE Praça Lions que mostra distribuição assimétrica positiva, enquanto a EE da Levada possui assimetria negativa. Para a turbidez os valores apresentaram amplitudes de tamanhos parecidos e assimetrias negativas e positivas em todos *boxplots* com exceção da EE Levada.

Quanto a presença de sólidos, a Figura 48 ilustra o gráfico o valor médio dos sólidos totais (ST), fixos (SFT) e voláteis (SVT), nos esgotos das zonas alta e baixa de Maceió.

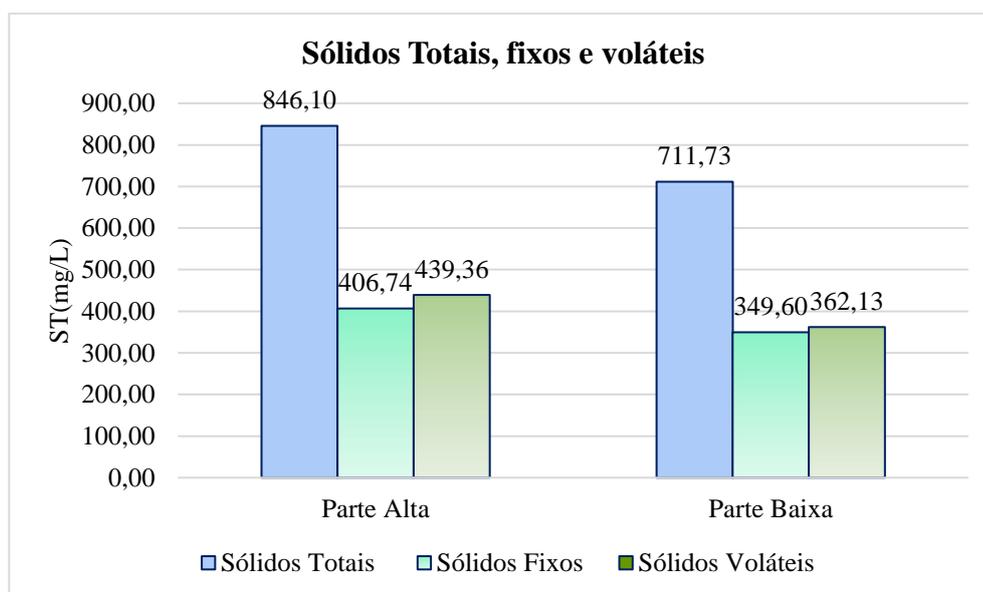


Figura 48 - Gráfico de sólidos zona alta e zona baixa

Fonte: Autor, 2022

A concentração média de ST, SFT e SVT da zona alta foram 864,1 mg/L, 406,7 mg/L e 439,4 mg/L onde a relação SFT/ST e SVT/ST foram 0,48 e 0,52, respectivamente, indicando

um leve predomínio de matéria orgânica.

Quanto ao esgoto da zona baixa, este apresentou os valores 711,7 mg/L para ST, 349,6 mg/L de SFT e 362,1 mg/L para SVT e a uma relação SFT/ST igual a 0,49 para quantificação da fração inorgânica e SVT/ST igual a 0,51, para os compostos orgânicos uma relação de equilíbrio entre os materiais inerte e os biodegradáveis. De forma geral, verifica-se que os maiores valores da série de sólidos foram observados nos esgotos da zona alta da cidade, que tem estrato social mais baixo, mas que sofre menor interferência de possíveis infiltrações do lençol freático.

Quanto a presença de matéria orgânica do esgoto bruto, referente a zona alta e baixa da cidade, essa foi mensurada através dos parâmetros de  $DBO_{5,20}$  e DQO ( $mgO_2/L$ ), como apresentado no gráfico da Figura 49.

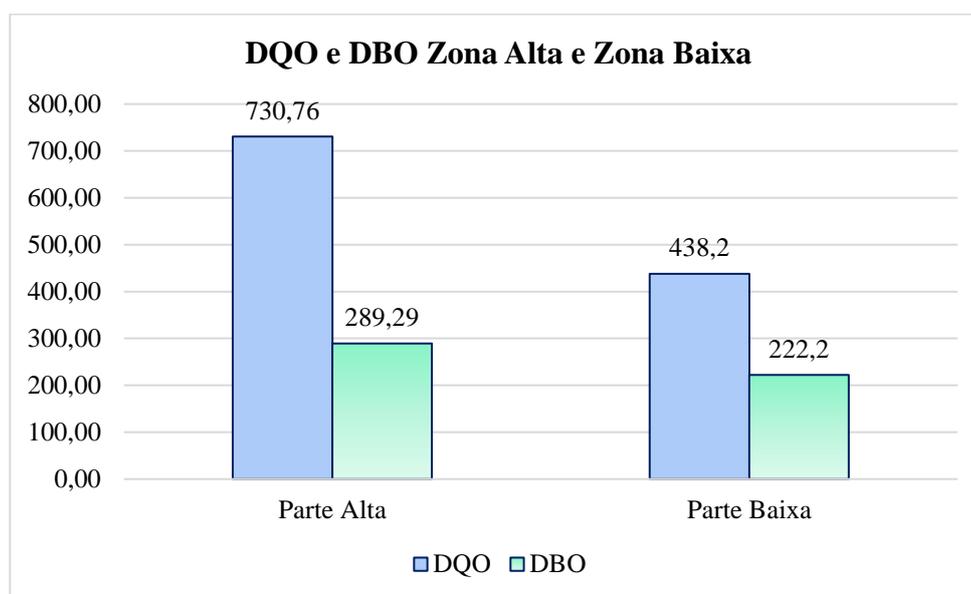


Figura 49- Gráfico dos parâmetros de  $DBO_{5,20}$  e DQO ( $mgO_2/L$ )

Fonte: Autor, 2022

Comparando a DQO média do esgoto bruto (438,2  $mg/L$ ) da zona baixa da cidade com a do esgoto bruto (730,8  $mg/L$ ) da zona alta, verifica-se que o esgoto da zona alta da cidade apresenta valor médio consideravelmente maior (47%) que o da zona baixa. Os menores valores de DQO da zona baixa podem estar associados a infiltração de água do lençol freático na rede de esgoto dessa região, que dilui os esgotos.

Quanto a  $DBO_{5,20}$  o esgoto da zona alta (ZA) apresentou valor médio de 289,3  $mgO_2/L$ , enquanto os da zona baixa (ZB) o valor médio foi de 222  $mgO_2/L$ , ambos valores classificados como de média concentração de acordo com a literatura (METCALF & EDDY,

2016). A  $DBO_{5,20}$  da zona alta registrou valor 35% maior em comparação a zona baixa.

Valores semelhantes foram encontrados por Silva (2022), no esgoto bruto das ETEs de conjuntos habitacionais em Maceió, no primeiro caso a  $DBO_{5,20}$  encontrada foi de 700 mg/L em uma ETE localizada em uma região onde o lençol freático não tem interferência na rede de esgotos, e no segundo caso a ETE está localizada em região baixa com um lençol freático alto, e apresentou uma concentração menor de  $DBO_{5,20}$  de 251 mg/L, mesmo tendo uma população contribuinte de classe social mais elevada.

Os menores valores registros podem ser explicados por fatores como infiltrações no sistema coletor da zona baixa, uma vez que o lençol freático da região está mais próximo as redes resultando na diluição do esgoto ou pela maior presença de efluentes indústrias na zona alta da cidade.

Quanto a biodegradabilidade do esgoto bruto referente a zona alta e baixa da cidade Obteve-se uma pequena variação na relação  $DBO_{5,20}/DQO$  de 0,42 para zona alta e 0,51 para a zona baixa, indicando que os esgotos da zona alta apresentam biodegradabilidade menor (42%) que a da zona baixa (51%).

Na caracterização deste estudo foram considerados como principais nutrientes o nitrogênio e o fósforo, cujos valores médios estão apresentados na Figura 50.

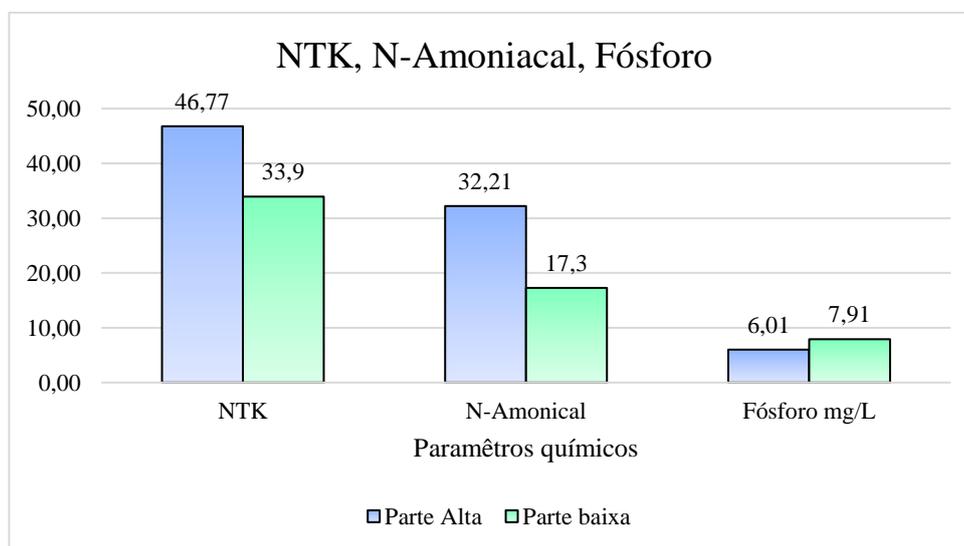


Figura 50 – Nitrogênio e fósforo na zona alta e zona baixa de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

Para o nitrogênio foram feitas análises de N-NTK e o N-amoniacal para avaliar as formas de nitrogênio no esgoto bruto. Quanto ao N-NTK da zona alta foi encontrado um valor de 46,8 mg.N/L e na zona baixa da cidade um valor de 33,9 mgN/L. Para o N-amoniacal a

zona alta da cidade também apresentou maior concentração em relação a zona baixa 32,21 mgN/L e 17,27 mgN/L, respectivamente, enquadrando-os como de média a alta concentração para zona alta, e de baixa a média concentração para zona baixa de acordo com o estimado na literatura (METCALF & EDDY, 2016).

Inversamente, a presença de fósforo no esgoto da zona baixa da cidade apresentou um valor maior 7,91 mgP/L que o da zona alta 6,01 mgP/L, mas ambos valores são considerados típicos de esgoto de média concentração.

Esta maior concentração de fosforo nos esgotos da zona baixa, onde a infiltração na rede tende a diminuir a sua concentração pode estar associada a ao maior consumo de detergentes e produtos de limpeza utilizados pela população local de estrato socioeconômico mais elevado. Isto foi estudado por Martins (2018) que verificou a influência de produtos de higiene pessoal e de limpeza como cremes dentais, xampus, detergentes líquidos, detergentes em pó e amaciantes de roupas no esgoto doméstico, e constatou que quanto maior a quantidade de produtos utilizados maior alteração nos parâmetros de qualidade do esgoto.

Em relação a capacidade de tamponamento do esgoto (resistência a variação de pH), ou seja, a alcalinidade, os valores médios observados estão apresentados no gráfico da Figura 51, juntamente com os valores médios de cloretos e sulfatos.

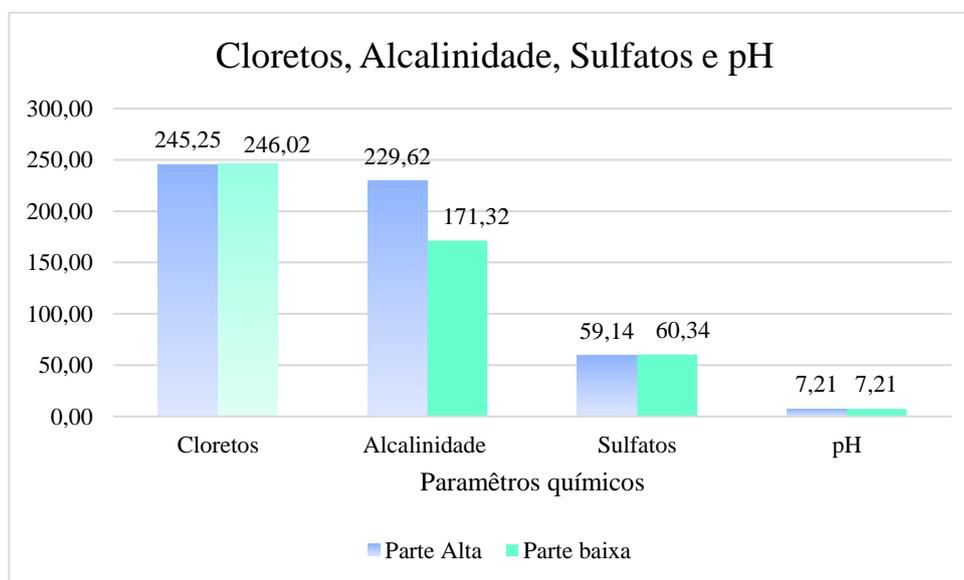


Figura 51 – Cloreto, alcalinidade, sulfato e pH zonas alta e baixa de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

A alcalinidade do esgoto da zona alta que apresentou concentração maior em relação a zona baixa 229,62 e 171,32 mgCaCO<sub>3</sub>/L, respectivamente. A alcalinidade em esgotos predominantemente doméstico se encontra na faixa 100 a 250 mgCaCO<sub>3</sub>/L, ou seja, o valor

---

obtido se encontra dentro do valor típico e é adequado para o tratamento biológico.

Assim como a alcalinidade o pH é outro parâmetro importante para o tratamento do esgoto, como por exemplo, o de lodo ativado que são utilizadas nas ETES de Maceió e dependem do pH para um bom funcionamento. No caso de ambas as regiões (alta e baixa), no período analisado, os valores médios do esgoto bruto tanto nas elevatórias quanto nas entradas das ETE estudadas foram encontrados em torno de pH 7,21. A faixa usual de pH, correspondente a neutralidade, fora encontrada em ambas as áreas (PA e PB) a uma média de 7,2 representando condição ideal para que a amônia na forma de íon de amônio  $\text{NH}_4^+$  (ionizada) se sobressaia sobre a amônia livre  $\text{NH}_3$  (não ionizada), esta observação é importante devido as consequências ambientais a amônia livre é tóxica para o meio ambiente.

A literatura aponta as concentrações de sulfatos usualmente na faixa de 20 a 70 mg/L. Para as regiões da ZA e ZB da cidade foram detectados valor médio de 59,14 e 60,3 mg/L, respectivamente, e podem ser classificadas como esgotos de média concentração. Quanto aos valores de cloretos foram encontrados valores acima do valor máximo especificado na literatura 245,25 mg/L (ZA) e 246 mg/L (ZB). Os valores da zona baixa são superiores aos da zona alta e podem estar associados a salinidade das águas do lençol freático, fortalecendo a hipótese de que há infiltração na rede coletora.

Os valores de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) encontrados no esgoto bruto foram 1,72 mg/L (ZA) e 1,6 mg/L (ZB) para Fe e 1 mg/L (ZA) e 1,1 mg/L (ZB) para Mn, de acordo com a CONAMA 430/2011 essas concentrações podem considerados não relevantes.

O indicador utilizado na caracterização microbiológica foi a bactéria *Escherichia coli*. A zona alta da cidade apresentou valor médio menor, em torno de  $3,96 \times 10^5$  NMP/100 mL, em relação ao esgoto da zona baixa  $4,33 \times 10^5$  NMP/100 mL, considerados pela literatura esgotos de baixa concentração.

Essas características dos esgotos de Maceió, de forma geral, enquadram os esgotos da zona alta, em relação aos parâmetros físico-químicos, como esgoto sanitário típico de alta concentração com parâmetros biológicos (*E. Coli*), típicos de esgotos de baixa concentração, e os esgotos sanitários da zona baixa como de média concentração, tanto em relação parâmetros físico-químicos quanto bacteriológicos.

Os bairros da Ponta Verde, Jatiúca, Pajuçara, levada e Prado onde estão localizados os pontos de coleta que representam aqui a zona baixa da cidade, apresenta condições socioeconômica mais favorecida do que os bairros da zona alta, representados aqui pelos bairros do Benedito Bentes e Cidade Universitária e Serraria. Logo, percebe-se a existência de fatores mais complexos que impedem a relação precisa entre a concentração do esgoto

---

---

sanitário com as características socioeconômicas, pois fatores como a infiltração na rede pode interferir, significativamente, na qualidade dos esgotos que chegam as EEs e as ETES.

De acordo com a CONAMA 430/2011 que dispõe sobre os padrões de lançamento, esses esgotos não atendem aos padrões de lançamento e precisam do tratamento para serem descartados em leito seco ou corpos de água receptores.

## **6.2 Interferência da precipitação nas características dos esgotos coletados**

Para esta avaliação de interferência da precipitação nas características do esgoto, referente a zona alta da cidade, apenas os valores das ETE SANAMA e Conjunto Caetés foram considerados, ambas no bairro do Benedito Bentes, visto que as coletas nas ETE conjunto Maceió 1 e na EE do Conjunto José Tenório não tinham iniciadas as coletas durante os períodos secos.

Em relação ao período de chuva na zona baixa foram apresentados dados referentes as EE Castelo Branco, EE Praça Lions, ETE do Emissário Submarino e EE da Levada. Entretanto, as coletas referentes a rede de esgotamento da zona baixa da cidade só obtiveram a liberação por parte da empresa responsável (BRK ambiental) após o fim do período de seco. A primeira coleta foi realizada no dia 10 de março de 2022, quando é iniciado os períodos de chuva no estado de Alagoas, limitando a comparação entre períodos secos e chuvosos e relacionando com as características do esgoto da região baixa da cidade.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os valores médios e desvio padrão dos parâmetros, dos esgotos a região alta e baixa de Maceió, em períodos secos e chuvosos.

Durante os períodos secos os esgotos da zona alta da cidade apresentaram um valor médio de cor 263,04 UC enquanto durante os períodos chuvosos o valor teve um aumento de 26,86% chegando a 333,7 UC. A turbidez teve um comportamento diferente, sem variação significativa, uma vez que durante o período seco o valor encontrado foi de 130 NTU enquanto nos períodos chuvosos um 126,4 UNT.

Seguindo com os parâmetros físicos, a série de sólidos no esgoto também foi analisado quanto a influências das chuvas. A concentração média de ST, SFT e SVT encontradas na zona alta durante o período seco 745,17mg/L, 378,92 mg/L e 366,25 mg/L, respectivamente. As relações SFT/ST e SVT/ST foram 0,5 e 0,5 respectivamente, indicando uma relação de equilíbrio entre a matéria orgânica e a matéria inerte no esgoto.

Quanto ao esgoto do período chuvoso foram encontrados os valores maiores que no período seco, de 877,15 mg/L para ST, 477,00 mg/L de SFT e 422,25 mg/L para os SVT,

---

indicando, também, uma relação de equilíbrio entre a matéria orgânica e a matéria inerte.

Tabela 9 - Valores médio e o desvio padrão dos parâmetros dos esgotos da zona alta

Parâmetros	seco		chuvoso	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Cor	263,04	±12,52	333,70	±10,30
Turbidez	130,42	±70,55	126,44	±15,95
Sólidos Totais	745,17	±78,55	877,15	±74,44
Sólidos Fixos	378,92	±72,08	477,00	±115,67
Sól. Voláteis	366,25	±152,76	422,25	±8,35
DQO mgO <sub>2</sub> /L	828,58	±83,37	657,04	±4,10
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	211,40	±41,87	286,38	±47,29
DBO/DQO	0,27	±0,06	0,35	±0,05
N-NTK	60,46	±5,13	38,90	±0,28
N-Amoniacal	32,06	±15,46	24,91	±3,75
Fósforo mg/L	4,66	±0,60	7,55	±5,72
pH	7,18	±0,09	7,20	±0,08
Alcalinidade	392,76	±96,60	153,63	±37,14
Sulfatos	73,36	±4,22	61,98	±19,34
Cloretos	361,93	±11,62	197,93	±29,85
Ferro mg/L	2,65	±0,47	1,58	±0,28
Manganês mg/L	1,71	±0,71	0,76	±0,67
E. coli	4,04 x 10 <sup>5</sup>	±5,59 x 10 <sup>5</sup>	3,03 x 10 <sup>5</sup>	±4,77 x 10 <sup>4</sup>

Fonte: O autor, 2022

Tabela 10 - Valores médio e o desvio padrão dos parâmetros dos esgotos da zona baixa

Parâmetros	chuvoso	
	MÉDIA	DP
Cor	198,34	±6,47
Turbidez	62,98	±5,15
Sólidos Totais	678,75	±43,69
Sólidos Fixos	321,50	±90,68
Sól. Voláteis	357,25	±17,55
DQO mgO <sub>2</sub> /L	405,61	±128,93
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	192,32	±40,20
DBO/DQO	0,50	±0,13
N-NTK	31,76	±7,79
N-Amoniacal	17,06	±5,11
Fósforo mg/L	8,86	±3,81
pH	7,20	±0,23
Alcalinidade	148,32	±33,01
Sulfatos	61,16	±11,53
Cloretos	240,74	±36,86
Ferro mg/L	1,60	±0,71
Manganês mg/L	1,27	±2,33
E. coli	4,61 x 10 <sup>5</sup>	±3,66 x 10 <sup>4</sup>

Fonte: O autor, 2022

Nas Figuras 52 e 53 é possível observar a variação temporal dos valores de DQO, DBO<sub>5,20</sub>, N-NTK e Fósforo dos esgotos da ETE SANAMA e ETE Caetés, no período seco, que foi de dezembro até o início de março, e do período chuvoso que foi do mês de março até o mês de junho. As concentrações máximas e médias foram sinalizadas nos gráficos com as linhas vermelhas e azuis, respectivamente, com intuito de demonstrar a variabilidade da concentração do esgoto durante a sazonalidade.

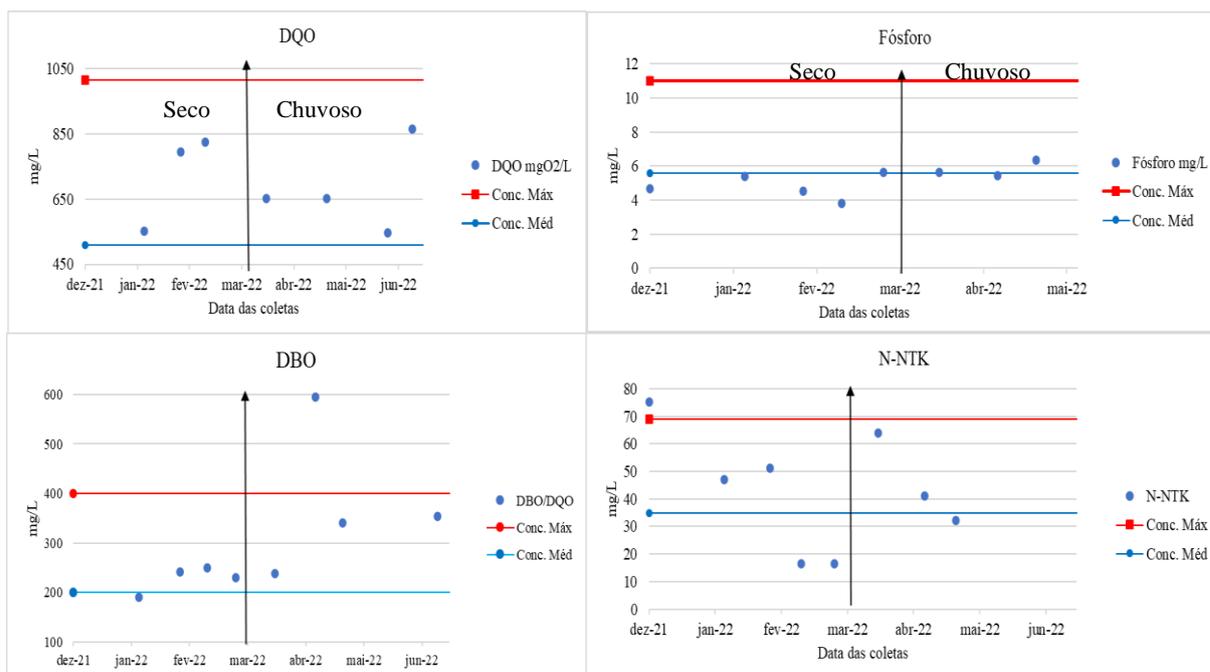


Figura 52 - Variação temporal da DQO, DBO<sub>5,20</sub>, P e NTK na ETE SANAMA  
Fonte: Autor, 2022

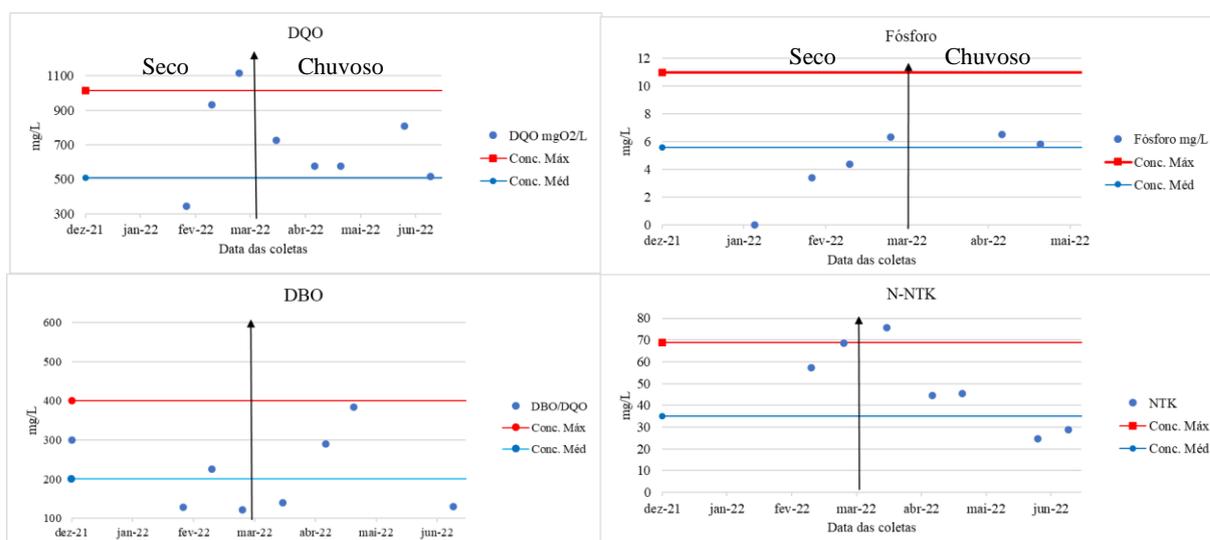


Figura 53 – Variação temporal da DQO, DBO<sub>5,20</sub>, P e NTK na ETE Caetés  
Fonte: Autor, 2022

No geral, o valor médio da DBO<sub>5,20</sub> foi maior no período seco que no chuvoso, o que

também se observa nos efluentes das duas ETEs, com valores mais baixos nos períodos mais seco enquanto os maiores valores foram identificados nos meses com maior precipitação.

A DQO o N-NTK e o N-amoniacoal mostrou comportamento inverso, o valor médio e a variação temporal da duas ETEs apresentaram valores menor no período seco e valores maiores no período que houve maior volume de precipitação, sugerindo que, nas condições locais, uma maior fração de matéria orgânica de fácil degradação é carregada pelas águas de chuvas que penetram na rede de esgotos. Já os valores de fósforo não apresentaram variação significativa em relação aos períodos seco e chuvoso.

As Figura 54 e 55 apresentam o comportamento dos parâmetros Alcalinidade, pH, Sulfato e cloretos, para as ETEs SANAMA e Caetés.

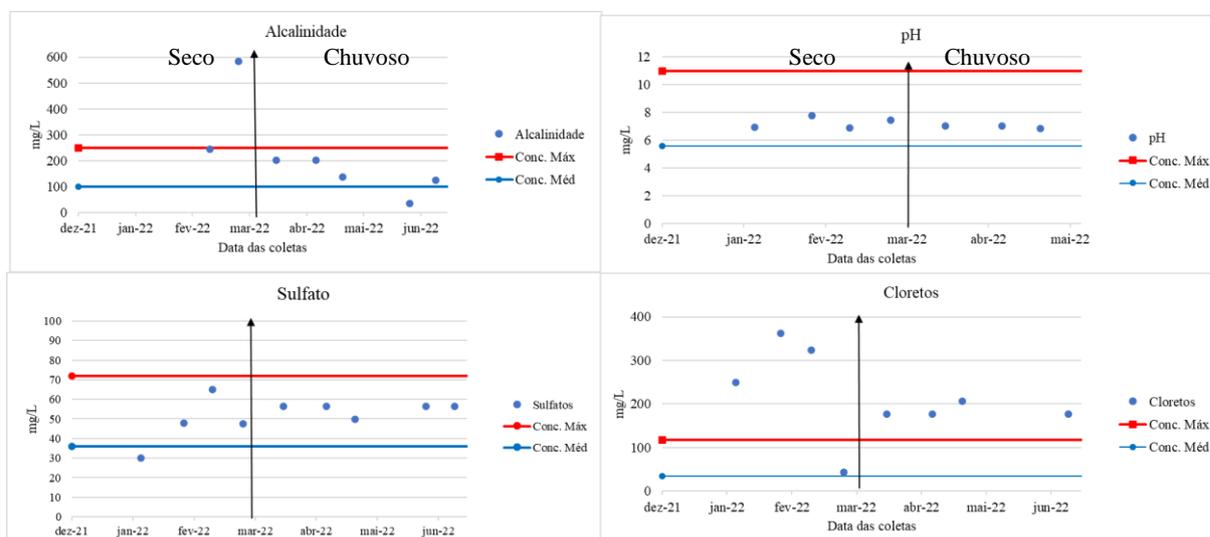


Figura 54 – Variação temporal da Alcalinidade, pH, Sulfato e Cloreto na ETE SANAMA

Fonte: Autor, 2022

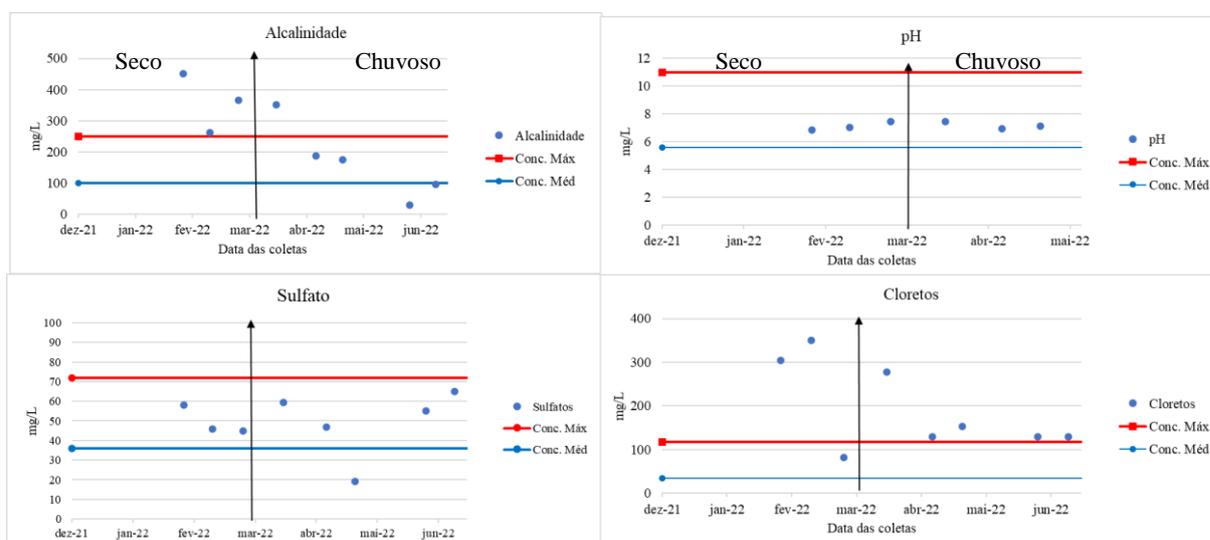


Figura 55 - Variação temporal Alcalinidade, pH, Sulfato e Cloretos na ETE Caetés

Fonte: Autor, 2022

Embora o pH dos esgotos tenha se mantido na faixa neutra e com pouca oscilação durante os períodos secos e chuvosos, a alcalinidade do esgoto da zona alta apresentou os maiores valores nos períodos com os menores índices de precipitação.

Os sulfatos no esgoto da zona alta também não tiveram alterações significativas durante nos períodos estudados, mas o cloreto, que é um indicador da presença de matéria orgânica, durante os meses em que houve índice de precipitação mais baixo as concentrações foram maiores em relação aos meses que apresentaram alta pluviosidade.

Quanto aos metais estudados, ferros e manganês, presentes no esgoto da zona alta, sua variação temporal está ilustrada nas Figura 56 e 57.

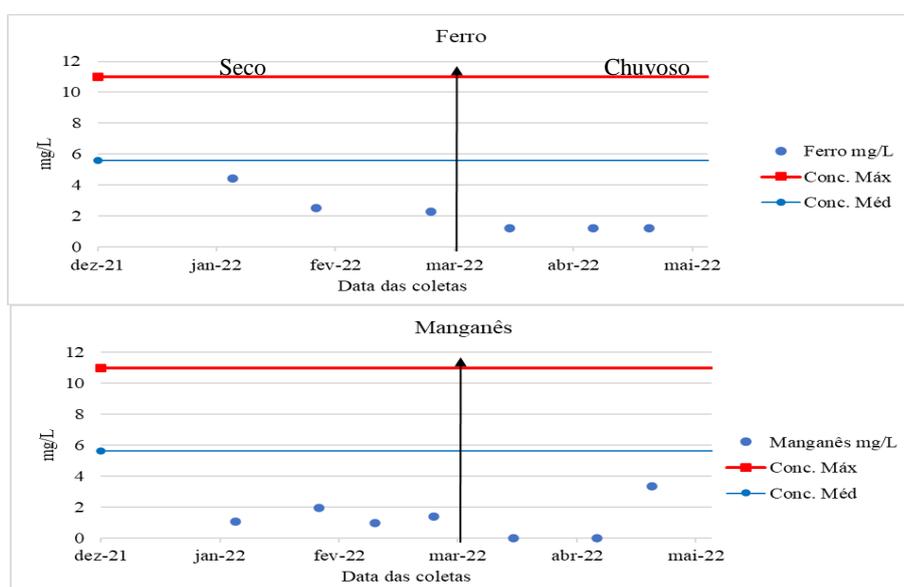


Figura 56 – Variação temporal de Ferro e manganês na ETE SANAMA  
Fonte: Autor, 2022

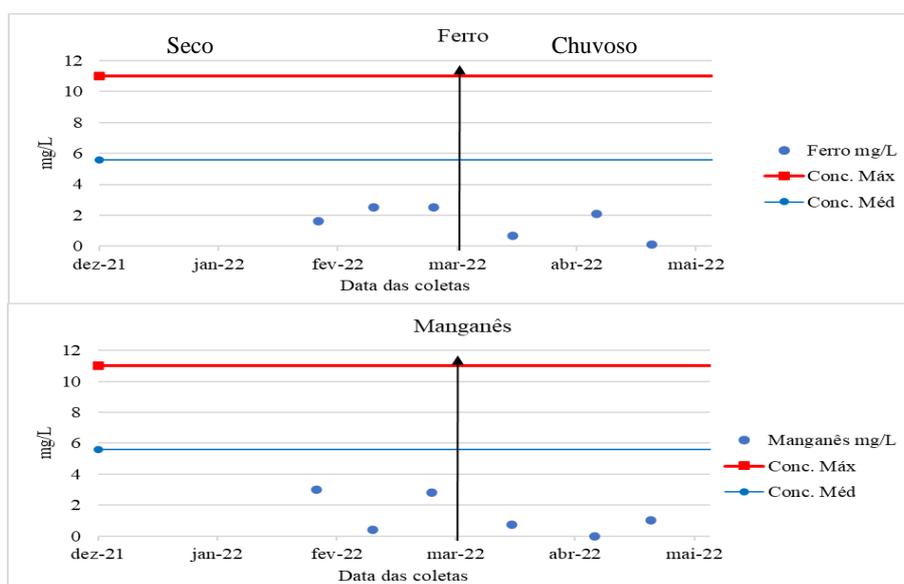


Figura 57 – Variação temporal de Ferro e manganês na ETE Caetés  
Fonte: Autor, 2022

A concentração de ferro e manganês ocorreu de forma em que as maiores concentrações foram identificadas durante os períodos secos e as menores durante os períodos chuvosos.

A Figura 58 apresenta as concentrações de *E. coli* no esgoto da zona alta durante os períodos seco e chuvoso.

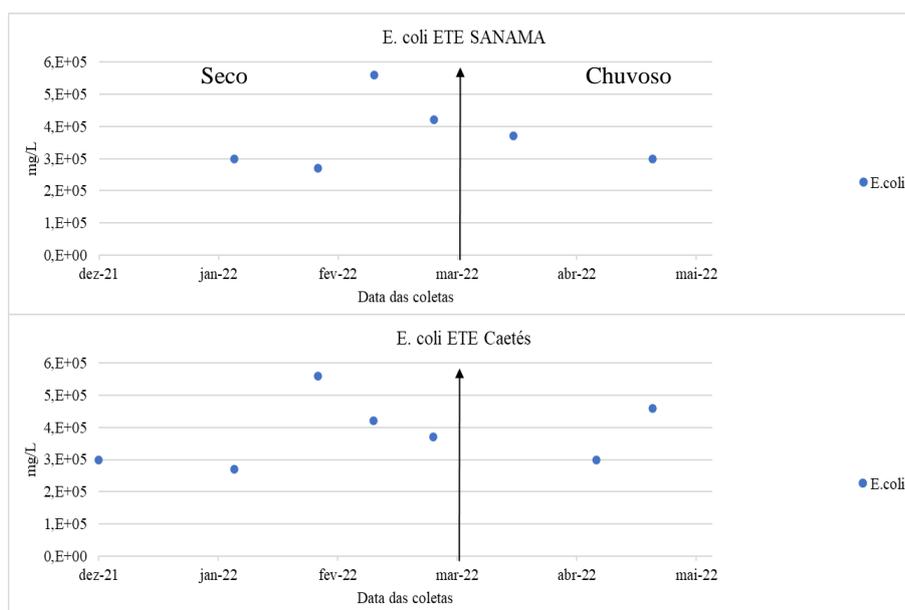


Figura 58 - Parâmetro *E. coli* em períodos secos e chuvosos (ZN ALTA)  
Fonte: Autor, 2022

De forma geral, no período chuvoso, os parâmetros físicos dos esgotos da zona alta da cidade foram cerca de 20% maiores aos do período seco, aumentando a quantidade de materiais inertes, o que pode ser devido ao carreamento de sedimentos, pela chuva, para a rede coletoras. Já com relação aos parâmetros químicos avaliados, no período chuvoso, eles foram cerca de 30% inferior aos do período seco, e a presença de *E. coli* foi 8% menor, sugerindo que as águas de chuva causam uma diluição do esgoto com relação a esses parâmetros.

No entanto, o teste não-paramétrico de Mann-Whitney para identificar semelhanças estatísticas significativas entre os dados em período seco e chuvoso na zona alta da cidade, mostrou um valor de  $p = 0,962$  ( $p \text{ valor} > 0,05$ ), ou seja, não há evidências para rejeitar a hipótese nula levando a um nível de significância de 5% (IC igual a 95%). Isto significa que estatisticamente não há diferenças significativas entre os valores do período seco e chuvoso.

Em relação aos esgotos da zona baixa da cidade não foi possível realizar uma comparação das características dos esgotos no período seco e chuvoso, pois as coletas da zona baixa iniciaram apenas após o início do período chuvoso. No entanto se forem comparados os valores médios das características físico-químicas dos esgotos da zona baixa no período

chuvoso, com os da zona alta no mesmo período, verifica-se que, em geral, os parâmetros cor, turbidez, sólidos, DQO, DBO<sub>5,20</sub>, N-NTK, N-amoniaco, são cerca de 30% menores. O que mostra que independente do aporte de água de chuva as concentrações dos constituintes da rede coletora da zona baixa apresentam menores valores que a zona alta, certamente devido a interferência do lençol freático. A exceção é a presença de *E. coli* que foi 28% maior.

Chama-se atenção para a concentração de cloretos e os metais ferro e manganês que na zona baixa são cerca de 80% maiores que na zona alta, constituintes típicos de águas subterrâneas da zona baixa de Maceió. Isto fortalece a hipótese que a infiltração de água do lençol freático dilui o esgoto durante seu percurso na rede de esgoto.

### **6.3 Características dos esgotos afluentes a unidades centralizadas e descentralizadas**

#### **6.3.1 ETEs da zona alta da cidade de Maceió**

As ETEs localizadas na zona da alta da cidade de Maceió recebem contribuições de esgoto com as características da área de cobertura, levando em consideração a sua população de estrato social predominante tipo C1 e C2. Os sistemas de tratamento compactos implantados nos Conjuntos habitacionais Caetés e Maceió 1 recebem esgotos domésticos, exclusivamente, destes residenciais. Quanto a ETE SANAMA (centralizada), recebe águas residuárias com características mais diversas, visto a ordem de abrangência populacional e de área atendida, ou seja, esgotos domésticos da população que reside na zona alta da cidade e de estabelecimentos comerciais como supermercados, lojas, indústrias artesanais etc.

A Tabela 11 apresenta os valores médios e desvio padrão dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológico do esgoto bruto recebidos nas unidades da zona alta de Maceió.

---

Tabela 11 - Características do esgoto bruto das ETEs estudadas na zona alta

Parâmetros	ETE centralizada		ETE Descentralizada				Estação Elevatória	
	SANAMA		CNJ. MACEIÓ 1		CAETÉS		José Tenório	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
<b>Cor</b>	289,00	±38,9	262,50	±34,88	325,63	±231,08	361,0	±212,9
<b>Turbidez</b>	105,66	±24,25	128,27	±56,50	148,50	±78,22	157,1	±62,6
<b>Sólidos Totais</b>	759,00	±183,09	883,00	±160,12	896,29	±220,02	730,5	±124,2
<b>Sólidos Fixos</b>	410,50	±261,33	364,00	±159,90	445,71	±121,44	307,3	±52,2
<b>Sól. Voláteis</b>	348,50	±217,04	519,00	±131,91	450,57	±157,30	406,7	±94,5
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	698,53	±130,66	715,58	±194,13	711,50	±234,62	696,9	±68,6
<b>DBO<sub>5,20</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	296,50	±160,48	370,08	±64,66	214,90	±100,44	132,7	±51,9
<b>DBO/DQO</b>	0,345	±0,24	0,53	±0,16	0,29	±0,22	0,185	±0,1
<b>N-NTK</b>	42,95	±21,039	48,1	±27,18	49,3	±19,2	41,992	±6,0
<b>N-Amoniacal</b>	29,9	±15,09	40,92	±21,9	25,87	±18,78	20,9	±11,3
<b>Fósforo</b>	5,2	±0,8	5,23	±3,77	7,61	±6,90	8,9	±1,3
<b>pH</b>	7,22	±0,3	7,24	±0,19	7,18	±0,22	7,3	±0,3
<b>Alcalinidade</b>	267,03	±212,56	182,39	±105,70	239,44	±144,48	100,9	±54,1
<b>Sulfatos</b>	51,81	±9,84	37,08	±3,85	49,32	±14,10	21,7	±6,7
<b>Cloretos</b>	237,53	±115,38	206,08	±84,22	194,41	±100,28	204,9	±117,2
<b>Ferro mg/L</b>	2,26	±1,30	1,21	±1,60	1,71	±1,31	1,5	±1,5
<b>Manganês</b>	1,09	±1,07	0,74	±1,33	1,18	±1,14	1,6	±1,9
<b>termotolerante</b>	4,04x10 <sup>5</sup>	±1,13 x10 <sup>5</sup>	4,98 x10 <sup>5</sup>	±1,51 x10 <sup>5</sup>	2,86 x10 <sup>5</sup>	±1,33x10 <sup>5</sup>	3,80 x10 <sup>5</sup>	±3,8 x10 <sup>5</sup>

Fonte: O autor, 2022

Para melhor visualização da variação dos parâmetros físicos cor, turbidez e sólidos nas ETEs estudadas na zona alta de Maceió, foram elaborados os gráficos das Figuras 59 e 60.

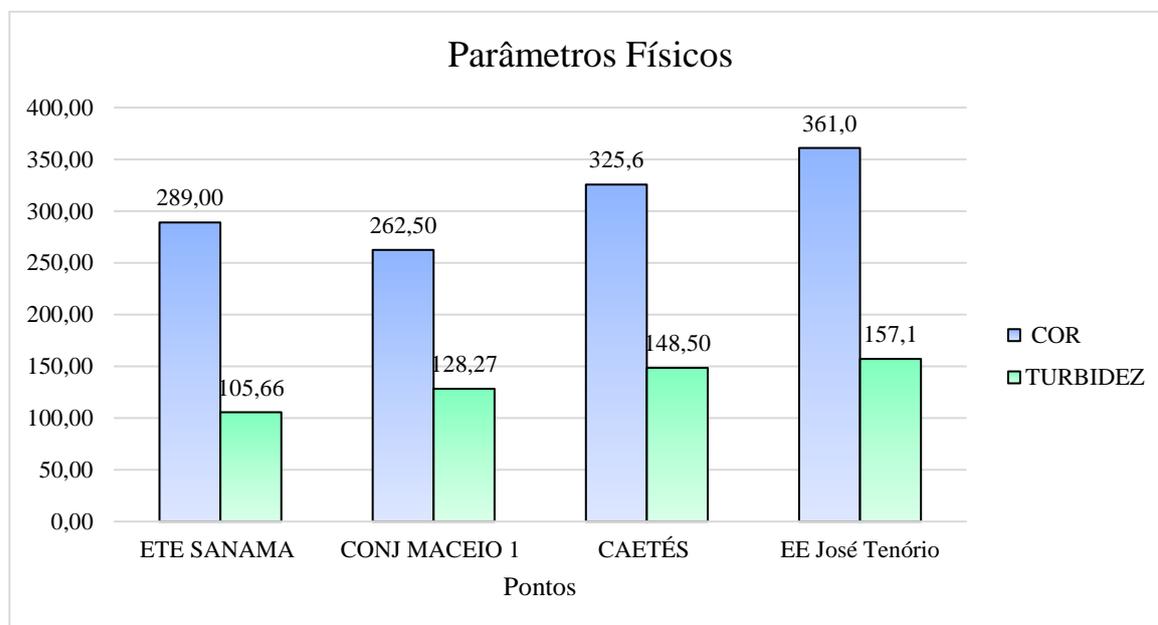


Figura 59 - Gráfico de cor e turbidez (zona alta de Maceió)

Fonte: Autor, 2022

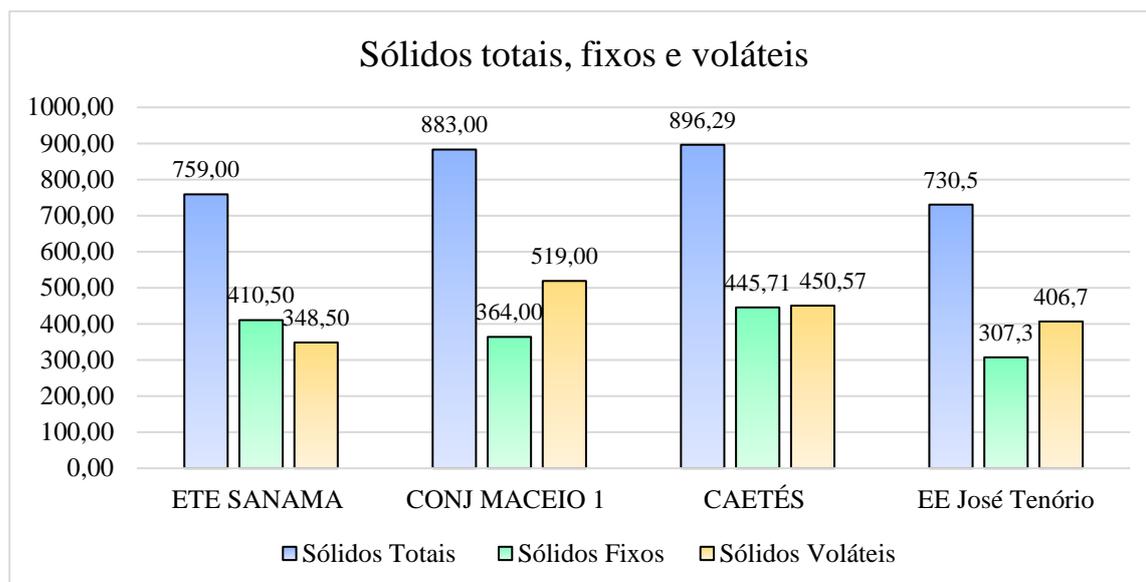


Figura 60 – Gráfico de sólidos totais fixos e voláteis (zona alta de Maceió)

Fonte: Autor, 2022

O esgoto bruto recebido na ETE SANAMA (centralizada), apresentou cor aparente de 289 UC e turbidez de 105 NTU, já o esgoto afluente as ETES descentralizadas 262 UC e 128 NTU para ETE Conj. Maceió 1, 325 UC e 148 NTU para a ETE Caetés, ou seja, os valores da ETE centralizada são intermediários aos das ETES descentralizadas, como pode ser observado no gráfico da Figura 59. A EE do José Tenório apresentou 361 UC e 157,1 NTU.

Os dados de cor e turbidez observados nessas ETES de Maceió são inferiores aos observados no esgoto afluente a uma ETE compacta de uma pequena comunidade no município de Uru/SP, onde foram observados valores médios 692 UC para cor e 531 NTU para turbidez (RIBEIRO; DA SILVA, 2018).

A concentração de sólidos totais ficou em 759 mg/L para a ETE SANAMA (Figura 62) e a relação de SF/ST em torno de 54% indicando predominância de material sólido inerte. Os sólidos totais das ETES descentralizadas foram 883 mg/L para a ETE conj. Maceió 1 e 896 mg/L na ETE Caetés. Com relação a relação SF/ST variaram em torno de 0,41 a 0,5 para as 2 ETES descentralizadas, indicando que cerca de 40 a 50% dos sólidos são materiais inertes.

Quanto a presença de matéria orgânica, medida como DQO e  $DBO_{5,20}$ , os dados comparativos estão apresentados no gráfico da Figura 61 e 62.

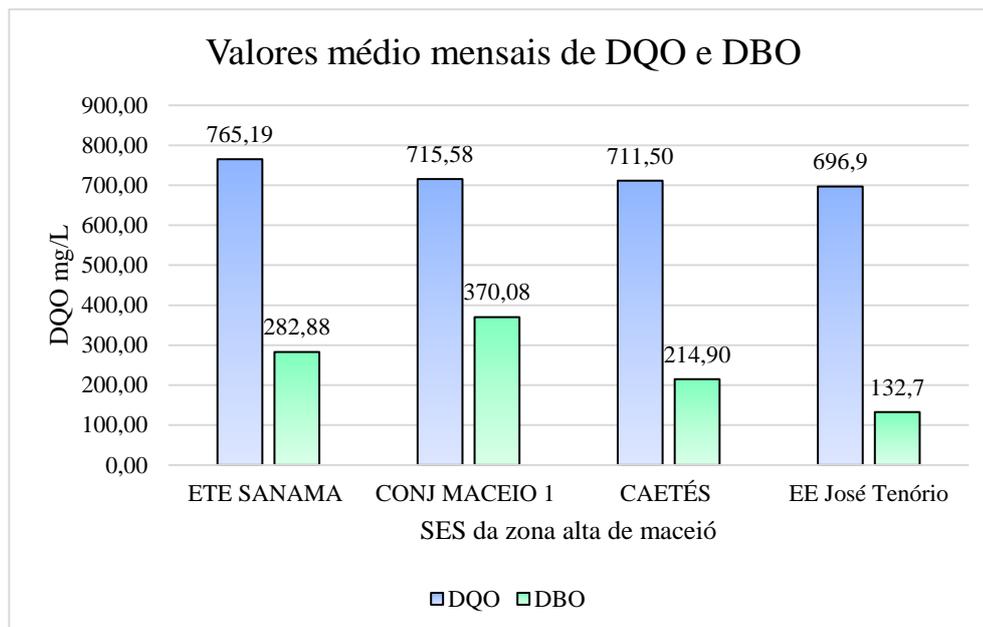


Figura 61 - Valores médio DQO e DBO<sub>5,20</sub> zona alta da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

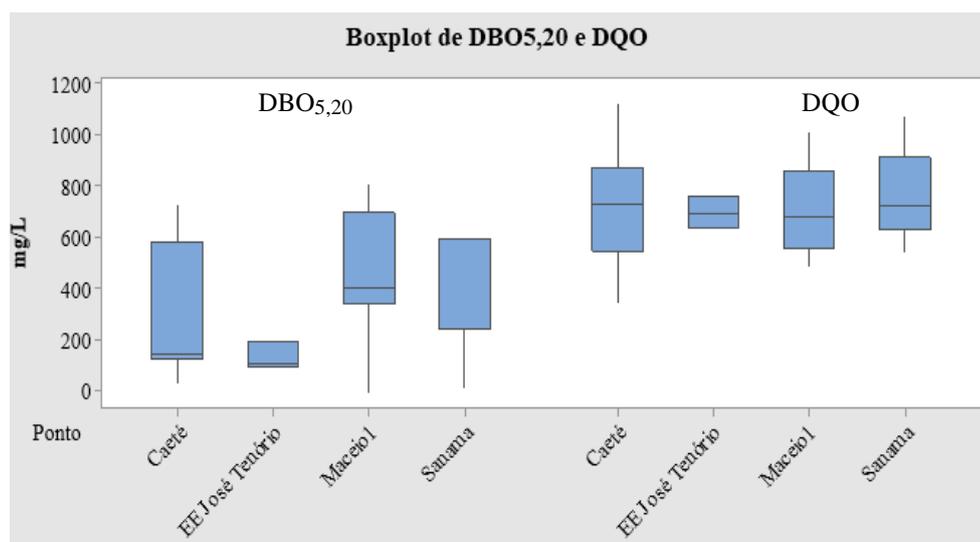


Figura 62 - Boxplot dos valores de DQO e DBO<sub>5,20</sub> das ETES da zona alta da cidade.  
Fonte: Autor, 2022

O valor médio da matéria orgânica presente, medida através da DQO na ETE SANAMA foi 765 mgO<sub>2</sub>/L, levemente superior ao encontrado nas ETE dos conjuntos habitacionais 715, 711 e 696 mgO<sub>2</sub>/L para as ETES, Conj. Maceió 1 e Caetés respectivamente.

Possivelmente o valor superior da DQO na planta da ETE SANAMA pode ser justificado pela abrangência quanto a área e população atendida que recebe também, esgotos de origem comercial e industrial da região, enquanto as ETES dos conjuntos habitacionais limitam a receber esgotos domésticos.

Quanto aos valores médios da DBO<sub>5,20</sub>, a ETE Maceió 1 apresentou valor superior as

outras plantas chegando a uma concentração de 370 mgO<sub>2</sub>/L, ETES compactas do conj. Caetés 214 e mgO<sub>2</sub>/L, e a 132,7 para EE José Tenório 132 mgO<sub>2</sub>/L. A ETE SANAMA apresentou DBO<sub>5,20</sub> de 282 mgO<sub>2</sub>/L, este valor se aproxima aos valores médios encontrados nas análises qualitativas realizadas mensalmente pela empresa SANAMA (Saneamento Alta Maceió SA) através de seus próprios laboratórios e de terceirizados. Em análises feitas do mês de janeiro e abril encontraram uma DBO<sub>5,20</sub> de 288 mgO<sub>2</sub>/L e DQO de 667 mgO<sub>2</sub>/L, valores aproximados ao encontrado por este estudo (SANAMA, 2022)

Avaliando a biodegradabilidade dos esgotos das ETES da zona alta. As ETES SANAMA e Caetés, apresentaram DBO/DQO de 0,34 e 0,29, respectivamente, mostrando que o esgoto, apesar de receber em sua maioria contribuições de origem doméstica tem biodegradabilidade inferior aos esgotos da ETE Maceió 1 apresentou relação DBO/DQO de 0,53, que mostra ser um esgoto de fácil biodegradabilidade.

No *boxplot* da Figura 64 é possível observar que a DQO da ETE SANAMA (centralizada) apresenta maior variação que o das ETES compactas, no entanto o mesmo não se observa para a DBO<sub>5,20</sub>. A maior variação da DQO na ETE centralizada pode estar relacionada a maior variabilidade de contribuições de esgotos que está ETE recebe em comparação com as ETES descentralizadas que recebem predominantemente esgotos domésticos.

Quanto aos valores de DQO, a mediana dos esgotos da ETE Caetés se localiza próximas da região central, e a das ETE Maceió 1 e ETE SANAMA apresentaram leve assimetria negativa, onde esta última apresentou o maior intervalo interquartil. Já para a DBO<sub>5,20</sub>, todas as caixas do diagrama *boxplot* apresentam distribuições de dados assimétricas negativas. Em nenhum dos casos foram detectados a presença de valores atípicos (*outliers*).

A presença dos nutrientes nitrogênio e fosforo nos esgotos das diferentes ETES da zona alta estão apresentados no gráfico da Figura 63.

---

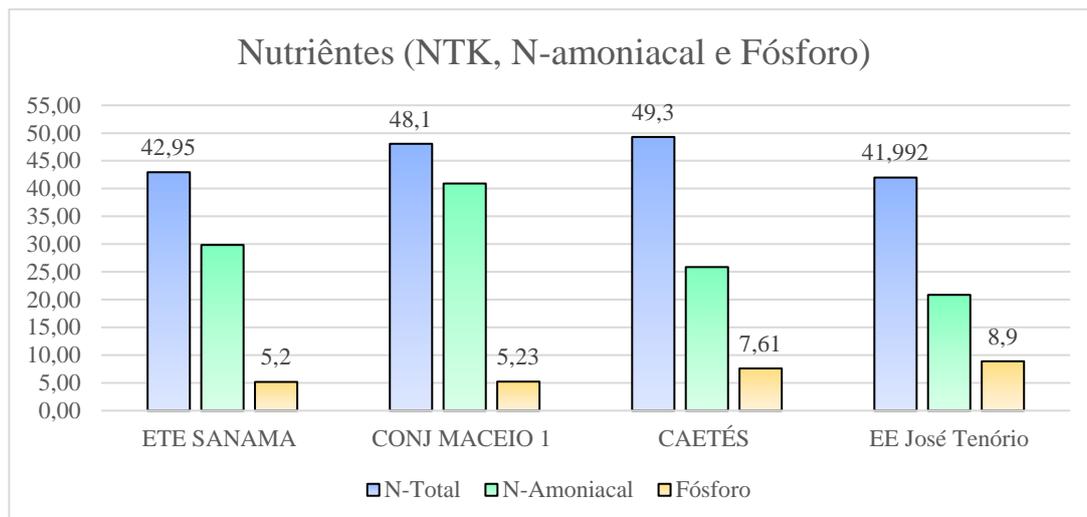


Figura 63 - Valores médios de nutrientes no esgoto da zona alta da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

O N-NTK dos esgotos das ETES descentralizadas apresentaram-se com valores semelhantes (CAETÉS com 49,3 mgN/L e Maceió 1 com 48,1 mgN/L) e superiores aos valores observados na ETE centralizada da SANAMA (42,95 mgN/L). Com relação ao N-amoniacaal o esgoto da ETE CAETES apresentou maior concentração 40,9 mgN/L, a SANAMA em segundo lugar 29,9 mgN/L. Quanto a EE José Tenório a concentração encontrada foi de 41,99 mgN/L.

O parâmetro fósforo, o esgoto da ETE descentralizada do MACEIÓ 1 apresentou o maior valor médio de 7,61 mgP/L, enquanto as demais ETES apresentaram valores médios de 5,2 mgP/L. A EE na zona alta da cidade apresentou o maior valor de fósforo 8,9 mgP/L.

Silva (2018), realizou a caracterização do esgoto afluente de 3 ETES compactas descentralizadas em condomínios de classe média na zona alta de Maceió obtendo resultados semelhantes. Os valores dos nutrientes N-NTK e fósforo encontrados por esta autora foi, respectivamente, 49,3 mg.N/L e 6,8 mgP/L para ETE A, 51,7 mg.N/L e 6,7 mg.P/L para ETE B e 51,7 mg.N/L e 6,7 mg.P/L para ETE C.

Percebe-se que os valores encontrados são próximos aos apresentados pelas ETES SANAMA, Conj. Maceió 1, Caetés e José Tenório onde os esgotos de todas as ETES apresentadas podem ser considerados de acordo com a literatura de média para alta concentração (Metcalf; Eddy, 2016).

De acordo com a CONAMA 430/2011 que dispõe sobre os padrões de lançamento e segundo os valores encontrados de nitrogênio amoniacaal o descarte não poderia ser feito sem o devido tratamento implicando na poluição e potencialidade de causar eutrofização nos corpos hídricos receptores.

Quanto ao potencial hidrogeniônico (pH), os valores observados nas 3 ETEs estão apresentados nos gráficos das Figuras 64 e 65.

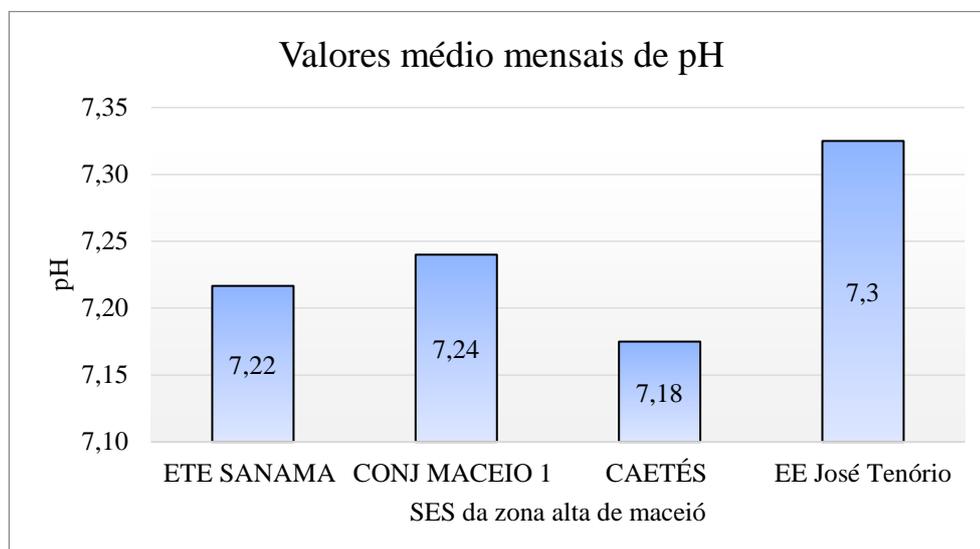


Figura 64 - Valores médios do pH do esgoto da zona alta da cidade de Maceió  
Autor,2022

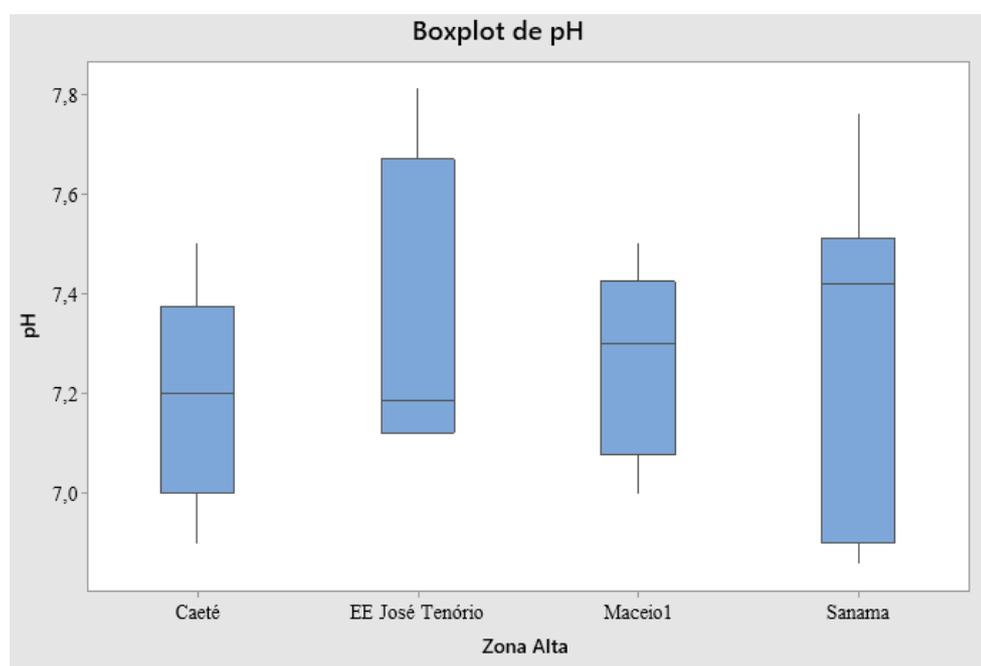


Figura 65 - Boxplot dos valores de pH das ETEs da zona alta da cidade.  
Fonte: Autor, 2022

O pH médio foi superior a 7,0 nas três ETEs apresentado no gráfico (Figura 64) com valor de 7,22 na ETE SANAMA. O pH do esgoto bruto se manteve na faixa de 7,24 e 7,18 e 7,3 nas ETEs Caetés, ETE Conj. Maceió 1 e EE José Tenório, respectivamente. Os valores de pH se apresentaram dentro da neutralidade situação em favorável e ideal para esgotos brutos serem submetidos a tratamentos biológicos.

O *boxplot* ilustrado na Figura 67 mostra uma distribuição interquartílica assimétrica levemente negativa para a ETE Caetés e mediana próxima ao centro da caixa. Quanto a ETE Maceió 1 apresenta uma amostra simétrica de dados, enquanto a EE José Tenório e ETE SANAMA apresentam distribuições dos dados de forma assimétrica positiva e negativa, respectivamente, sem a presença de valores anormais.

Os valores médios e a variação da alcalinidade nos esgotos das ETEs estão mostrados nas Figuras 67 e 68.

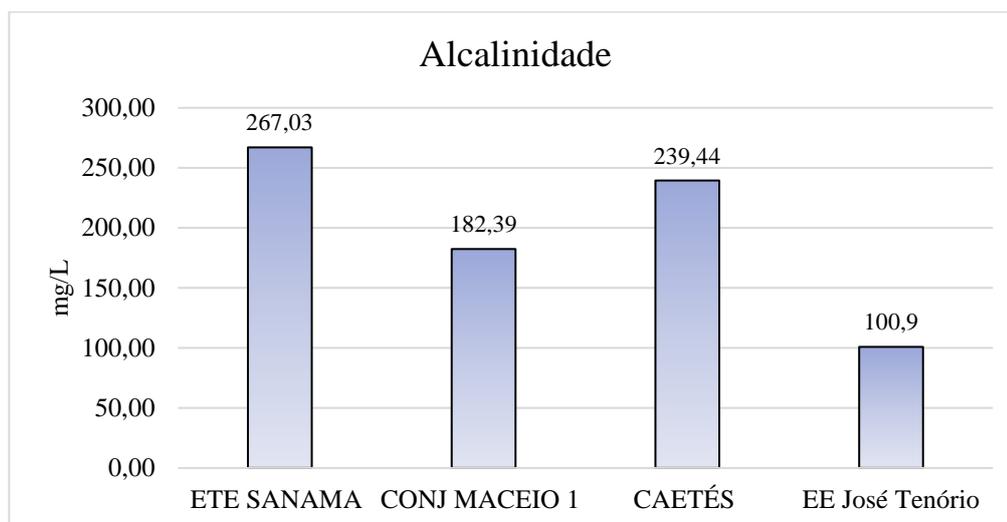


Figura 66 - Valores médios da alcalinidade do esgoto da zona alta da cidade.  
Fonte: Autor,2022

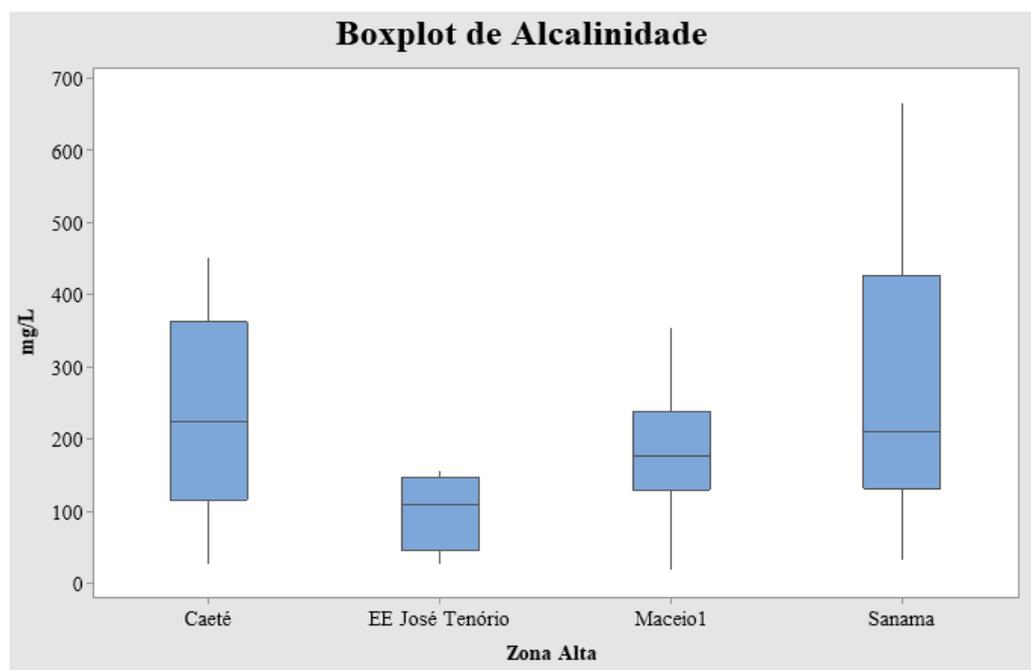


Figura 67 - Valores médios da alcalinidade do esgoto da zona alta da cidade.  
Fonte: Autor,2022

Os valores da alcalinidade foram 267, 182, 239 e 100,9 mgCaCO<sub>3</sub>/L,

respectivamente, nos pontos ETE SANAMA, ETE Conj. Maceió, ETE Caetés e EE José Tenório, sendo o maior valor observado na ETE centralizada da SANAMA.

Com relação aos metais analisados, ferro e manganês, os valores médios e a variação da observadas estão mostradas nas Figuras 68 e 69.

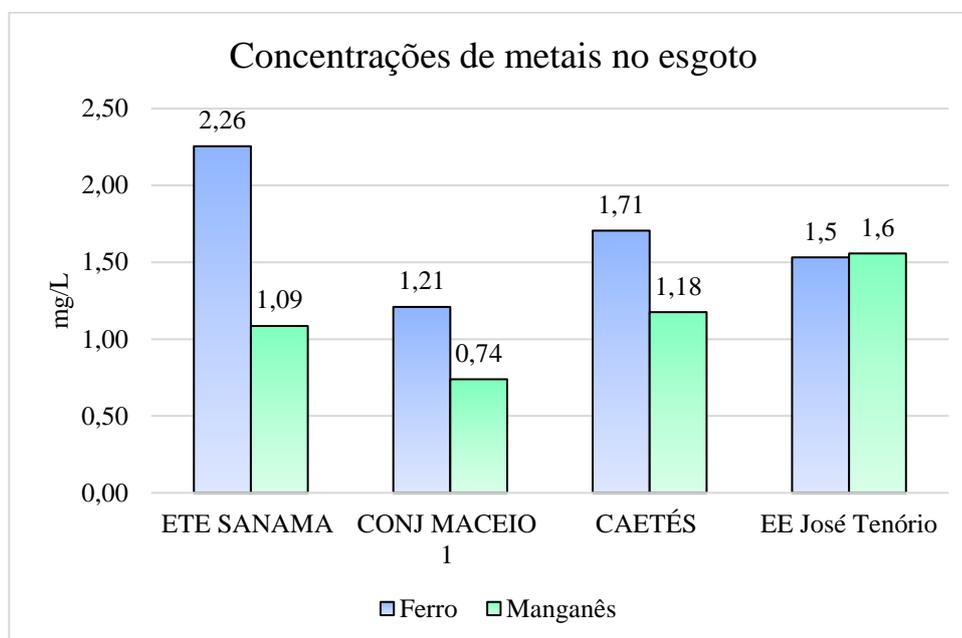


Figura 68 - Valores médios de metais no esgoto da zona alta da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

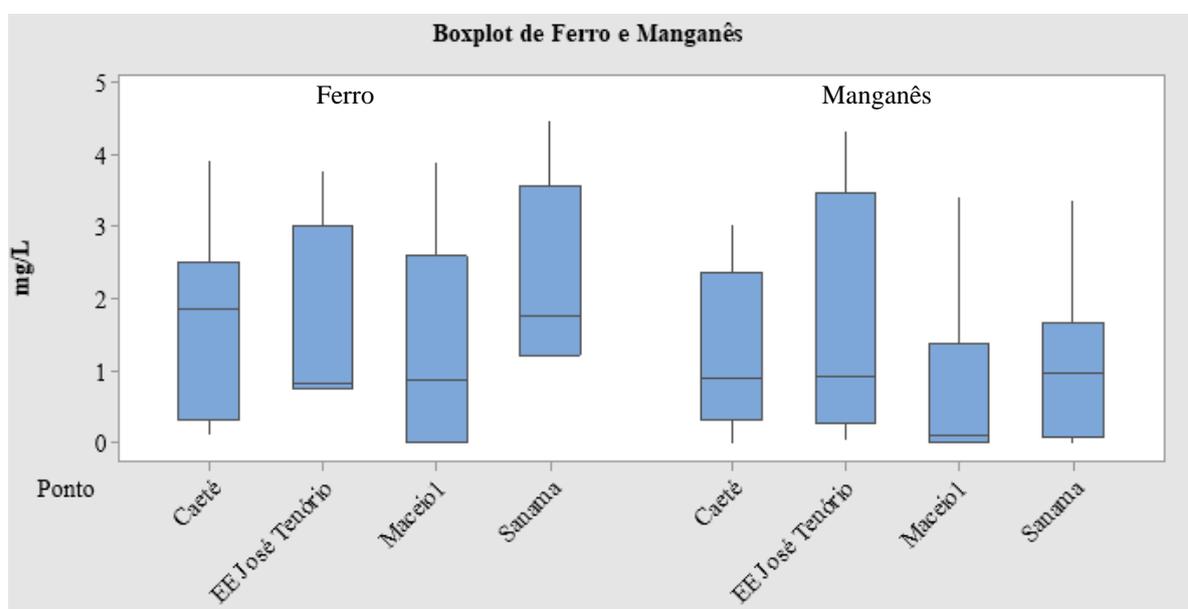


Figura 69 - Valores médios de metais no esgoto da zona alta da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

Verifica-se a presença de ferro (Fe) e manganês (Mn) em concentrações de 2,3 e 1,1 mg/L na ETE SANAMA, 1,2 e 0,7 mg/L para ETE Maceió 1, 1,7 e 1,8 mg/L para ETE Caetés

respectivamente. Os valores são semelhantes ao encontrado por Costa et al. (2013) em caracterização do esgoto bruto de uma ETE localizada município Sideral/PA, o autor encontrou concentrações máxima de 2,2 mgFe/L e a mínima de 1,4 mgFe/L para o Fe e 0,2 mgFe/L e 0,05 mgMn/L para o Mn.

A CONAMA 430/2011 define a concentração máxima de 15 mg/L para Fe e 1,0 mg/L para Mn, ou seja, o esgoto bruto apresenta concentração baixa para Fe e alta para Mn. É importante lembrar que alguns constituintes metálicos em concentrações adequadas são nutrientes necessário para o crescimento biológico como é o caso do Mn e do Fe.

Quanto as características microbiológicas, foram analisadas à presença da *Escherichia coli* (*E. coli*), cujos valores médios e variação apresentados nas Figuras 70 e 71.

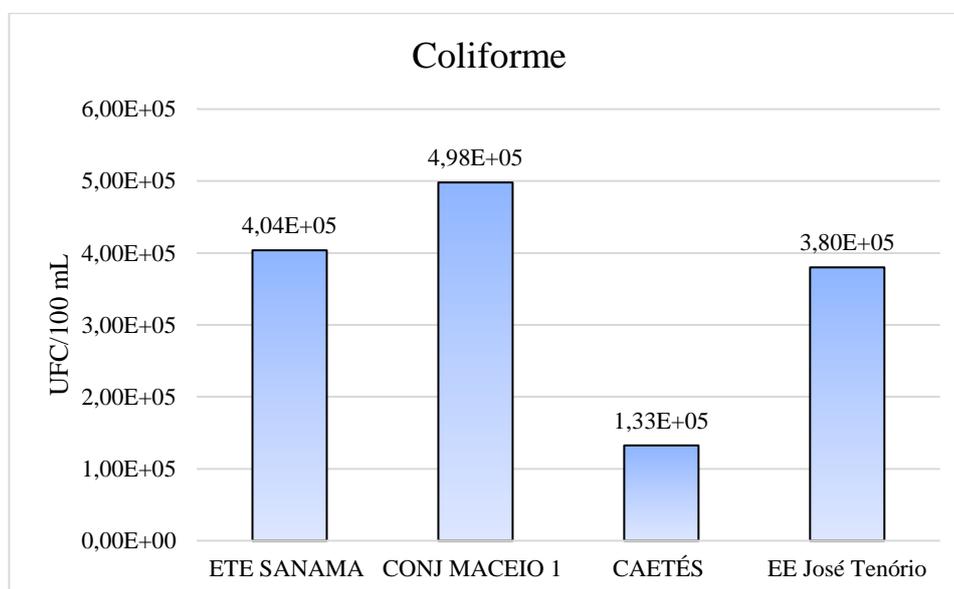


Figura 70 - Gráfico de *E. coli* nas ETEs da zona alta  
Fonte: Autor, 2022

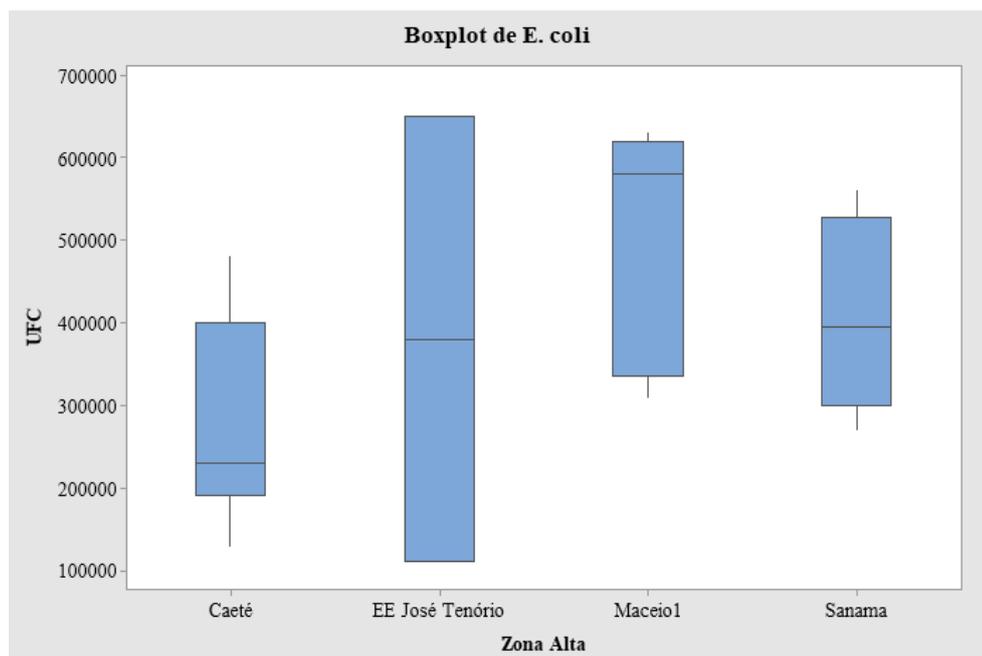


Figura 71 - Boxplot de E. coli nas ETES da zona alta

Fonte: Autor, 2022

No esgoto bruto das 3 ETES foi observado o seguinte comportamento: ETE SANAMA e ETE Maceió 1 apresentaram os maiores valores  $4,04 \times 10^5$  e  $4,98 \times 10^5$  NMP/100/mL, respectivamente, enquanto a ETE Caeté apresentou  $1,33 \times 10^5$  NMP/100mL e a EE José Tenório  $3,8 \times 10^5$ . A empresa SANAMA no seu relatório sobre a qualidade do esgoto bruto recebido na sua ETE apresenta um valor médio de coliformes termotolerantes (inclui *E. coli* e outros organismos de origem fecais) na ordem de  $4,03 \times 10^7$ . Os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza ( $10^5$ ) e classificam os esgotos afluentes as ETES como típicos esgotos sanitários de média concentração.

As características dos esgotos das ETES centralizadas e ETES descentralizadas não apresentaram diferenças significativas entre si. Somente a DQO da ETE centralizada é que se apresentou 10% maior que a das descentralizadas, e com maior variação dos valores de praticamente todos os parâmetros analisados, certamente causado pela abrangência quanto a área e população atendida que recebe esgotos de diferentes origens. Mesmo assim, todos eles se enquadram em relação aos parâmetros físico-químicos, como esgoto sanitário típico de alta concentração, parâmetros biológicos (*E. Coli*) típicos de esgotos de baixa concentração, e não atendem aos padrões de lançamento da CONAMA 430/2011, precisando de tratamento para serem descartados em leito seco ou corpos de água receptores.

### 6.3.2 ETES da zona baixa da cidade de Maceió

A ETE do Emissário está localizada na bacia de drenagem “Sul do Oceano Atlântico”

que é densamente ocupada, com aproximadamente 16% da população de Maceió. Nesses locais há redes coletoras, EEEs, interceptores e coletores-tronco que drenam as bacias da zona baixa da cidade e de parte do bairro farol, encaminhando-os a ETE do Emissário para tratamento e posterior descarte oceânico dos efluentes tratados. Dessa forma os esgotos são representativos de uma mistura de população com diferentes classes sociais.

As EEEs (Elevatória de Esgoto) da Praça Lions e do Castelo Branco estão localizadas na bacia de esgotamento sanitário “Sudeste Oceano Atlântico” nos bairros da Pajuçara e Jatiúca, respectivamente, duas regiões densamente ocupada e com características socioeconômicas mais favorecidas. Estas EEEs recalcam as águas residuais de uma área repleta de clínicas, hospitais, shoppings, centros comerciais e condomínios residenciais, para a rede coletora de esgoto e posteriormente são destinadas a ETE do emissário submarino.

A EE da Levada está localizada na bacia de esgotamento “lagunar” em uma área totalmente urbanizada de ocupações irregulares e aglomerados subnormais às margens da laguna mundaú. As características socioeconômicas da população que contribui para área são menos favorecidas, a EEE encaminha os esgotos para a ETE do emissário submarino.

Os valores médios e o desvio padrão observados para os efluentes da zona baixa estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Características do esgoto bruto da ETE centralizada e EEs setorizadas - zona baixa

Parâmetros	ETE Centralizada		Estações Elevatórias (EE)					
	Emissário		Praça Lions		Castelo Branco		Levada	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
<b>Cor, UC</b>	165,0	±20,3	262,7	±37,1	244,8	±38,5	154,2	±36,8
<b>Turbidez, UNT</b>	60,0	±17,6	78,3	±18,2	79,8	±11,9	44,9	±16,3
<b>Sólidos Totais</b>	656,0	±178,5	810,4	±203,2	681,3	±156,0	699,2	±171,3
<b>Sólidos Fixos</b>	332,0	±171,9	414,4	±181,9	252,0	±101,0	400,0	±187,6
<b>Sól. Voláteis</b>	324,0	±60,9	396,0	±98,2	429,3	±77,6	299,2	±71,2
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	393,7	±318,8	417,8	±201,6	445,8	±322,9	460,1	±203,1
<b>DBO<sub>5,20</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	190,2	±132,4	220,2	±84,4	133,0	±63,7	239,6	±136,2
<b>DBO/DQO</b>	0,446	±0,302	0,472	±0,2	0,284	±0,3	0,488	±0,333
<b>N-Total</b>	24,9	±14,146	37,135	±16,4	39,455	±7,4	34,259	±22,750
<b>N-Amoniacal</b>	17,8	±17,6	20,0	±13,0	11,3	±9,4	20,0	±9,7
<b>Fósforo</b>	6,4	±4,0	8,3	±9,0	8,9	±9,9	8,1	±3,5
<b>pH</b>	7,3	±0,3	7,3	±0,2	7,1	±0,7	7,2	±0,4
<b>Alcalinidade</b>	173,4	±107,5	234,5	±9,2	124,5	±85,7	152,8	±91,3
<b>Sulfatos</b>	49,3	±35,0	74,3	±42,7	60,2	±63,4	57,7	±49,9
<b>Cloretos</b>	187,7	±128,5	331,5	±69,3	141,4	±86,3	323,5	±91,5
<b>Ferro mg/L</b>	1,2	±0,7	1,6	±1,2	2,9	±1,6	0,6	±0,5

Parâmetros	ETE Centralizada		Estações Elevatórias (EE)					
	Emissário		Praça Lions		Castelo Branco		Levada	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Manganês	2,4	±4,9	0,8	±0,6	0,6	±0,7	0,6	±0,5
<i>E-coli</i>	4,9x10 <sup>5</sup>	±1,91x10 <sup>5</sup>	4,56x10 <sup>5</sup>	±2,4x10 <sup>5</sup>	3,76x10 <sup>5</sup>	±2,4x10 <sup>5</sup>	4,08x10 <sup>5</sup>	±1,66x10 <sup>5</sup>

Fonte: o autor, 2022.

Verifica-se que os esgotos da zona baixa de Maceió apresentam cor variando de 165 UC a 272 UC e turbidez 54 UT a 79 UT. Ambos os valores inferiores ao da zona alta que variaram de 262 a 325 UC e turbidez entre 105 UT e 148 UT.

Os sólidos totais do esgoto afluyente a ETE centralizada do Emissário apresentou o menor valor médio 656 mg/L, os SF 332,0 e SV 324,0 mg/L, enquanto o esgoto afluyente a EE da Praça Lions apresentou o maior valor ST de 810 mg/L, SF de 414 mg/L e SV de 396 mg/L.

Esses valores são ligeiramente inferiores aos da zona alta da cidade, que apresentou valor mínimo de 759 mg/L e máximo de 896 mg/L. A série de sólidos encontradas no esgoto da EE da Castelo branco foi na ordem de 681,3 mg/L, SF de 252,0 mg/L e SV de 429,3 mg/L. Para a EE Leva fora encontrado ST de 699,2 mg/L de SV 400,00 mg/L e de SF 299,2 mg/L.

Para melhor visualização da variação dos parâmetros físicos cor, turbidez e sólidos nas unidades da zona baixa de Maceió, foram elaborados os gráficos das Figuras 72 e 73.

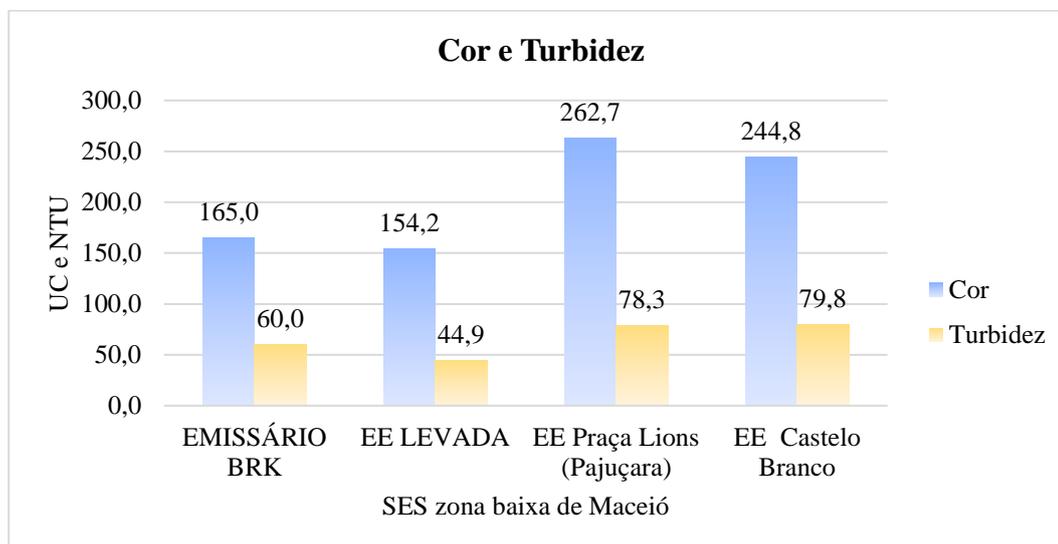


Figura 72 - Cor e turbidez dos esgotos da zona baixa da Cidade de Maceió

Fonte: Autor, 2022

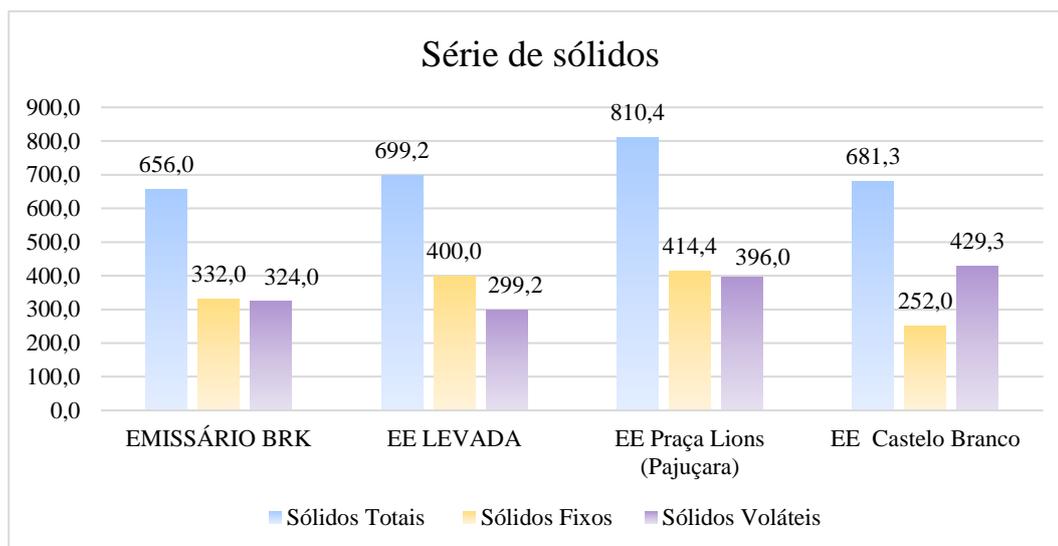


Figura 73 - Série de sólidos da zona baixa da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

A Tabela 13 apresenta uma relação das frações orgânicas e inorgânicas presentes no esgoto a partir da série de sólidos. Na ETE emissário há uma relação de equilíbrio entre o material biodegradável e fração inerte, o mesmo ocorre com as EE praça Lions e EE Levada, entretanto EE Castelo Branco apresenta uma parcela de 63% de material orgânica e 37% de material inerte no esgoto.

Tabela 13 - Relação de matéria orgânica e matéria inerte

Relações de sólidos	ETE Emissário	EE Praça Lions	EE Castelo Branco	EE Levada
SF/ST	0,5	0,52	0,37	0,57
SV/ST	0,5	0,48	0,63	0,43

Fonte: Autor, 2022

Os valores médios de DQO e DBO<sub>5,20</sub>, dos esgotos que chegam as EEs em estudo e seguem para ETE centralizada Emissário na região baixa da cidade, estão apresentados nas Figuras 74.

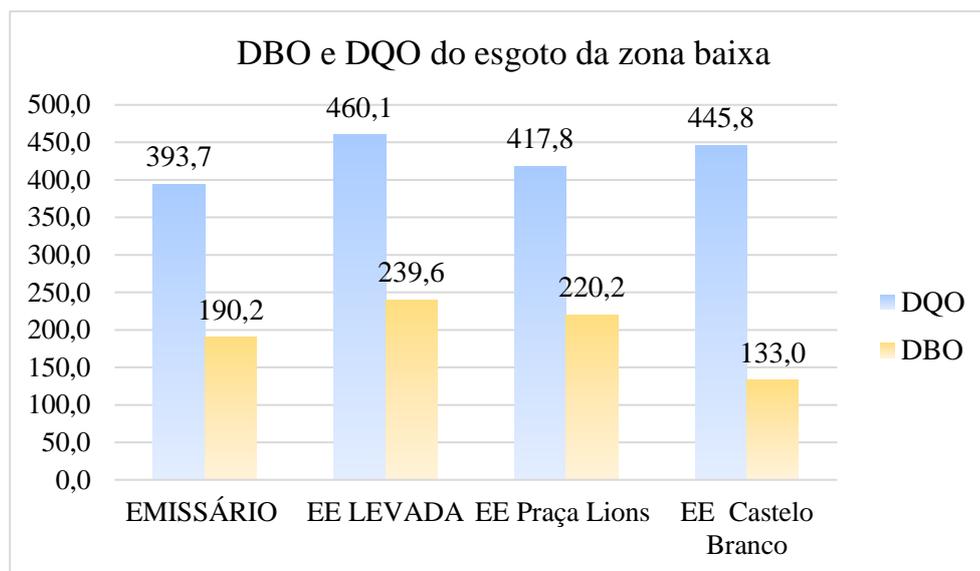


Figura 74 - Gráfico com a DBO<sub>5,20</sub> e DQO da zona baixa da Cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

Inversamente ao que se verificou na zona alta, a concentração da matéria orgânica presente no esgoto afluente a ETE centralizada do Emissário, medida através da DQO apresentou valor menor (393 mg/L) que a das EEs setorizadas, que variaram entre 417,8 mg/L para a EE Praça Lions, 445,8 mg/L para a EE Castelo Branco e de 460,1 mg/L para a EE da Levada, uma região socioeconomicamente menos favorecida, mas que abriga o mercado público entre outras contribuições advindas do setor comercial.

Os valores menores de DQO da zona baixa da cidade ao serem comparados com os da zona alta apresentam menores valores. Isto pode estar relacionada as infiltrações que ocorrem ao longo da rede de coletora até chegar ao seu destino, pois influenciam nas infiltrações fatores como extensão da rede, área total atendida, topografia e densidade populacional, profundidade do aquífero, logo precisa ser levado em consideração uma possível diluição do esgoto no decorrer das tubulações. Da mesma forma pode justificar o valor inferior da DQO da ETE do Emissário as mesmas infiltrações podem ocorrer das tubulações saindo das EE até a ETE centralizada.

A literatura indica que a biodegradabilidade do esgoto está ligada diretamente a relação DBO/DQO quanto menor esta relação, menor é sua biodegradabilidade. Logo, a ETE Emissário apresentou relação DBO/DQO de 0,48, a EE da P. Lions e EE Levada de 0,52 e a EE C. Branco 0,29, possuindo o esgoto menos biodegradável.

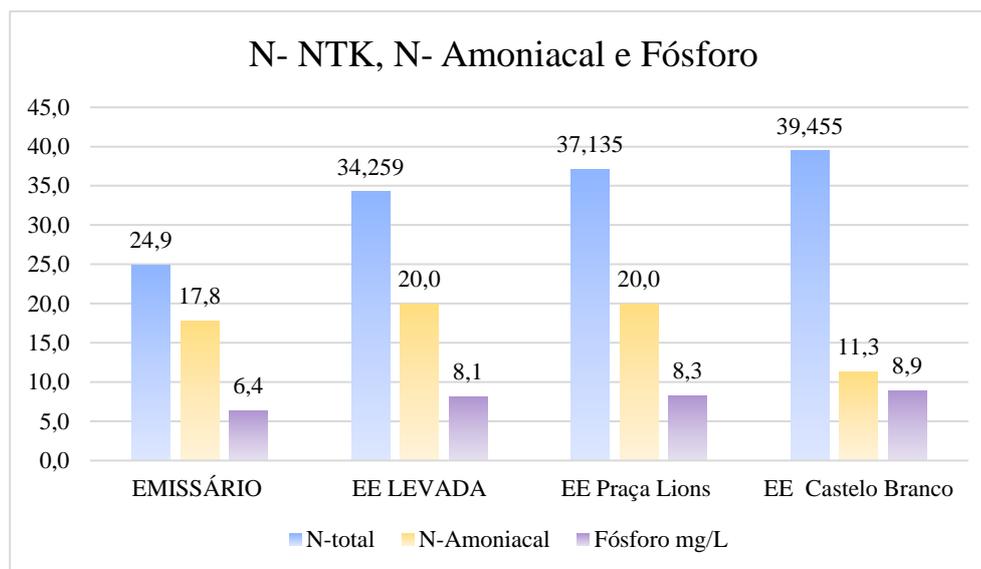


Figura 75 - Gráfico com a N e P da zona baixa da Cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

O N-amoniaco variou de 11 mg.N/L a 20 mg.N/L estando dentro da faixa exigida pela CONAMA 430 para uma eventual disposição pós-tratamento adequado. Os valores de N-amoniaco (Figura 75) dos esgotos da zona baixa da cidade também são inferiores aos observados na zona alta, que variou de 29 mg.N/L a 40 mg.N/L.

A Presença do fósforo nos esgotos das ETEs e EE foram mais equilibradas, a ETE Emissário apresentou a menor concentração entre as plantas da zona baixa da cidade, 49,3 mg/L, a EE Levada e Castelo Branco apresentaram uma concentração de 57,7 e 60,2 respectivamente e os esgotos da EE P. Lions apresentou o maior valor de 74,3, sendo o único entre elas considerado de alta concentração, as demais caracterizam esgotos típicos de média concentração.

Os valores médios do pH e alcalinidade dos esgotos das ETEs da zona baixa estão apresentados na Figura 65, e os valores médios dos cloretos e sulfatos estão apresentados na Figura 75.

O pH (Figura 76) médio é próximo a neutralidade (variou de 5,9 a 7,3) com alcalinidade média com valores entre 124 e 234 mg/L, ligeiramente menor que a alcalinidade média dos esgotos da zona alta que variou entre 182 mg/L e 274 mg/L.

O cloro na forma de íon cloreto é um dos principais ânions inorgânicos no esgoto, pois os dejetos humanos e animais possuem grandes quantidades de cloretos, assim como a proximidade com os mares e lagoas podem contribuir para esses valores elevados, como é o caso da zona baixa de Maceió.

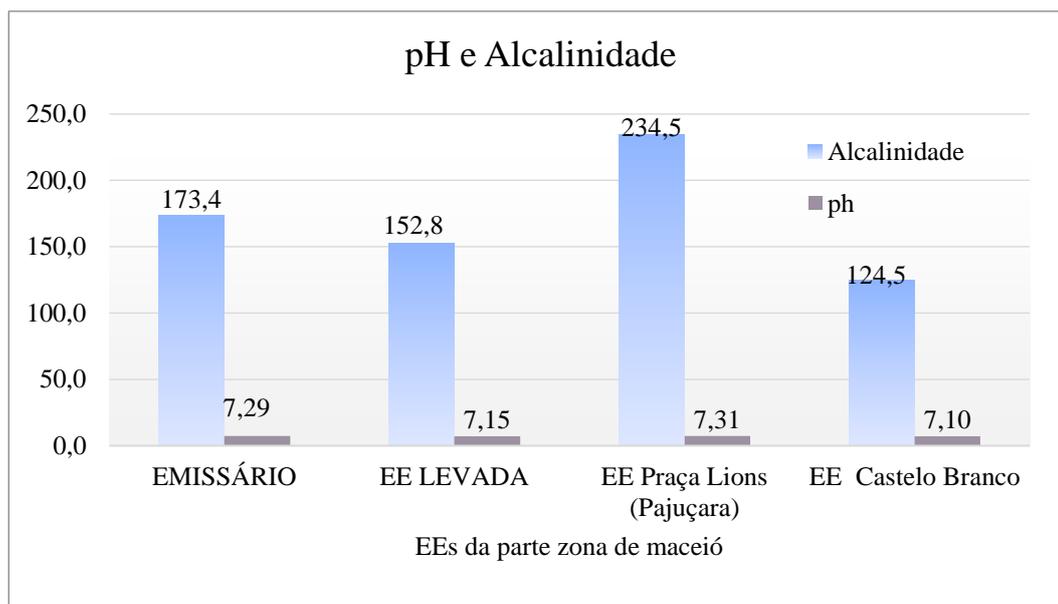


Figura 76 - Gráfico pH e Alcalinidade do esgoto da zona baixa da cidade

Fonte: Autor, 2022

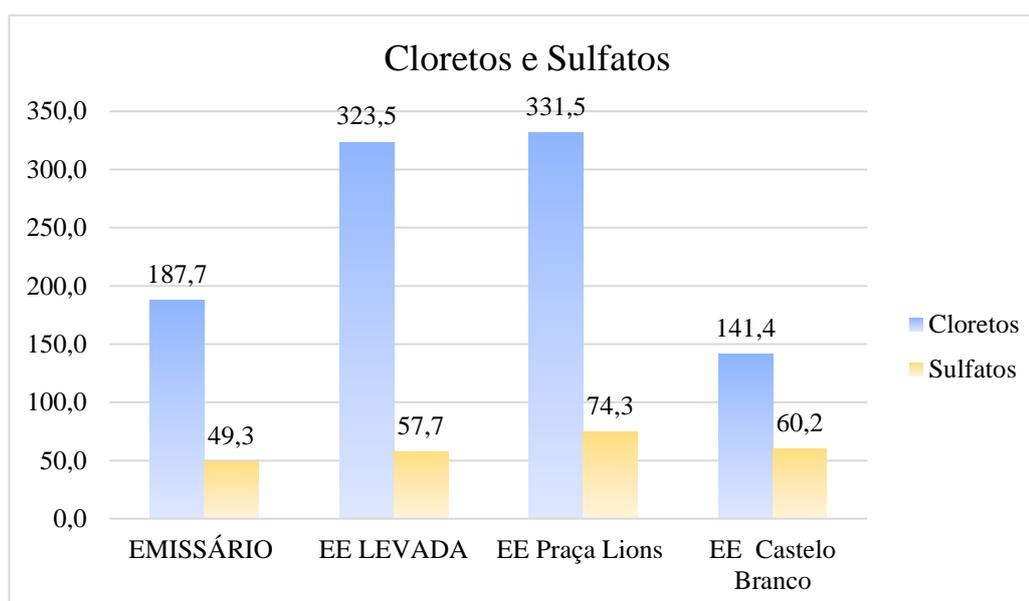


Figura 77 - Cloretos e Sulfatos no esgoto da zona baixa da cidade

Fonte: Autor, 2022

O esgoto afluente as ETEs apresentaram concentrações elevadas de cloretos Figura 77. A ETE centralizada emissário junto a EE Castelo Branco apresentaram os menores valores 187,7 mg.Cl/L e 141,4 mg.Cl/L respectivamente. As EE Levada e Praça Lions apresentaram as maiores concentrações ficando com 323,5 mg.Cl/L e 331,5 mg.Cl/L. De acordo com a literatura de Metcalf e Eddy, (2016) os valores acima de 118 mg/L de cloretos nos esgotos são considerados de alta concentração, estando todas as 4 plantas acima deste valor.

A presença de Ferro e Manganês (Figuras 78 e 79) nos esgotos das ETEs e EEs estão dentro dos padrões de lançamento da CONAMA 430 de 2011, apresentando concentrações menores do que o exigido, 15 mg/L e 1,0 mg/L para Fe e Mn respectivamente, com exceção da ETE Emissário foi encontrado 2,4 mg.Mn/L.

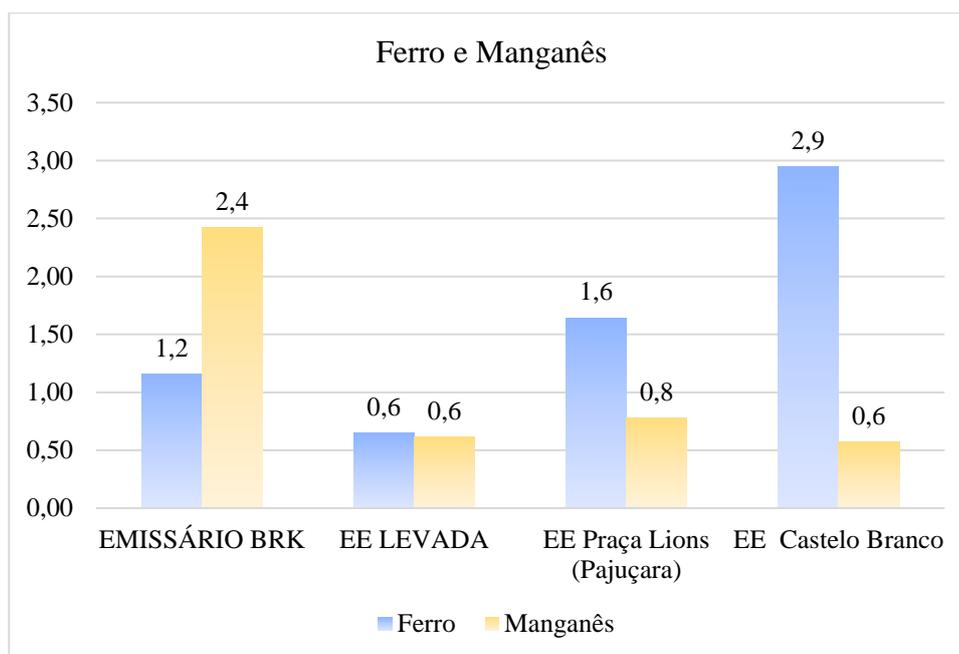


Figura 78 - Ferro e manganês no esgoto da baixa da cidade de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

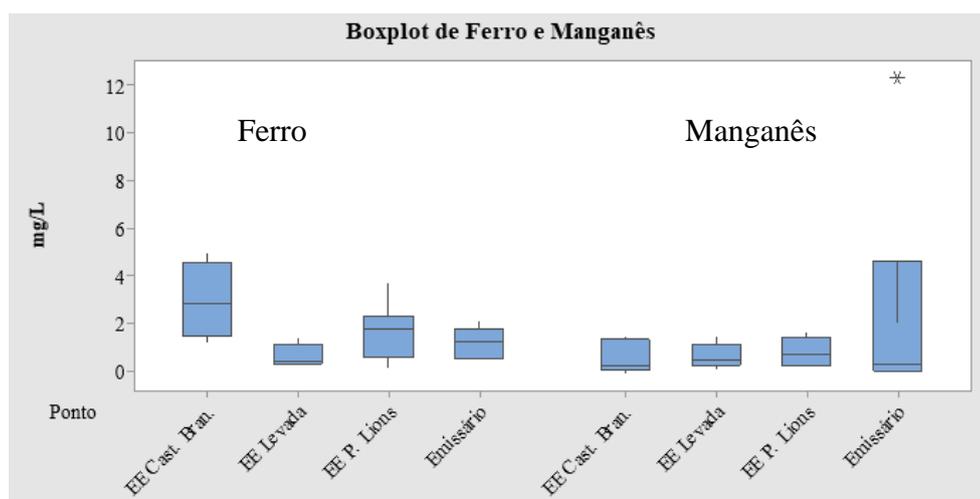


Figura 79 - Boxplot DBO<sub>5,20</sub> e DQO zona baixa da cidade  
Fonte: Autor, 2022

Por fim, as concentrações E. coli observadas nos quatro pontos estudados estão ilustradas na Figura 82.

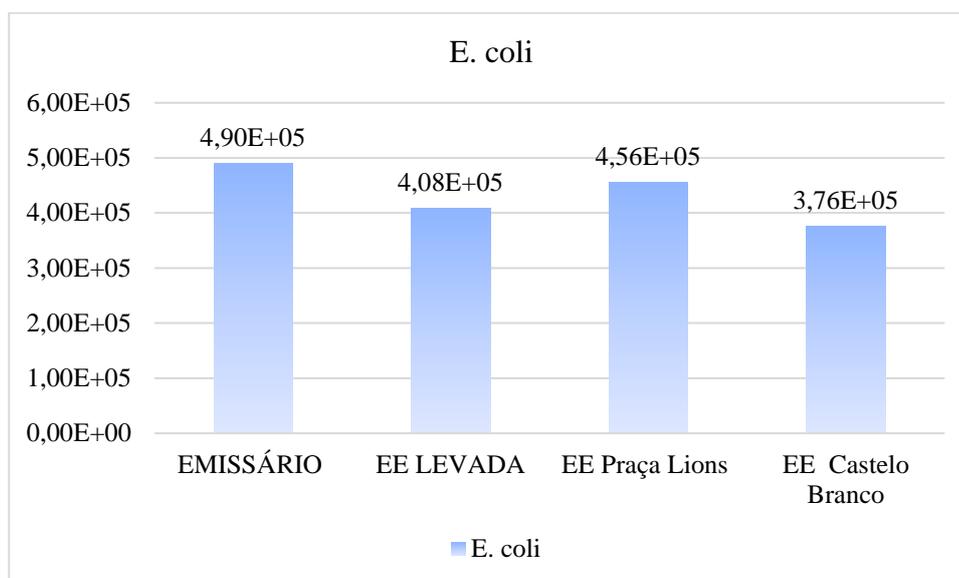


Figura 80 - Concentração de Escherichia Coli no esgota da zona baixa de Maceió  
Fonte: Autor, 2022

Pelo gráfico se verifica que as concentrações de *E. coli*, apresentaram maiores concentrações nos esgotos da ETE Emissário  $4,9 \times 10^5$ , seguida da EE. P. Lions com  $4,56 \times 10^5$ , EE Levada com  $4,08 \times 10^5$  e EE C. Branco com  $3,76 \times 10^5$ , todas características de esgotos de média concentração.

As características dos esgotos da ETEs centralizada do emissário e das EEs setorizadas não apresentaram diferenças significativas entre si. Somente a DQO da ETE centralizada do emissário, é que se apresentou valor cerca de 10% menor que os esgotos das EEs setorizadas certamente devido a diluição causadas pela infiltração de água na rede ao longo da rede coletora da zona baixa. Mesmo assim, todos eles se enquadram (de acordo com Metcalf e Eddy, 2016), em relação aos parâmetros físico-químicos, como esgoto sanitário típico de média concentração, com parâmetros biológicos (*E. Coli*), típicos de esgotos de baixa concentração, e não atendem aos padrões de lançamento da CONAMA 430/2011, precisado de tratamento para serem descartados em leito seco ou corpos de água receptores.

De modo geral, não se notou diferença estatisticamente significativa entre a qualidade dos esgotos brutos da ETE centralizada quando comparadas as ETEs descentralizadas da zona alta, assim como também os esgotos da ETE centralizada do emissário com os das EEs setorizadas da zona baixa. Entretanto ao comparar a qualidade do esgoto das ETEs centralizada e EEs setorizadas da zona baixa (Emissário) com as ETEs compactas e descentralizadas da zona alta, é possível verificar que os esgotos da zona alta possuem concentrações mais elevadas.

#### 6.4 Caracterização de esgoto hospitalar

Os efluentes do Hospital público em estudo são tratados em ETE própria e o efluente tratado é coletado por empresa terceirizada para tratamento complementar em ETE particular e depois lançado no sistema de drenagem urbana. A caracterização físico-química e bacteriológica dos esgotos sanitários do hospital está apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Caracterização dos esgotos sanitários do Hospital em estudo

Parâmetros	MÉDIA	DP
Cor	269,00	± 74,79
Turbidez	79,24	± 13,32
Sólidos Totais	857,20	± 182,27
Sólidos Fixos	389,60	± 227,58
Sól. Voláteis	467,60	± 322,94
DQO mgO <sub>2</sub> /L	1026,05	± 465,89
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	375,28	± 292,02
DBO/DQO	0,303	± 0,68
N-NTK	87,11	± 1,45
N-Amoniacal	48,1	± 16,47
Fósforo mg/L	5,1	± 0,38
pH	6,90	± 0,77
Alcalinidade	265,53	± 88,56
Sulfatos	61,81	± 38,60
Cloretos	526,22	± 351,99
Ferro mg/L	3,57	± 2,94
Manganês mg/L	2,10	± 1,68
E. coli	3,16 x 10 <sup>5</sup>	± 1,67 x 10 <sup>5</sup>

Fonte: Autor (2022)

Para o esgoto do hospital público os parâmetros físicos analisados foram cor, turbidez, sólidos totais, fixos e voláteis. Para cor foi encontrado o valor médio de 269 UC, para turbidez 79,24 NTU e 857,2 mg/L para os sólidos totais.

A Figura 80 apresenta um gráfico *boxplot* da variação dos valores referente aos parâmetros físicos avaliados. Os valores de cor e sólidos totais mostraram assimetria positiva, e a turbidez apresentou uma amplitude interquartílica pequena.

O teste de Mann-Whitney aplicado a cor e sólidos mostrou um valor de  $p > 0,05$  IC, o que significa que não há diferença significativa entre as médias para os parâmetros de cor aparente entre o hospital e as ETES da zona alta. Já no tocante à turbidez o mesmo teste revelou  $p < 0,05$  IC inferindo que há diferença significativa para a turbidez.

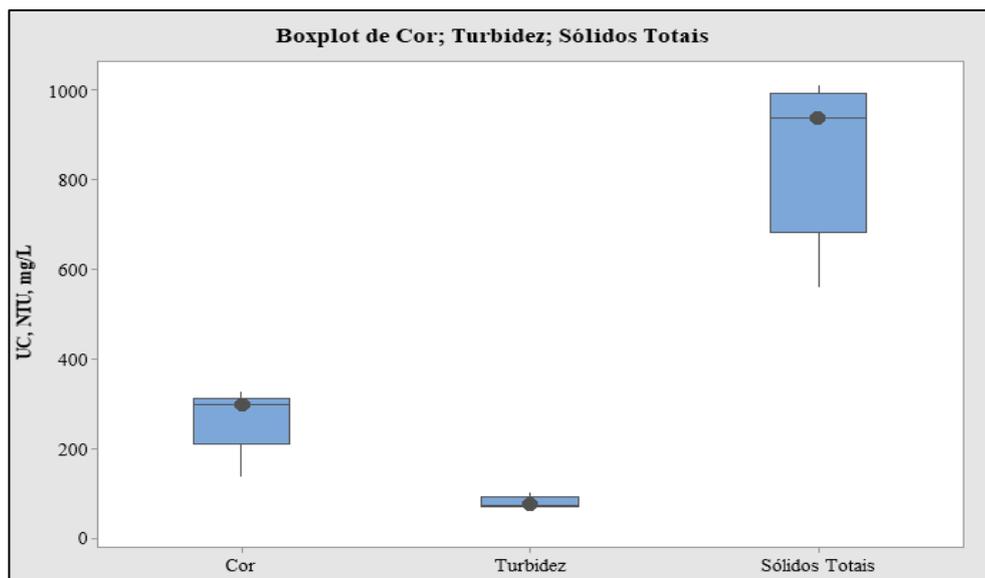


Figura 81 - Boxplot de Cor, Turbidez e Sólidos totais do esgoto hospitalar

Fonte: Autor, 2022

Comparando com os valores médios de Cor, Turbidez e Sólidos totais (ST) do esgoto hospitalar (269 UC, 79,2 UNT, 857,2 mg/L) com os valores do esgoto da **ETE centralizada da SANAMA** (289 UC, 105 NTU, 759 mg/L), **ETE Conj. Maceió 1** (262 UC, 128 NTU, 883 mg/L) e **ETE Caetés** (325 UC, 148 NTU, 896,3), plotados no gráfico da Figura 83. Observa-se que aparentemente não existem diferenças significativas, o esgoto do hospital apresentou valores semelhantes de cor aparente e turbidez aos das ETEs da zona alta da cidade, assim como também para os para ST.

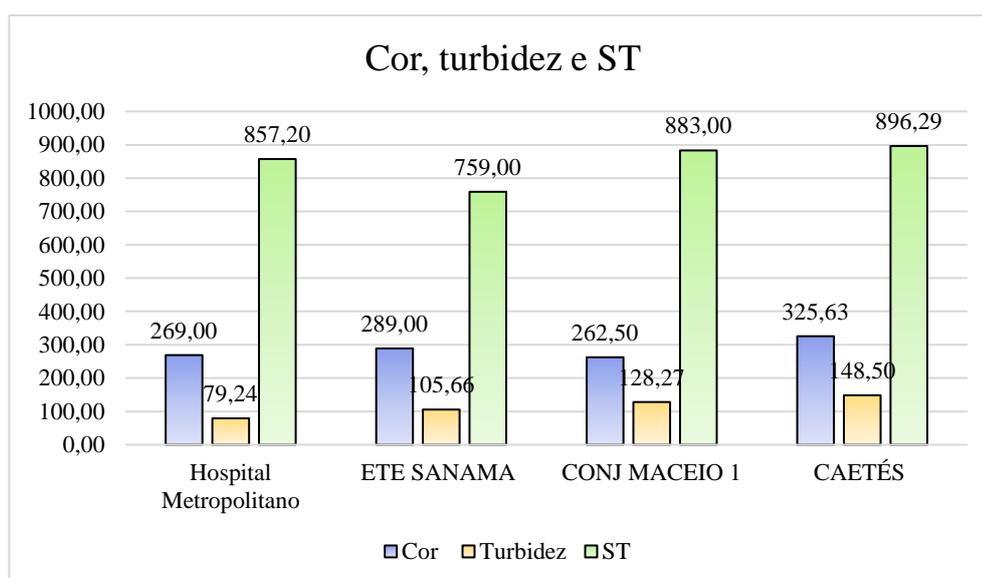


Figura 82 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Cor, Turbidez, ST)

Fonte: Autor, 2022

Já os dados médios da presença de matéria orgânica (DQO e DBO<sub>5,20</sub>) presente no

esgoto hospitalar, assim como a comparação visual dos seus valores com os observados na zona alta da cidade estão apresentados nos gráficos das Figuras 85 e 86.

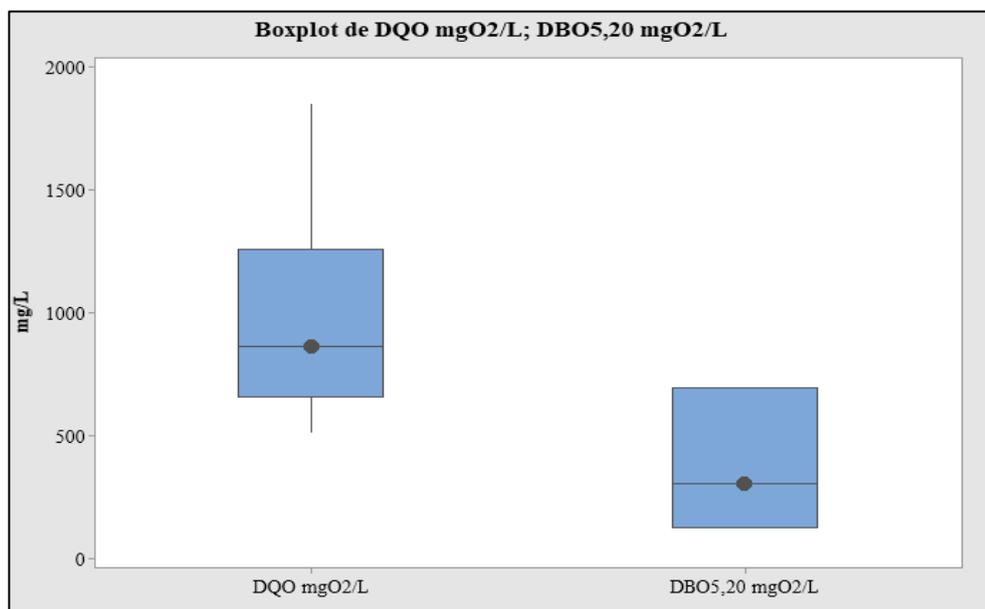


Figura 83 - Boxplot DQO e DBO<sub>5,20</sub> do esgoto hospitalar

Fonte: Autor, 2022

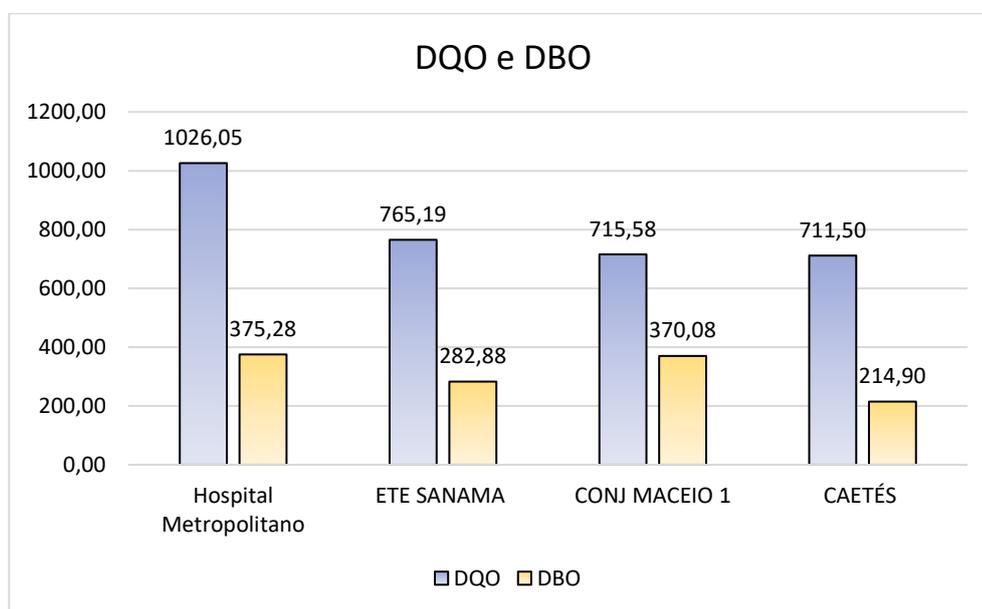


Figura 84 - Comparativo Hospital e Zona Alta (DQO e DBO<sub>5,20</sub>)

Fonte: Autor, 2022

Verifica-se que para a DQO, o valor médio do período coletado foi de 1.026 mg/L e a DBO<sub>5,20</sub> de 375,3 mg/L, com relação DBO/DQO de 0,303 sugerindo que a maior parte dessa matéria orgânica não é facilmente biodegradável.

A matéria orgânica presente nos esgotos do hospital tem característica predominante

---

de esgoto de alta concentração, e ao ser comparado com os esgotos das ETEs da zona alta da cidade, que são caracterizados por serem de média concentração, apresentaram valores 34% e 41%, respectivamente para DQO e  $DBO_{5,20}$ , superiores aos valores médios dos esgotos domésticos da zona alta da cidade.

No entanto, o teste *Mann-Whitney* realizado para identificação de diferença estatística entre a DQO do hospital público e a DQO dos esgotos das ETEs SANAMA e Maceió 1, com IC 95% foi mostrou um valor  $p < 0,05$  indicando que há diferença significativa, entretanto o valor  $p$  ao comparar estatisticamente o esgoto hospitalar e ao da ETE compacta Caetés apresentou  $p$  igual a  $0,098 > 0,05$  indicando que não há diferença significativa. Enquanto os valores de  $DBO_{5,20}$  do hospital público e as ETEs da Zona Alta da cidade não apresentaram diferenças estatísticas com o  $p$ -valor  $> 0,05$ .

Os valores de DQO e  $DBO_{5,20}$  observados no esgoto hospitalar em estudo são maiores que os observados por Foco et al. (2015), em sua pesquisa de desempenho de sistema combinado na remoção de matéria orgânica no esgoto bruto de hospital público encontrou DQO com valores que variam de 560 mg/L a 720 mg/L (FOCO; LOPES; NOUR, 2015).

Guedes (2004) que realizou a caracterização do esgoto de dois hospitais no estado de Minas Gerais, onde um apresentou DQO e  $DBO_{5,20}$  equivalente a 843 mg/L e 380 mg/L e a outra 554 mg/L e 274 mg/L, respectivamente. O objetivo deste trabalho foi comparar as características do esgoto de origem doméstica ao de hospitais, e o autor verificou que os esgotos hospitalares apresentavam valores de 75% a 135% inferiores aos dos do esgoto dos esgotos domésticos (1473 mg/L e 818 mg/L). As elevadas concentrações de DQO e  $DBO_{5,20}$  dos esgotos domésticos encontradas pelo autor são justificadas pela presença de restaurantes e bares na região que despejam seus efluentes da rede pública águas ricas em matéria orgânica, o que não acontece na região estudada em Maceió (GUEDES, 2004).

O mesmo também foi observado em relação aos dados levantados por Silva et al., (2011) que encontrou valores ainda mais baixos de DQO e  $DBO_{5,20}$  do esgoto in natura de uma unidade hospitalar localizada na região metropolitana de Natal, 196,6 mg/L e 379,0 mg/L (baixa concentração), respectivamente, quando comparado ao hospital público de Maceió, (SILVA; MACÊDO; LADCHUMANANANDASIVAM, 2011).

No entanto, diferente dos casos anteriores, Cezimbrar (2015) em sua caracterização do esgoto de serviços de saúde encontrou uma DQO de 925,7 mg/L no esgoto afluente a ETE do hospital, valor esse próximo ao observado neste estudo (1.026 mg/L) (CEZIMBRA, 2015).

Os valores médios e a variação dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, presente no esgoto hospitalar, assim como a comparação visual dos seus valores com os observados nos

---

esgotos da zona alta da cidade estão apresentados nos gráficos das Figuras 87 e 88.

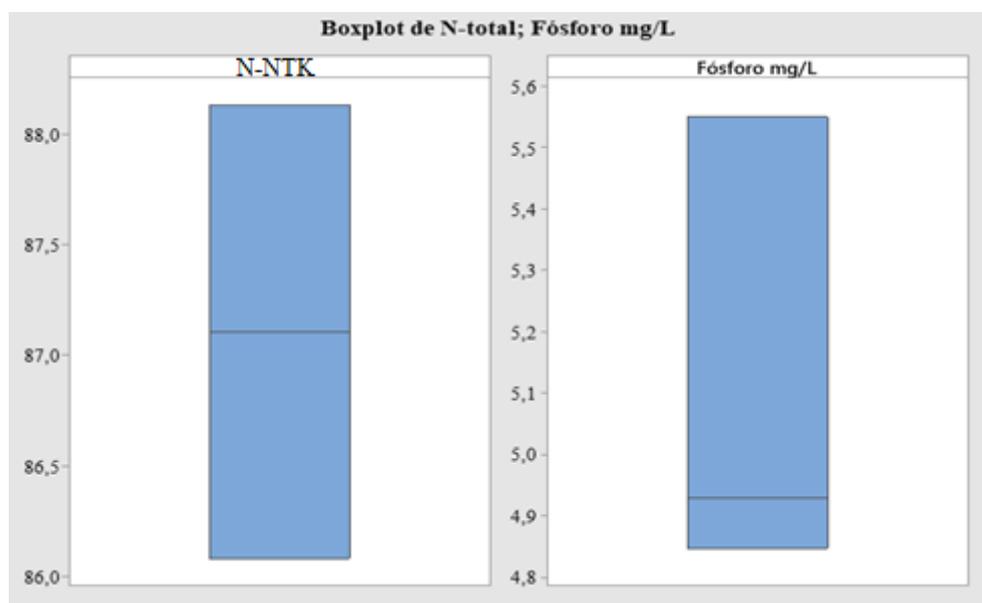


Figura 85 - Boxplot N-NTK e Fósforo

Fonte: Autor, 2022

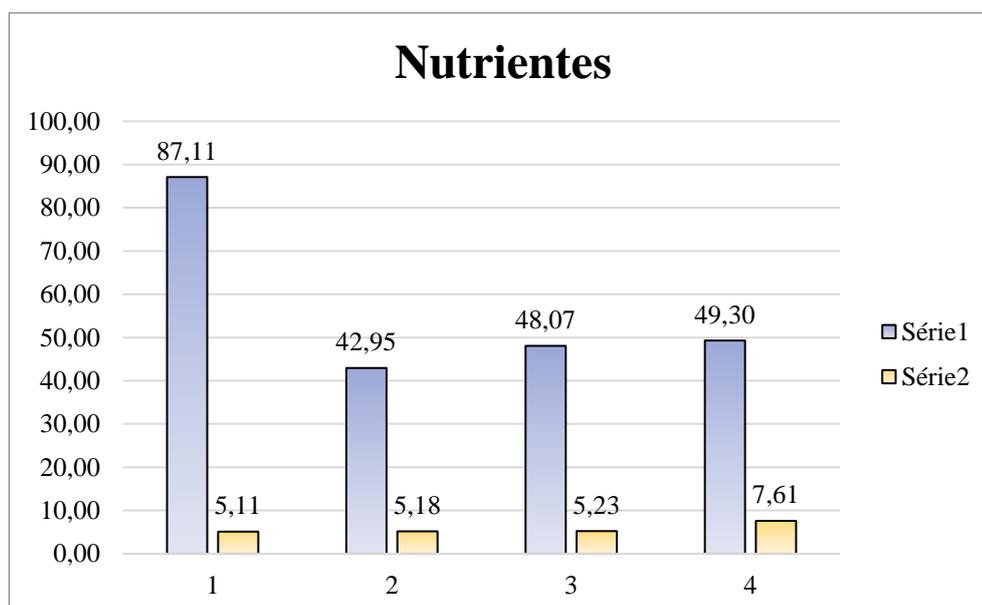


Figura 86 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Série 1: N-NTK, Série 2: Fósforo)

Fonte: Autor, 2022

Os valores médios de N-NTK e fósforo são respectivamente de 87,1 mg/L e 5,1 mg/L este último não tendo variação significativa em relação ao esgoto das ETES da zona alta da cidade. Entretanto o N-NTK encontrado nas ETES SANAMA e Caetés são de 43 a 50% menores quando comparados ao N-NTK do hospital público.

Para o valor de fósforo a concentração nos esgotos do Hospital, SANAMA e Maceió 1 permaneceram na faixa de 5 mg/L e apenas a ETE Caetés o valor foi de 7,61 mg/L.

---

Analisando a Figura 87, o *boxplot* pra N-NTK e fósforo, ela mostra uma amplitude interquartílica nos dois casos, entretanto a distribuição dos dados de nitrogênio apresenta uma simetria e sua mediana se encontra na região central da caixa, enquanto a amostra de fósforo apresenta assimetria negativa e em ambos os casos não foram detectados a presença de outliers.

Aplicação de estatística básica para determinar se há diferença significativa entre o conjunto de dados de N-NTK do hospital e a ETE SANAMA foi utilizado o teste de hipótese teste *Mann-Whitney* com IC de 95%, onde o valor de p encontrado foi 1 ou seja,  $p > 0,05$  indicando que não há diferença estatística significativa entre médias das amostras considerando as ETES Maceió 1 e Caetés, o valor de p para o teste comprando o esgoto do hospital público com o afluente da ETE SANAMA foi  $p = 0,049 < 0,05$  indicando certa diferença entre os valores.

Os valores de NTK observados (87,1 mgN/L) estão coerentes com o observado por Foco et al. (2015), que encontrou concentrações de nitrogênio em esgoto estabelecimento de saúde variando de 71 a 81 mg/L.

De forma geral, o esgoto do hospital em estudo apresentou valor de DQO e N-NTK maior que o encontrado nos esgotos da zona alta da cidade e na literatura, e valores de N-NH<sub>4</sub>, DBO<sub>5,20</sub> e fósforo na mesma ordem de grandeza.

Essas características também são observadas quando se compara com os dados levantados por Cavalcante (2017) que caracterizou os esgotos do Hospital Universitário (HUPAA) e do Campus. A. C. Simões da UFAL (CACS) da UFAL em Maceió/AL, onde o efluente final do CACS apresentou concentrações médias de DQO, DBO<sub>5,20</sub>, N-NTK, N-NH<sub>4</sub> e Fósforo Total, respectivamente, de 471,7 mgO<sub>2</sub>/L, 416,9 mg O<sub>2</sub>/L, 62,1 mgN./L, 35,9 mgN/L e 5,56 mgP/L e o efluente do HUPAA apresentou concentrações médias de DQO, DBO<sub>5,20</sub>, N-NTK, N-NH<sub>4</sub> e Fósforo Total de, respectivamente, 718,9 mg/L, de 400,8 mg/L, de 53,8 mg/L, de 32,7 mg/L, e 5,75 mg/L.

Os dados de pH, alcalinidade, cloretos e sulfato presente no esgoto hospitalar, assim como a comparação visual dos seus valores com os observados na zona alta da cidade estão ilustrados no gráfico da Figura 87.

O pH médio é de 6,9, embora apresente uma alcalinidade elevada de 265 mg/L o que impõe uma relevante capacidade de tamponamento. A quantidade de cloretos presentes no esgoto do hospital metropolitano é 60,8% maior do que o menor valor apresentado pelas ETES da zona alta os valores para alcalinidade e sulfatos foram não apresentam diferença estatística significativa em relação as suas médias.

---

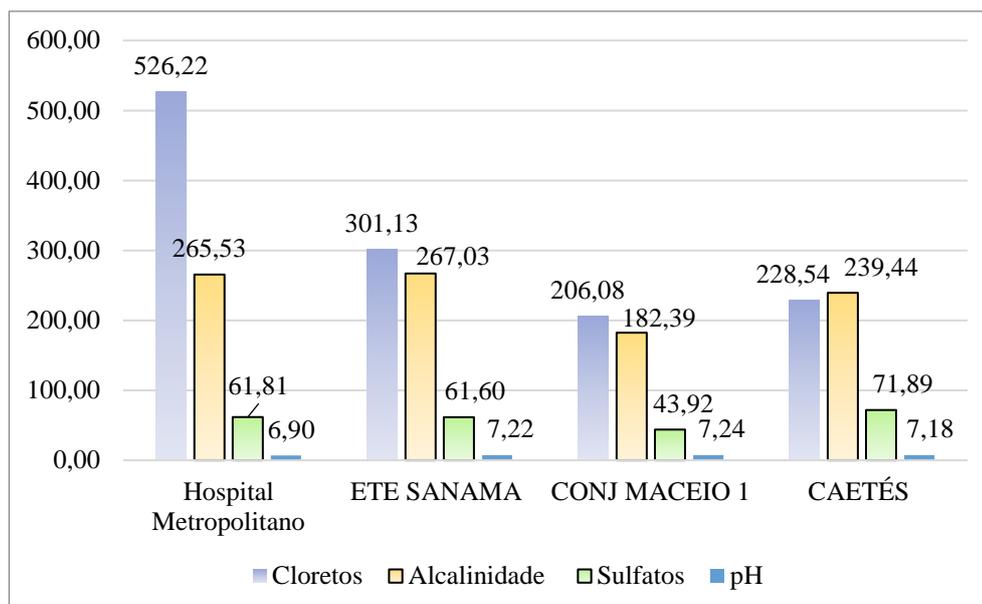


Figura 87 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Cloretos, Alcalinidade, Sulfatos e pH)  
Fonte: Autor, 2022

As concentrações da alcalinidade (Figura 87) apresentadas estão um pouco acima do valor típico de esgotos 100 a 250 mgCaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>. Ao comparar com os resultados por Focos et al. (2015), onde o valor máximo apresentado fora 164 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> e o menor 126 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> é possível notar alta capacidade de tamponamento.

O teste *Mann-Whitney* aplicado aos Cloretos entre o esgoto hospitalar e o esgoto da zona alta da cidade, com IC de 95%, mostrou um valor de p de 0,243, maior que 0,05, indicando que não há uma diferença estatística entre as médias testadas.

A variação da concentração dos metais analisados (ferro e manganês) presente no esgoto hospitalar, assim como a comparação visual dos seus valores com os observados na zona alta da cidade estão apresentados nos gráficos das Figuras 88 e 89.

Em relação aos metais (Fe e Mn) há um aumento em relação ao parâmetro ferro, entretanto ainda abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA 430 de 2011, quanto ao manganês o valor está 50% maior que o permitido pela Resolução no esgoto hospitalar e dentro da faixa ideal nas outras ETEs. Verifica-se a presença de ferro e manganês com concentrações médias de 3,6 mg/L e 2,1 mg/L, respectivamente.

O teste *Mann-Whitney* aplicado fora aplicado ao conjunto de dados do esgoto hospitalar para inferir se há diferença estatística aos dados de metais do esgoto hospitalar com os esgotos da zona alta da cidade, utilizando um IC de 95%, apresentou p= 0,602, ou seja, p > 0,05 indicando que não há uma diferença significativa entre as medianas testadas.

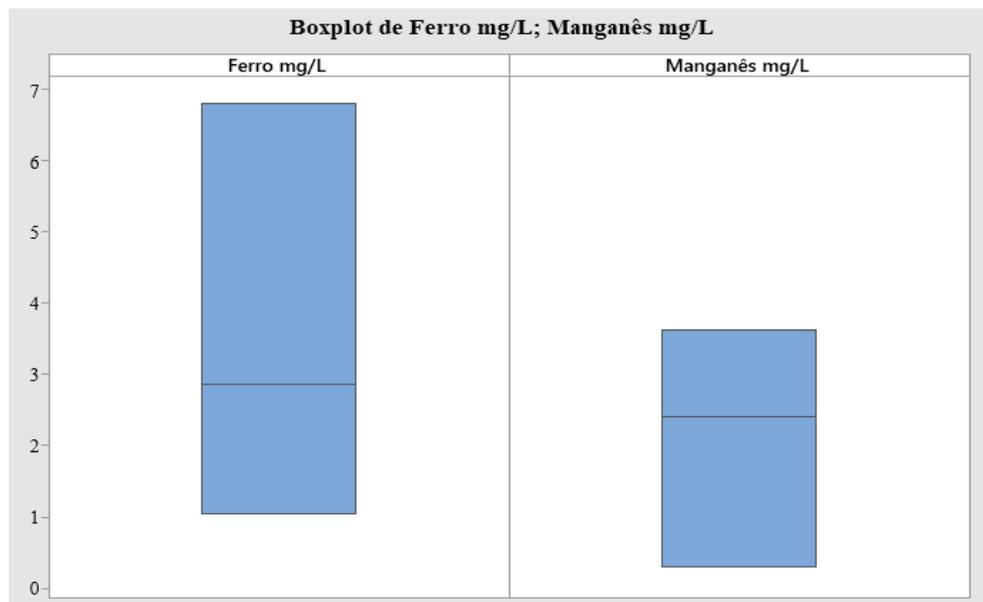


Figura 88 - Boxplot Ferro e Manganês

Fonte: Autor, 2022

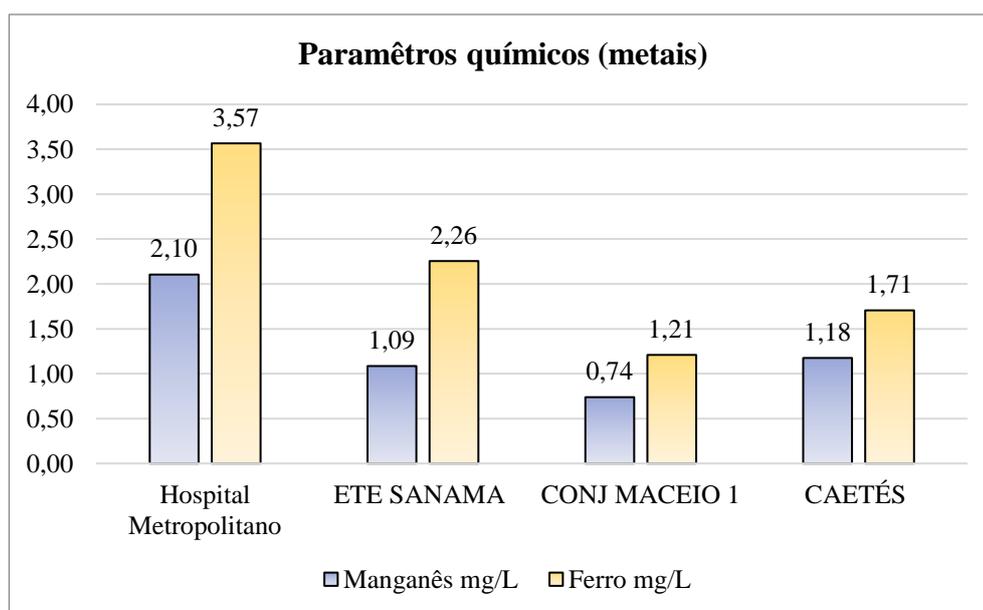


Figura 89 - Comparativo Hospital e Zona Alta (Ferro e Manganês)

Fonte: Autor, 2022

A amplitude interquartílica do agrupamento de referente ao ferro e manganês presente no esgoto hospitalar, demonstra pertencer a uma distribuição assimétrica negativa para F e negativa para Mn.

Quanto a variação dos elementos patogênicos avaliados pela presença da *E. coli*, esses dados estão apresentados na Figura 90.

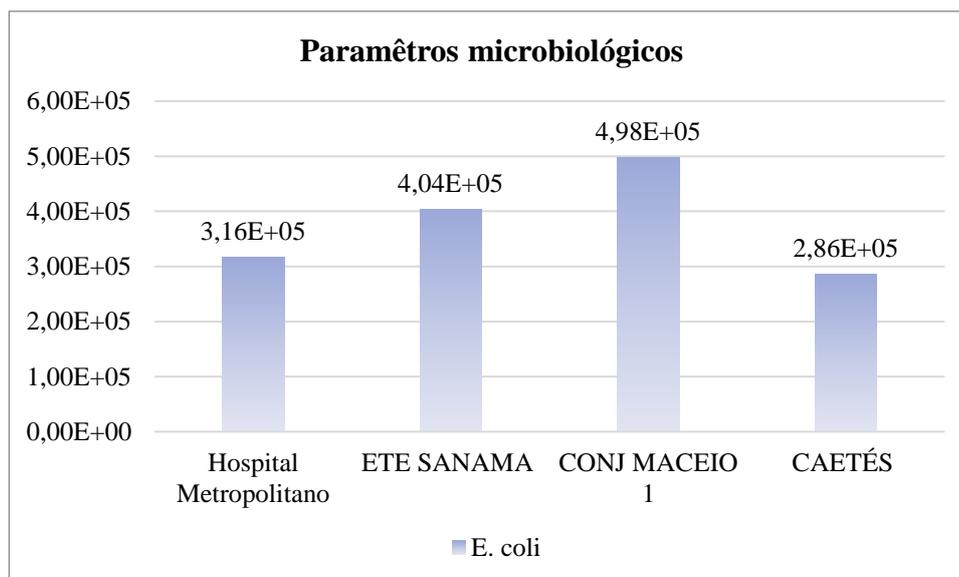


Figura 90 - Comparativo Hospital e Zona Alta (E. coli)

Fonte: Autor, 2022

Quanto aos parâmetros microbiológicos (*E. coli*) o esgoto do hospital público apresentou  $3,16 \times 10^5$ , enquanto as ETEs da zona alta da cidade SANAMA  $4,04 \times 10^5$ ,  $4,98 \times 10^5$  e Caetés  $2,86 \times 10^5$ . O teste *Mann-Whitney*, com intervalo de confiança de 95%, o valor encontrado para  $p$  foi de 0,340, logo  $p > 0,05$ , indicam que não há diferença estatística entre os dados de *E. coli* do esgoto hospitalar e o dos esgotos da zona lata de Maceió.

Comparando com os dados obtidos na literatura, na caracterização bacteriológica realizada por Guedes, (2004) a presença de *E. coli* foi em torno de  $1,9 \times 10^5$  e  $9,13 \times 10^5$  para os dois hospitais analisados e  $2,62 \times 10^4$  referente ao esgoto municipal da cidade também típico esgoto de média concentração. A concentração encontrada neste estudo para o hospital de Maceió e as realizadas pelo autor na cidade de Montes Claros apresentam valores da mesma ordem de grandeza.

Observa-se com os dados levantados por Cavalcante (2017) para o HUPAA do CACS/UFAL, cujo esgoto apresentou concentrações médias de *E. coli*, dentro da faixa para esgoto sanitário de  $10^5$  a  $10^6$  UFC/100 mL.

Sabe-se que em hospital pode ocorrer o descarte de medicamentos, sólidos e fluidos diversos, as características do esgoto do hospital público de Maceió o classifica como um esgoto sanitário típico de alta concentração com coliformes termotolerantes típico de esgotos de média concentração (Metcalf e Eddy, 2016).

Além disso, as concentrações dos constituintes analisados no esgoto bruto hospitalar e os esgotos de origem domésticas advindos das ETEs da zona alta da cidade, com exceção da DQO, NTK e cloretos, são da mesma ordem de grandeza e com características

bacteriológicas semelhantes quando se fala de coliformes. Desta forma, levando em consideração os parâmetros estudados, poderia não se justificar um tratamento prévio desses esgotos, antes do seu lançamento na rede pública coletora de esgotos. Entretanto, este tipo de esgoto pode conter constituintes tóxicos e metais que em tratamentos convencionais não fossem removidos.

É necessário firmar a importância de se pesquisar outras variáveis ainda pouco estudadas, e organismos que podem sofrer possíveis alterações genéticas, para que se possa definir parâmetros mais específicos para o descarte desse tipo de efluente tanto em corpos de água receptores, após tratamento, quanto bruto na rede coletora, incluindo o fator de diluição do esgoto hospitalar em relação ao esgoto doméstico coletado na respectiva bacia de esgotamento quanto.

### 6.5 Avaliação da qualidade das águas dos canais urbanos

Os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos quatro canais urbanos de drenagem, de relevante interesse socioambiental para Maceió, que recebem esgotos de bairros desprovidos ou parcialmente providos de rede coletora, estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Caracterização das águas dos canais urbanos de Maceió.

Parâmetros	ÁGUAS FÉRREAS		PAU D'ARCO		REGINALDO		LEVADA	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Cor, UC	126,6	±82,7	134,8	±27,7	131,6	±31,2	63,8	±16,4
Turbidez, UT	43,5	±53,6	27,6	±5,1	29,8	±13,0	16,4	±21,5
Sól. Totais, mg/L	605,5	±269,4	833,8	±669,4	621,2	±246,1	472,7	±287,7
Sól. Fixos, mg/L	322,2	±201,7	461,0	±291,5	418,7	±261,2	277,0	±195,1
Sól. Voláteis, mg/L	283,2	±152,3	372,7	±432,6	202,5	±118,0	195,7	±165,1
DQO mgO <sub>2</sub> /L	378,0	±182,8	430,0	±220,1	322,2	±108,7	374,0	±217,9
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	165,7	±53,0	184,9	±48,0	123,9	±23,8	146,0	±2,7
DBO/DQO	0,530	±0,367	0,556	±0,302	0,294	±0,2	1,943	±2,7
N-NTK, mg/L	22,6	±7,4	24,2	±12,8	23,6	±7,9	18,4	±14,1
N-Amon, mg/L	12,8	±4,8	13,1	±8,9	11,4	±7,5	11,8	±13,3
Fósforo, mg/L	3,6	±3,0	3,9	±3,6	4,2	±2,8	3,6	±2,2
pH	7,5	±0,4	7,5	±0,3	7,4	±0,4	7,3	±0,3
Alcalinidade, mg/L	160,6	±85,7	171,7	±107,9	171,0	±105,8	151,0	±89,7
Sulfatos, mg/L	50,5	±16,7	40,0	±18,5	44,1	±23,5	35,4	±20,4
Cloretos, mg/L	373,3	±233,8	438,2	±445,9	338,1	±270,6	260,0	±319,5
Ferro, mg/L	1,1	±1,2	1,5	±1,4	1,4	±1,1	0,3	±0,5

<b>Manganês, mg/L</b>	0,2	±0,3	0,6	±0,7	0,7	±0,7	0,1	±0,2
<b>E-coli, NMP/100mL</b>	$7,03 \times 10^3$	$\pm 1,33 \times 10^3$	$2,72 \times 10^3$	$\pm 2,42 \times 10^3$	$3,70 \times 10^3$	$\pm 1,3 \times 10^3$	$4,23 \times 10^3$	$\pm 1,3 \times 10^3$

Fonte: Autor, 2022

O Canal das águas Férreas é o curso d'água principal da bacia de mesmo nome, com área de 3,6 km<sup>2</sup>, que desemboca na orla marítima de Cruz das Almas e drena parcialmente os bairros de Jacintinho, Cruz das Almas e Sítio São Jorge.

O riacho Reginaldo é o curso principal da BH de mesmo nome, totalmente inserida dentro da área urbana da cidade de Maceió, envolvendo 30% da população distribuída em 18 bairros, nasce no bairro Santa Lucia, recebe contribuição de 3 sub-bacias riacho Gulandim, riacho do Sapo e riacho Pau D'Arco, e desemboca na praia da Avenida onde recebe o nome de Salgadinho.

O canal do Pau D'Arco é conhecido como canal do Jacintinho, pois corta esse bairro e recebe seus efluentes. O canal do Jacintinho é o riacho principal da sub-bacia do Pau D'Arco, e desemboca no trecho intermediário da bacia do riacho Reginaldo.

O canal da Levada drena o escoamento superficial do bairro que recebe o mesmo nome e está inserido na bacia de drenagem Lagunar, é considerada uma bacia pequena em relação as demais, toda via recebe contribuição do escoamento superficial dos seus bairros vizinhos.

A Figura 91 mostram uma visão da ocupação dessas bacias urbanas.



Figura 91 - Imagem de satélite de trechos dos canais estudados

Fonte: Google Earth, 2022

Esses corpos d'água (Figura 91) urbanos possuem características semelhantes quanto a sua ocupação e nível de degradação ambiental e as características das águas desses mananciais variam quali-quantitativamente de acordo com as intercorrências ao longo de cada bacia, tais como lançamentos clandestinos tanto de resíduos sólidos e de esgoto doméstico, índices de precipitação em períodos secos e chuvosos, entre outros. As visitas de campo durante a realização do trabalho mostraram que todos eles estão bastante degradados.

O resultado do uso e ocupação das bacias se refletem nos parâmetros de qualidade da água os canais de drenagem analisados, como por exemplo os parâmetros físicos cor aparente, turbidez, sólidos totais, voláteis e fixos, apresentados nas Figuras 92 e 93.

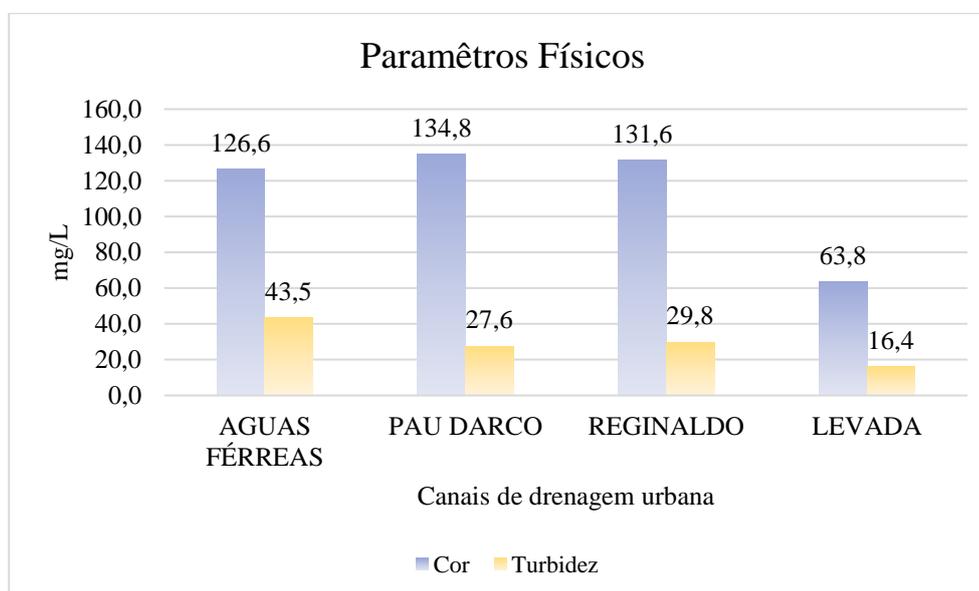


Figura 92 - Parâmetros físicos para os canais de drenagem urbano (Cor e Turbidez)  
Fonte: Autor, 2022

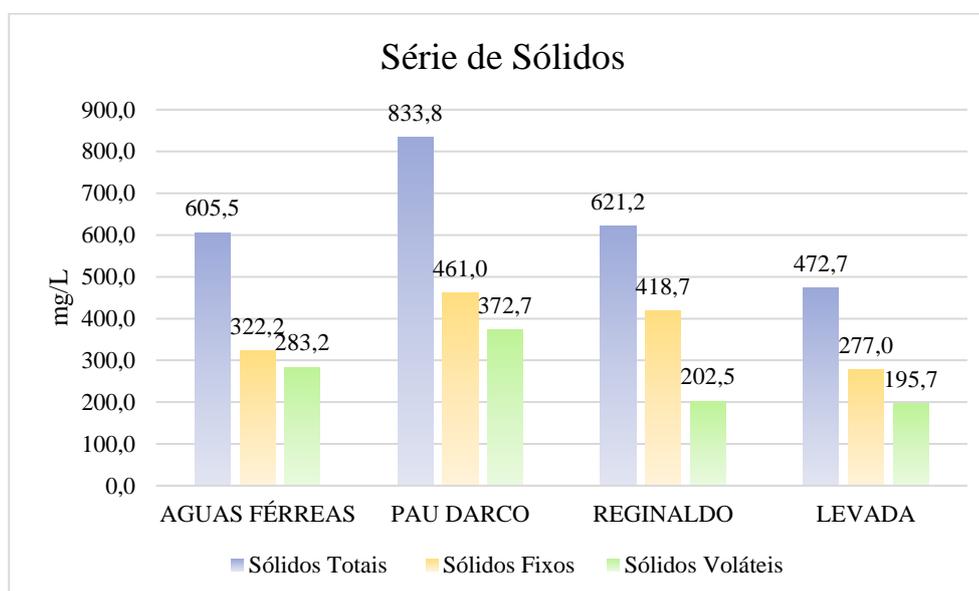


Figura 93 - Parâmetros físicos para os canais de drenagem urbano (série de sólidos)

Fonte: Autor, 2022

Para o Riacho das Águas Férreas a cor aparente apresentou um valor médio de 126,6 UC e a turbidez 43,5 NTU, para as águas do canal Pau D'Arco a cor aparente 134,8 UT e 27,6 NTU, para o Canal do Reginaldo e Canal da Levada foram 131,6 UC, 29,8 NTU e  $63,8 \pm 16,4$  UC e 16,4 NTU.

O Canal da levada foi o que apresentou menor valor médio de cor (63,8 UC), sendo este o valor mais próximo ao limite de 70 UC estabelecido para rios classe 3 de acordo com a CONAMA nº 357/05. O Maior valor foi de 131,6 UC para o Riacho Reginaldo.

Na maior parte das amostras os valores de turbidez estavam abaixo de 40 NTU limite este de rios classe 1 de acordo com a CONAMA nº 357/05 com exceção do Canal das Águas Férreas que apresentou 43,5 NTU, porém abaixo do limite máximo estabelecido para rio classe 3 de 100 NTU. Pimentel, (2009) realizou avaliação quali-quantitativa das águas do riacho Reginaldo e de alguns afluentes, para turbidez ela encontrou valores que variaram de 10 NUT a 250 NTU.

Os sólidos totais apresentados na Figura 93 para os canais Águas Férreas, Pau D'Arco, Reginaldo e Levada foram 605,5 mg/L, 833,8 mg/L, 621,2 mg/L e 472 mg/L, respectivamente. Quanto ao predomínio de sólidos fixos a relação SF/ST indicou que em todos os canais a maior fração destes sólidos são materiais inertes, com 53% para o Águas Férreas, 55% para o Pau D'Arco, 67% para o Reginaldo e 58% para o Canal da Levada.

A presença de matéria orgânica e nutrientes presentes nas águas dos canais foram avaliadas através de análise de DQO,  $DBO_{5,20}$ , N-NTK, N-amoniacal e fósforo total, cujos valores médios estão apresentados nas Figuras 94 e 95.

Os maiores valores de DQO apresentados entre os canais foram 430 mg/L para o riacho Águas Férreas, seguido do riacho Levada e Águas Férreas com 374,5 mg/L e 146,0 mg/L, respectivamente, o canal que apresentou o menor valor foi o da Reginaldo em 322,2.

Em relação a  $DBO_{5,20}$  os maiores valores médios encontrados foram no Riacho Pau D'arco e Águas Férreas 184,9 mg/L e 165,7 mg/L, seguido do Canal da Levada 146 mg/L, e o menor valor encontrado ocorreu no riacho Reginaldo. Todos os valores estão acima do permitido do permitido para rios de Classe 3, se enquadrando em rios de Classe 4 que não apresenta valores definidos para  $DBO_{5,20}$ .

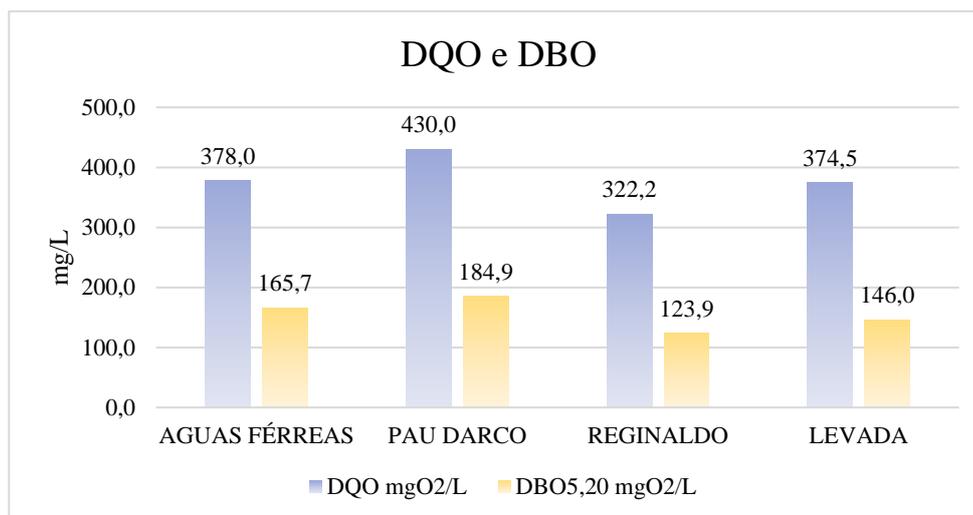


Figura 94 – Valores médio de DQO e DBO<sub>5,20</sub> nas águas dos canais urbanos

Fonte: Autor, 2022

Pimentel (2009), encontrou valores aproximados na avaliação dos parâmetros DBO<sub>5,20</sub> e DQO para o riacho Pau D'Arco 70 mg/L e 329 mg/L respectivamente. Enquanto no Riacho do Sapo que é um rio urbano com características semelhantes aos canais estudados apresentou valores de DQO variando de 38,6 mg/L a 161,30 mg/L. Alguns anos mais tarde AGRA (2017), durante a sua caracterização físico-química do mesmo riacho do Sapo encontrou DQO de 314 mg/L na parte mais urbanizada do riacho e 125,5 mg/L na foz, e coletas em pontos ao decorrer no canal do riacho Reginaldo apresentaram DQO de variando de 183 a 567 mg/L. Já referente a DBO<sub>5,20</sub> a autora observou um valor de 130 mg/L na foz do riacho.

Avaliando a biodegradabilidade da matéria orgânica nos canais através da relação DBO/DQO estes apresentaram os seguintes valores 0,44 para o riacho das águas férreas, 0,43 para o riacho Pau D'Arco, 0,38 para o Canal do Reginaldo e 0,39 para o Canal da Levada indicando nestes dois últimos canais que a matéria orgânica presente é recalcitrante, ou seja, possui menores condições para se degradar.

Os valores de DQO e DBO<sub>5,20</sub> Figuras 93 e 94 observados nesses canais urbanos são superiores aos encontrados por Pereira et al. (2021), quando analisou a qualidade do rio Pinheiros na cidade de São Paulo, um rio urbano que recebe grandes contribuições de poluição difusa por todo seu leito e lançamentos clandestinos e encontrou valores de DBO<sub>5,20</sub> em variando de 38 mg/L a 124 mg/L e de DQO de 76,5 mg/L a 225,1 mg/L.

Os valores observados nos canais de Maceió estão mais próximos aos valores relatados por Kaioua et al. (2022), ao realizar estudos semelhantes em um trecho de rio que corta várias cidades no Marrocos, o rio Cebu, considerado um dos mais poluídos do país, intensamente degradado por poluição difusa em grande parte da bacia, especialmente nas cidades em que passa. Este autor encontrou valores de DBO<sub>5,20</sub> que variaram de 70 mg/L a 440 mg/L

com valor médio de 90 mg/L próximos aos pontos de lançamentos, e a jusante destes pontos valores entre 50 mg/L e 290 mg/L e um, como valor médio de 208 mg/L. Em relação a DQO o valor encontrado pelo autor variou de 28 mg/L em locais do rio mais afastados das cidades e 672 mg/L em locais mais urbanizados.

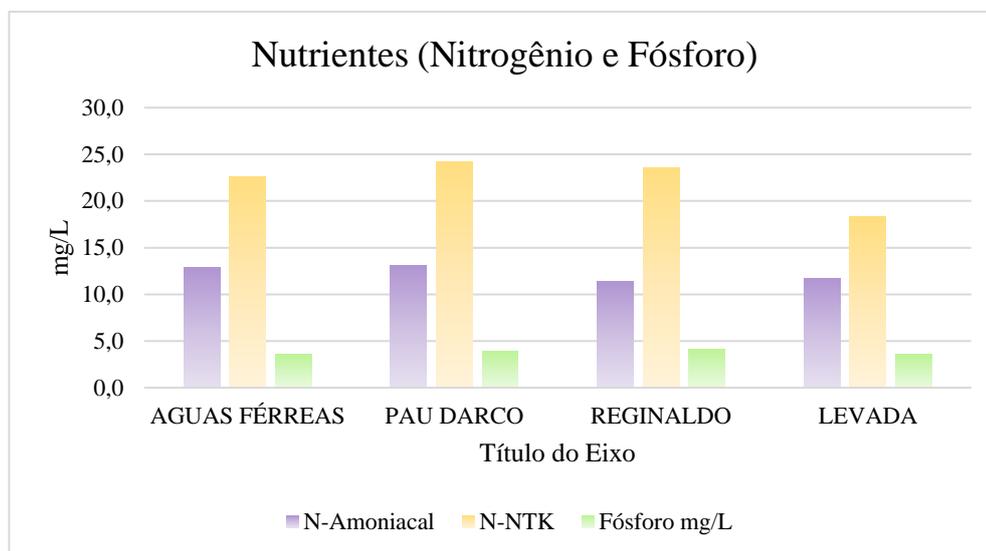


Figura 95 - Nutrientes nos canais de drenagem urbana (Nitrogênio e Fósforo)

Fonte: Autor, 2022

Quanto aos nutrientes (Figura 95), foram encontradas concentrações de N-NTK de 22,6 mg/L, 24,2 mg/L, 23,6/ mg/L e 18,4 mg/L, respectivamente, para os canais do riacho Águas Férreas, Pau D'Arco, Reginaldo e Levada.

Para o N-amoniaco o valor mínimo encontrado foi de 11,4 mg/L e o máximo de 13,1 mg/L, Vale salientar que o nitrogênio amoniaco contribui para a diminuição do oxigênio no corpo hídrico. Mas os valores observados estavam abaixo de 13,3 mg/L que limite este de rios classe 3 de acordo com a CONAMA nº 357/05. Já para o fósforo, observa-se na Figura 86 que os valores médios encontrados variaram de 3,6 mg/L a 4,2 mg/L, valores superiores ao exigido na resolução vigente.

Estes valores estão dentro da faixa observada por Pimentel (2009), que encontrou valores de N-amoniaco variando em torno de 1,6 a 47 mg/L na foz do riacho Gulandim, e por Agra (2017), que encontrou valores médios de N-amoniaco na ordem de 28 mg/L tanto para o riacho Gulandim quanto para o riacho do Sapo, enquanto o fósforo apresentou, respectivamente, valores de 2,6 mg/L e 1,6 mg/L.

Merbouh (2022), ao longo do rio Uarga afluente do rio Cebu no Marrocos, importante rio deveras poluído e impactado pela urbanização encontraram concentrações de N-amoniaco

variando de 0,07 a 15 mg/L ao longo da bacia. Enquanto Kaioua (2002) encontrou concentração de fósforo variando 0,25 a 1,61 mg/L (KAIUUA et al., 2022).

Com relação ao pH e alcalinidade Figura 95, e a presença de cloretos e sulfatos das águas dos canais estudados, os valores médios estão apresentados nas Figuras 83 e 84.

Os valores médios de pH (Figura 96) em todos os canais estão na faixa de 7,3 a 7,5, ou seja, levemente alcalino, dentro da neutralidade atendendo o estabelecido na CONAMA 357 de 2005 que atribui o limite mínimo 6 pH para águas doces. Pimentel (2009), encontrou valores o valor máximo de 7,26 e o mínimo de 5,79 para o Riacho Gulandim e o maior valor de 7,13 e o menor valor de 5,81 para o riacho do Sapo.

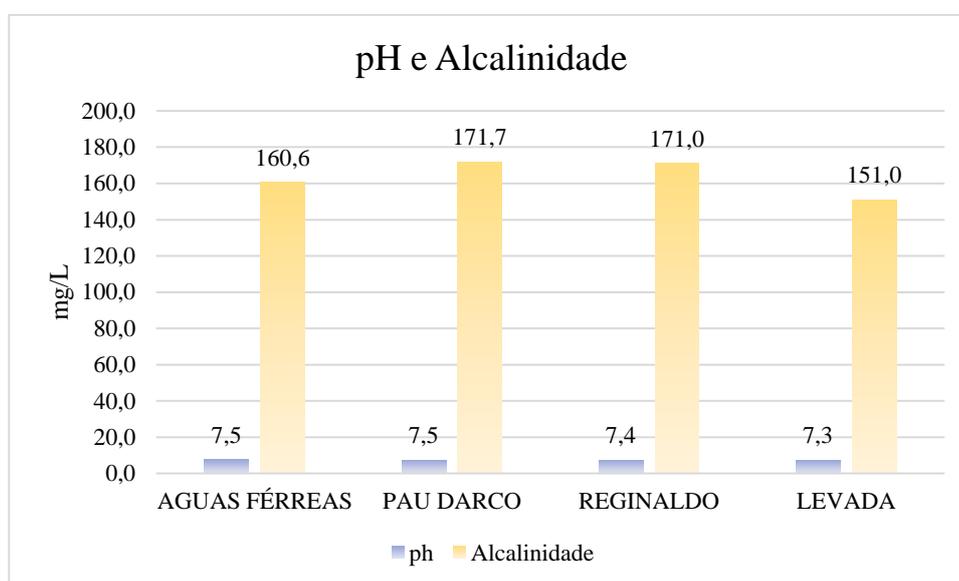


Figura 96 - Alcalinidade e pH dos canais de drenagem urbana  
Fonte: Autor, 2022

Esse pH, na faixa alcalina, está relacionado a alcalinidade observada, que possui a capacidade das águas neutraliza ácidos (efeito tampão), onde foram encontrados valores médios de 160,6 mg/L no riacho das Águas Férreas, 171,7 mg/L no riacho Pau D'Arco, 171 mg/L no riacho Reginaldo, e 151 mg/L no canal da Levada.

Pimentel (2009) encontrou valor máximo de 71 mg/L para o riacho do Sapo e 40 mg/L para o Riacho Gulandim. Verifica-se que a alcalinidade observada neste estudo é maior que a verificada por Pimentel (2009), e isto pode estar associado a presença de esgotos, que, de acordo com a literatura, a alcalinidade de esgotos domésticos usualmente se encontram na faixa de 100 a 250 mgCaCO<sub>3</sub>/L (SPERLING, 2005; METCALF; EDDY, 2016).

A alcalinidade não apresenta perigos sanitários, porém ela pode estar associada a salinidade da água (presença de sulfatos e cloretos), e de fato se verifica que os riachos Pau D'Arco, Reginaldo e Águas Férreas possuem maior alcalinidade e maiores concentrações de

cloretos e sulfatos (Figura 96). A presença desses sais também está associada a presença de esgotos e efluentes industriais ou pela sua proximidade com o mar, elas se apresentam de formas semelhantes. A Conama 357/2005 cita que a concentração máxima para mananciais de água doce é de 250 mg/L, tanto para sulfato quanto para cloretos.

Foram registradas elevada presença de sulfato (Figura 99) com valor médio em torno de 42,5 mg/L, e de cloreto variando de 438,2 mg/L (Pau D'Arco) a 260 mg/L (Levada). Pimentel (2009), encontrou valores máximos de cloretos de 175 mg/L no riacho Gulandim e 160 no riacho do Sapo. Por sua vez Kaioua (2022) que estudou um trecho de rio considerado um dos mais poluídos do Marrocos, identificou concentrações mínimas de 191 mg/L a 792 mg/L (KAILOUA et al., 2022).

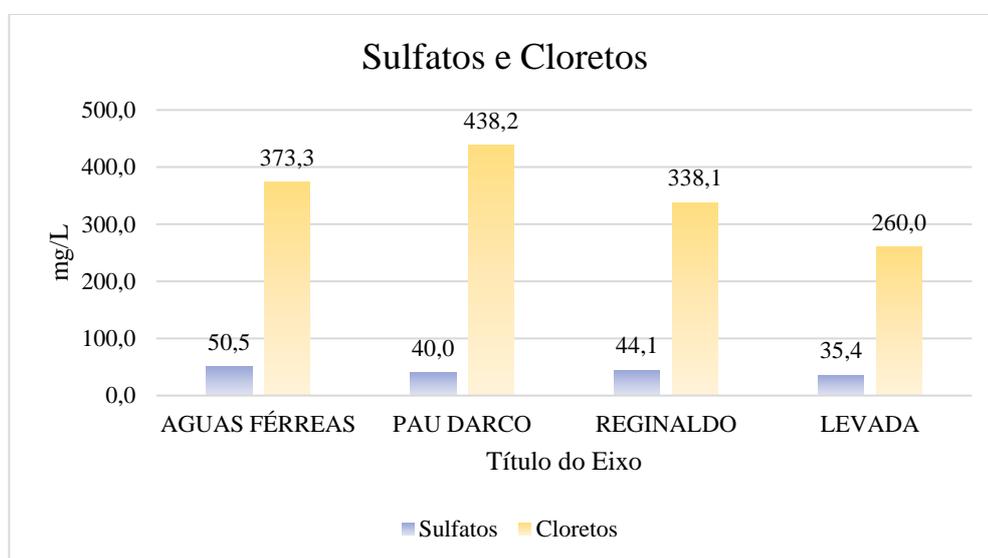


Figura 97 – Cloretos e sulfatos nos canais de drenagem urbana  
Fonte: Autor, 2022

A presença de metais como Ferro e manganês (Figura 97) em águas superficiais normalmente não apresentam altas concentrações, isto se deve as altas concentração de oxigênio, fazendo com que estes elementos se oxidem, sedimentando-se.

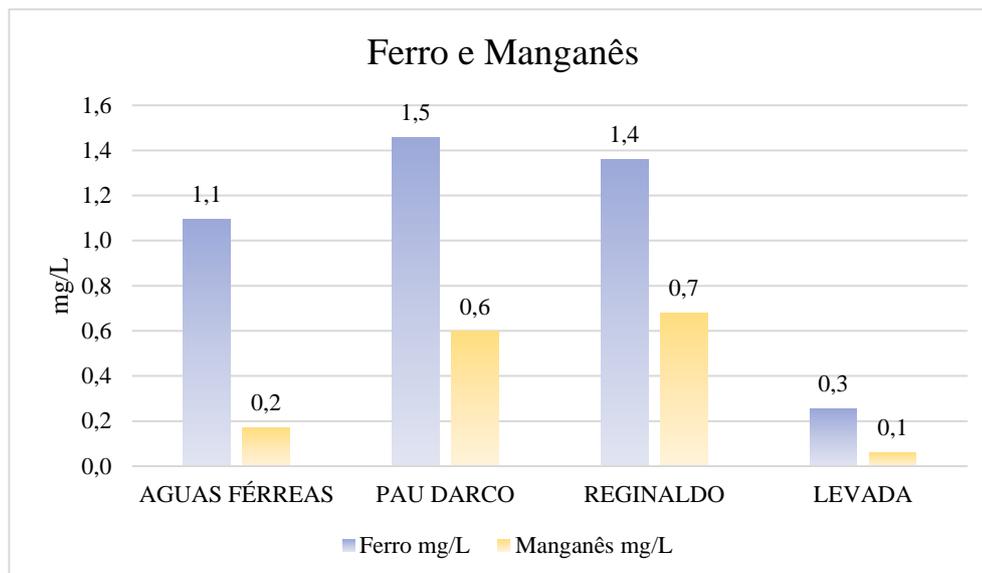


Figura 98 - Ferro e Manganês nos canais de drenagem urbana

Fonte: Autor, 2022

O riacho das águas Férreas apresentou 1,1 mg/L para Fe e 0,2 mg/L para Mn, o riacho Pau D'Arco 1,5 mg/L de Fe e 0,5 mg/L para Mn, o riacho Reginaldo 1,4 mg/L para Fe e 0,7 de Mn já as menores concentrações encontradas foram o Canal da Levada um valor médio de 0,3 para Fe e 0,1 para Mn. Logo, todos os valores estão em consoante com a CONAMA 357 de 2005.

A avaliação da balneabilidade dos mananciais foi feita pela presença de coliformes cujos valores médios estão apresentados na Figura 99.

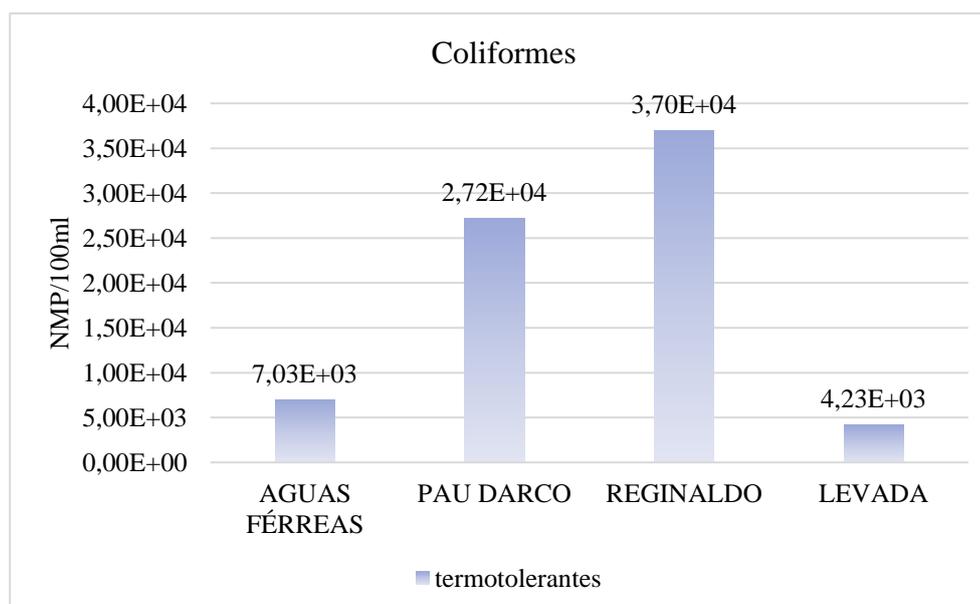


Figura 99 - Coliformes nos canais de drenagem urbana

Fonte: Autor, 2022

A presença de organismos patogênicos como coliformes é um dos principais indicadores de contaminação fecal nas águas, entre os canais de drenagem urbana o que apresentou maior concentração foi o Riacho Reginaldo com  $3,7 \times 10^4$  UFC/100 mL, logo em seguida o riacho Pau D'Arco seu afluente com  $2,72 \times 10^4$  UFC/100 mL, o riacho das águas Férreas apresentou  $7,03 \times 10^4$  UFC/100 mL e canal da Levada apresentou as menores concentrações médias.

Pela CONAMA nº 274 de 2000 os resultados encontrados estão além do permitido para recreação de contato primário, assim como excede os limites máximos permitidos pela CONAMA 357 de 2005 definidos para rios classe 3 para outros usos que é de 4000 NMP/100 mL. Assim, é possível afirmar que as águas dos canais apresentam riscos para os que moram perto e/ou entram em contato direto com esta água, como ocorre em casos de enchentes que transbordam os canais de drenagem trazendo riscos de doenças de veiculação hídrica para as pessoas.

Pimentel (2009), além da *E. coli* em seu estudo abordou os coliformes totais que abrangem também organismos de origem não fecal para caracterização microbiológica. Este autor encontrou na bacia do riacho do Sapo concentração média de  $1,5 \times 10^6$  UFC/100 mL para os coliformes totais e  $4,8 \times 10^8$  UFC/100 mL para *E. coli* que teve sua concentração variando de  $1 \times 10^5$  UFC/100 mL a  $8 \times 10^7$  UFC/100 mL (PIMENTEL, 2009). Agra (2017), por sua vez no riacho do Sapo encontrou como concentração mínima  $1,1 \times 10^9$  a  $10,2 \times 10^9$  UFC/100 mL para coliformes totais e  $1,3 \times 10^9$  a  $4,6 \times 10^9$  UFC/100 mL.

Portanto, nenhum dos quatro riachos urbanos estudados apresentam parâmetros de qualidade que atendam aos padrões de rios classe 2 estabelecidos pelo CONAMA 357/2011, que é como são enquadrados por definição. Os canais atendem apenas a classe 4, com o agravante de que seus parâmetros qualidade o classificam, de acordo com os valores citados por Metcalf e Eddy (2016) como esgoto sanitário de baixa concentração, e fora dos padrões de balneabilidade.

---

---

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa permitiram concluir que:

- As características dos esgotos da zona alta da cidade, onde predominam uma população de baixa renda, apresentam valores de constituintes típicos de esgotos de alta concentração, enquanto os da zona baixa, onde predomina população de alta renda, apresentam composição típicas de esgotos de média concentração. Estas características vão de encontro com o citado na literatura, de que populações de classe mais elevadas produzem esgotos de concentração mais elevadas. No entanto, esse fato pode estar associado as infiltrações na rede, visto que a zona baixa da cidade é região litorânea, onde reside a classe alta, e o lençol freático é alto e, portanto, ocorre mais infiltração na rede diluindo os esgotos. Ademais, o dito na literatura leva em consideração a concentração do esgoto propriamente dito e não o relaciona com possíveis diluições causadas por possíveis infiltrações.
  - A precipitação da chuva interfere nas características dos esgotos coletados em períodos secos e chuvosos em alguns parâmetros como DBO<sub>5,20</sub>, DQO, Alcalinidade, Cloretos e N-NTK, entretanto de uma forma geral essa interferência não se dá de maneira significativa, uma vez que não foi encontrada grandes variações nas concentrações dos parâmetros analisados.
  - A variação temporal das características dos esgotos afluentes a ETEs centralizadas e ETEs compactas descentralizadas não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto o valor da DQO da ETE centralizada (ZN alta) foi 10% maior que a DQO das descentralizadas, e uma maior variação entre os parâmetros analisados. O que pode ser justificado pela maior abrangência quanto área e população atendida que facilitando o recebimento de esgotos de diferentes origens nesta planta. No mais, os parâmetros físico-químicos se enquadraram como esgoto sanitário típico de alta concentração e com parâmetros biológicos (*E-Coli*) típicos de esgotos de baixa concentração. Por tanto, o esgoto não atende aos padrões de lançamento da CONAMA 430/2011, precisando de tratamento para serem descartados em leito seco ou corpos de água receptores.
  - As características dos esgotos gerados no hospital público estudado, possui características que o classifica como esgoto sanitário típico de alta concentração, entretanto quanto a caracterização bacteriológica apresentou o número de coliformes termotolerantes típico de esgotos de média concentração.
  - A qualidade das águas de canais urbanos localizados em áreas com e sem rede coletora atende apenas a classe 4 da CONAMA 357/2005, com o agravante de que seus parâmetros qualidade o classificam como esgoto sanitário de baixa concentração.
-

---

## 8 REFERÊNCIAS

ACHON, C. L. Subsídios Para Gestão De Esgotamento Sanitário: Abordagem Da Fase Sólida. **Recursos Hídricos Gestão e Sustentabilidade**, n. Abril, p. 123–143, 2016.

AHMED, W. et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. **Science of the Total Environment**, v. 728, p. 138764, 2020.

ALVES, R. N. et al. Dinâmica temporal da qualidade da água em um córrego urbano Temporal dynamics of water quality in an urban stream. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 3063–3077, 2021.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018 COMENTADA. . 11 jun. 2018, p. 1–61.

ARAÚJO, A. B.; SANTOS, A. B. DOS. Análise econômica e ambiental da adoção de reatores UASB como alternativa de rota tecnológica para os futuros sistemas centralizados de Fortaleza, Ceará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 357–364, abr. 2022.

ARAÚJO, E. P. et al. Indicadores de abastecimento de água e doenças de transmissão hídrica em municípios da Amazônia Oriental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 1059–1068, 2021.

ARAÚJO, I. P. **Obtenção e caracterização de adsorventes oriundos de leta com potencial aplicação à remoção de H<sub>2</sub>S proveniente de ETE**. Dissertação—Brasília - DF: Universidade de Brasília, 2019.

BEGA, J. M. M.; OLIVEIRA, J. N. DE; ALBERTIN, L. L. Dinâmica temporal da qualidade da água em um córrego urbano Temporal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 903–913, 2021.

BISPO, C. DE O.; MELO, N. A. DE; TOUJAQUEZ, R. Ocupação Irregular de Encostas Urbanas no Município de Maceió - AL. **OKARA: Geografia em debate**, v. 13, n. 1, p. 216–229, 20 fev. 2019.

BRASIL. 357. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. . 17 mar. 2005, p. 2–36.

---

---

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA N° 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. p. 1–9, 13 maio 2011.

BRASIL, 2000. RESOLUÇÃO CONAMA N° 274. Classifica as águas doces, salobras e salinas e determina os limites e categorias de balneabilidade. . 29 set. 2000, p. 1–3.

BRZUSEK, A.; WIDOMSKI, M. K.; POMORSKA, A. M.-. Socio-Economic Aspects of Centralized Wastewater System for Rural Settlement under Conditions of Eastern Poland. **Water**, v. 14, n. 10, p. 1667, 23 maio 2022.

CABRAL, S. L.; REIS, R. S.; JÚNIOR, C. R. F. Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica/ AL mediante uso de modelo hidrossedimentológico distribuído. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1073–1080, 2013.

CASTRO, R. G. DE; CARVALHO, J. A. L. DE. Bacias Hidrográficas Urbanas: Uma Análise Socioambiental Da Bacia Hidrográfica Urbana Do Igarapé Xidarini Em Tefé-Am. **Revista Geonorte**, v. 9, n. 33, p. 246–250, 2018.

CEZIMBRA, R. A. DA S. **Estudo de Efluentes Hospitalares: Caso Hospital Santa Casa de Misericórdia de São Lourenço do Sul**. Trabalho de conclusão de curso—Pelotas - RS: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 2015.

COSTA, M. E. L. et al. Gestão das águas utilizadas em obras civil-questão do direito de uso. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** , 2009.

CPRM. **Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL)**. Rio de Janeiro - RJ, 1 maio 2019.

DA SILVA, D. P. et al. Risk to human health from protozoan (Oo)cysts in water treatment plants. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 845–854, 2021.

DE ASSIS, E. M. et al. A vulnerabilidade de populações indígenas: qualidade da água consumida pela comunidade Maxakali, Minas Gerais, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 279–290, 2020.

DOS SANTOS, J. R. U. et al. Os impactos antropogênicos versus riscos geomorfológicos em encostas urbanas: um estudo de caso no bairro de bebedouro, Maceió-Alagoas. **REVISTA GEONORTE**, v. 4, n. 1, p. 210–217, 2014.

---

ESTÉVEZ, S. et al. How decentralized treatment can contribute to the symbiosis between environmental protection and resource recovery. **Science of the Total Environment**, v. 812, p. 1–13, 15 mar. 2022.

FOCO, M. L. R.; LOPES, G. DOS P. R.; NOUR, E. A. A. Remoção de nitrogênio em sistema combinado anóxico-aeróbio com biomassa imobilizada. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 55–64, 7 jul. 2015.

FREITAS, J. B. DE A. et al. Qualidade de água de um trecho urbano do rio beberibe. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 55, n. 81, 2018.

GARRIDO-BASERBA, M. et al. The third route: A techno-economic evaluation of extreme water and wastewater decentralization. **Water Research**, v. 218, p. 1–17, 2 abr. 2022.

GUEDES, E. V. R. **Avaliação comparativa entre águas residuárias de serviços de saúde e águas residuárias urbanas: um estudo em Montes Claros-MG**. Dissertação—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

GUTIERREZ, L. A.; SILVA, V.; PEREIRA, J. A. **SISTEMA DE ESGOTO SANITÁRIO**. Disponível em: <[https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/367249/mod\\_resource/content/1/ESGOTAMENT O%20SANIT.pdf](https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/367249/mod_resource/content/1/ESGOTAMENT%20SANIT.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2022.

HOLZ, J. **Levantamento e mapeamento do índice de risco de alagamento da bacia do riacho reginaldo**. Dissertação—Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2010.

JAPIASSÚ, L. A. T. **Expansão urbana de Maceió, alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do plano de desenvolvimento de 1980 a 2000**. Dissertação—Maceió - AL: Universidade Federal de Alagoas, 2015.

KAIQUA, S. et al. **Physico-chemical characterization, pollution and typology of water Sebou river estuary**. **Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries** Cairo Zoology Department of Faculty of Science, , 14 jan. 2022. Disponível em: <[www.ejabf.journals.ekb.eg](http://www.ejabf.journals.ekb.eg)>

KISHIMOTO, S.; PETITJEAN, O. **Reclaiming public services: how cities and citizens are turning back privatisation**. (S. KISHIMOTO, O. PETITJEAN, Eds.) Amsterdam and Paris: Transnational Institute (TNI), jun. 2017. Disponível em: <[www.tni.org/reclaiming-public-service](http://www.tni.org/reclaiming-public-service)>. Acesso em: 2 jul. 2022

---

KUMAR, M. D.; TORTAJADA, C. Assessing Wastewater Management in India. **Springer Briefs in Water Science and Technology**, p. 1–95, 2020.

LILIAMTIS, T. B.; MANCUSO, P. C. S. A geração de maus odores na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto : um problema de saúde pública The creation of bad odors in the sewer system in the city of Pereira Barreto : a public health problem. p. 86–93, 2003.

LIU, Y. et al. Urban sludge to value-added products for promoting the development of circular economy: Supply network design and optimization. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 182, 1 jul. 2022.

LOBO, R. L. N. **O saneamento básico no Brasil: - Um estudo sobre a distribuição de investimentos públicos**. Dissertação—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

MACEIÓ. **Plano de saneamento básico do município de Maceió - AL**. Maceió, jun. 2016.

MACHADO, A. DE S. **Escola direito rio a estrutura tarifária e a universalização dos serviços de saneamento básico: tensões e possíveis conciliações**. Dissertação—Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2018.

MACHADO, A. S.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA DAS PROPOSTAS DO PEMAPES: o sistema combinado. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 234–250, 2013.

MACHADO, E. C. et al. Detecção e quantificação de bactérias resistentes aos antibióticos ampicilina e cloranfenicol em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 847–857, 1 nov. 2020.

MARAÑÓN, C. A. G.; MULGADO, I. P.; RODRÍGUEZ, A. Á. Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba. **Revista Cubana de Química**, v. 32, n. 1, p. 154–171, 2020.

MARTINS, A. S. **Influência de produtos de higiene pessoal e limpeza na concentração de sólidos totais, DBO, DQO, nitrogênio total e fósforo total do esgoto doméstico**. Dissertação—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 7 mar. 2018.

---

MARTINS, R. G. **Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local**. Dissertação—São Carlos - SP: Universidade de São Paulo, 2017.

MENEZES, D. J. B. DE; et al. Diagnóstico dos serviços de saneamento básico no município de Maceió - AL. **XIX Simpósio brasileiro de recursos hídricos**, p. 1–20, 2011.

MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519–534, 2016.

MESQUITA, T. C. R. **Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios**. Dissertação—Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2019.

MESQUITA, T. C. R. et al. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, p. 46–66, 2021.

MESSIAS, M. I. C. S. DE. **Análise ambiental e epidemiológica do aglomerado subnormal Sururu de Capote em Maceió, Alagoas, Brasil**. Dissertação—Maceió, AL: Centro Universitário - CESMAC, 2020.

NASCIMENTO, B. T. L. DO. **A imagem do lugar e seus reflexos: Um estudo do bairro da Levada**. Dissertação—Maceió - AL: Universidade Federal de Alagoas, 2008.

NASR, F. A.; ABDEL FADIL, A. S.; ELSHAFI, S. A. *Egyptian Journal of Chemistry*. v. 65, n. 5, 2022.

NBR. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9814: Execução de rede coletora de esgoto sanitário. 1987.

NEVES, M. G. P. DAS; et al. Características Da Bacia Do Riacho Reginaldo Em Maceió - AL E Suas Implicações No Escoamento Superficial. **XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**, p. 1–16, 2007.

OLIVEIRA, D. B. C. DE; SOARES, W. DE A.; HOLANDA, M. A. C. R. DE; A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

---

---

OLIVEIRA, L. M. DE; RUFINO, I. A. A. Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 915–925, 2021.

PAIVA, R. F. DA P. DE S.; DE SOUZA, M. F. DA P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 1–11, 2018.

PEREIRA, A. R. **Reator biológico com membrana (MBR) aplicado ao tratamento de esgotos gerados por unidades residenciais unifamiliares**. Dissertação—Brasília - DF: Universidade de Brasília , 29 set. 2016.

PEREIRA, M. C. S. et al. Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 577–590, 2021.

PIMENTEL, I. M. C. **Avaliação Quali-Quantitativa das Águas do Rancho Reginaldo e Seus Efluentes**. Dissertação—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2009.

PIVELI, R. PASSOS; KATO, M. T. **QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO: ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS. AULA 8 FERRO, MANGANÊS E METAIS PESADOS EM ÁGUAS**. Daikoku ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2006.

PNUD, P. DAS N. U. PARA O D.; IPEA, I. DE P. E. A.; FJP, F. J. P. **Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras: Baixada Santista, Campinas, Maceió e Vale do Paraíba**. Brasília , 2015.

RAJAPAKSE, N. et al. Effects of influent physicochemical characteristics on air dissolution , bubble size and rise velocity in dissolved air flotation : A review. v. 289, n. July 2021, 2022.

RAMKUMARA, D.; JOTHIPRAKASH, V.; PATIL, B. N. Performance assessment of sewage treatment plants using compliance index. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 12, n. 6, p. 1–13, 1 jun. 2022.

RIBEIRO, J. C.; DA SILVA, G. H. R. Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: reator UASB seguido de filtro aerado submerso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 27–31, 17 fev. 2018.

---

RODRIGUES, B. T. et al. Delineamento do sistema de esgotamento sanitário de Maceió - AL usando técnicas de geoprocessamento. **IX Fórum Ambiental da alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 581–586, 2013.

RODRIGUES, C. S. D.; NUNES, O. C.; MADEIRA, L. M. Application of iron-activated persulfate for municipal wastewater disinfection. v. 426, n. November 2021, 2022.

RODRÍGUEZ-GUERRA, ANDREA.; MARTÍNEZ, F. S. Responsabilidad social y gestión ambiental del agua, solución en la industria de lácteos de Ecuador. **Revista Alfa**, v. 4, n. 12, p. 211–230, 2020.

SALUSTIANO, G. M. M. **As águas urbanas e a problemática socioambiental no contexto escolar: o caso do Riacho do Silva em Alagoas**. Dissertação—São Cristóvão - SE: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2018.

SANTOS, A. B. **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza, Ce: Imprece, 2019.

SANTOS, A. C. P. ;; SILVA, J. S. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica urbana do Riacho das Águas Férreas em Maceió - Alagoas. 2017.

SANTOS, G. R. DOS; KUWAJIMA, J. I.; SANTANA, A. S. DE. **Regulação e Investimento no Setor de Saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas**. Texto para Discussão. **Anais...Rio de Janeiro**: 2020. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>>

SCOTTÁ, J. **Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da serra gaúcha**. Monografia—Lajeando - RS: CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES CENTRO, dez. 2015.

SHAABAN, N. A. Water quality and trophic status of Lake Mariut in Egypt and its drainage water after 8 - year diversion. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2022.

SILVA, D. G. K. C.; MACÊDO, R. G.; LADCHUMANANANDASIVAM, R. Caracterização físico-química e microbiológica de efluente hospitalar na Região Metropolitana do Natal-RN-Brasil. **REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA**, v. 11, p. 1–6, 2011.

---

SILVA, D. D. P. DA; SCHWINGEL, P. R. Spatial-temporal variation in land use in a coastal watershed under pressure of population growth. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 389–399, 2021.

SILVA, J. C. DE A. DA; PORTO, M. F. DO A. Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e Difusas. Córrego Ibiraporã, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 82–90, 2015.

SILVA, E. DE S.; OLIVEIRA, D. D. DE; LOPES, A. P. Acesso ao Saneamento básico e Incidência de Cólera: uma análise quantitativa entre 2010 e 2015. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 121–136, 2019.

SILVA, M.; GILVONETE, S.; FREITAS, A. DE. Análise morfométrica e indícios de ação neotectônica na área correspondente à folha pitimbu, litoral sul da Paraíba, nordeste do Brasil. p. 139–149, 2013.

SILVA, M. T.; ALMEIDA, P. S.; JUNIOR, S. A. G. M. Caracterização dos impactos socioambientais na bacia hidrográfica do riacho das águas férreas, Maceió- AL. **Associação dos Geógrafos Brasileiros**, p. 1–9, jul. 2010.

SILVA, S. DE A. **Saneamento básico e saúde pública em bacias hidrográficas urbanas: estudo de caso do riacho Reginaldo em Maceió – AL**. Dissertação—Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2014.

SILVA, S. DE A. et al. Saneamento básico e saúde pública na bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 699–709, 2017.

SILVA, T. C. L.; FERREIRA, B. Levantamento dos principais aspectos da geodiversidade do município de Maceió, estado de Alagoas, nordeste do Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, p. 3231–3241, 2017.

SILVA, V. M. F. **Efeito das ações antrópicas na qualidade da água da bacia do Riacho do Silva, em Maceió - AL**. Dissertação—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2011.

SIQUEIRA, H. E. et al. Estudo morfométrico e avaliação do uso do solo da microbacia do Ribeirão das Pedras, em Veríssimo-MG. **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, p. 1–7, 19 nov. 2012.

---

ŚLÓSARCZYK, K.; WITKOWSKI, A. J. Preliminary evaluation of the possible occurrence of pesticides in groundwater contaminated with nitrates—a case study from southern poland. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 21, p. 15, 2021.

SNIS. **Diagnóstico temático serviços de Água e Esgoto. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento**. Brasília, 2021, 23 jul. 2021. . Acesso em: 22 jul. 2022

SOUSA, A. C. A. DE; O que esperar do novo marco do saneamento? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 12, p. 4, 2020.

VALDEZ, R. H.; GROSBELLI, P. P. Análise microbiológica de areias de praças públicas da cidade de Palmas (PR). **Revista Ambiência**, v. 8, n. 3, p. 833–844, 30 dez. 2012.

VIDAL, D. H. DE F. **Modelagem hidrodinâmica como Suporte a avaliação e proposição de alternativas compensatórias para mitigação dos problemas de cheias urbanas na bacia do riacho Reginaldo em Maceió - AL**. Dissertação—Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

WANG, Z. et al. Source, partition and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in Karst underground river environment, southern China. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 19, p. 16, 2021.

WHO. **World Health Organization: Guidelines for drinking-water Quality 4th edition incorporation the first addendum**. Genebra, 24 abr. 2017.

YAMANE, L. H. **Avaliação da Higienização do resíduo de caixa de areia de estações de tratamento de esgoto**. Dissertação—Vitória - ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 6 jun. 2007.

ZAGUI, G. S. et al. Tertiary hospital sewage as reservoir of bacteria expressing mdr phenotype in brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, n. e234471, p. 1–6, 2022.

---

## APÊNDICE A

Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico Hospital público de  
Maceió

---

---

Hospital Público	16/12/2021	19/12/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022
Cor		138,00	326,00	299,00	298,000	284,00
Turbidez		73,40	100,00	72,10	84,400	66,30
Sólidos Totais		974,00	938,00	562,00	1008,000	804,00
Sólidos Fixos		96,00	414,00	338,00	368,000	732,00
Sólidos Voláteis		878,00	524,00	224,00	640,000	72,00
DQO mgO <sub>2</sub> /L	810,496	703,22	917,81	1060,82	923,736	1740,26
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L		125,00			304,711	696,12
DBO/DQO		0,18			0,330	0,40
NTK			86,08	88,13		
N-Amoniacal		28,18	40,99	60,72	62,513	
Fósforo mg/L		5,55	4,85	4,93		
pH		6,80	5,70	6,85	7,640	7,50
Alcalinidade		264,44	138,17	330,32	364,170	230,58
Sulfatos		109,83	93,36	36,69	51,161	18,04
Cloretos		690,12	536,76	1020,80	182,115	201,29
Ferro mg/L		6,80	2,86		1,041	
Manganês mg/L		3,62	2,39	0,30		
E. Coli		2,40E+05	1,30E+05	5,80E+05	3,40E+05	2,90E+05

---

## APÊNDICE B

Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico da Zona Alta da cidade de Maceió

---

ETE SANAMA	16/12/2021	19/01/2022	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor		312,0	315,0	202,0	334,0	290,0	276,0	317,0	272,0	283,0
Turbidez		71,8	101,0	99,0	96,1	108,0	107,0	163,0	96,0	109,0
Sólidos Totais		796,0	868,0	420,0	640,0	1044,0	888,0	660,0	756,0	616,0
Sólidos Fixos		148,0	340,0	234,0	536,0	976,0	356,0	232,0	462,0	
Sólidos Voláteis		648,0	528,0	186,0	104,0	68,0	532,0	428,0	294,0	
DQO mgO <sub>2</sub> /L		551,1	795,6	825,4		652,6		652,6	546,8	865,7
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L		190,0	242,0	242,0	242,0	238,0	595,0	160,0		354,0
DBO/DQO		0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,9	0,2	0,0	0,4
NTK			75,3	47,1	51,2	16,4	16,4	63,8	41,0	32,3
N-Amoniacal			35,1	30,2	36,6	9,9	9,4	54,6	37,9	25,1
Fósforo mg/L		4,7	5,4	4,5	3,8	5,6	5,6	5,4	6,3	
pH		6,9	7,8	6,9	7,4	7,0	7,0	6,9	7,5	7,5
Alcalinidade		211,4	664,3	244,3	583,8	201,3	201,3	137,3	34,3	125,4
Sulfatos		30,0	48,0	64,9	47,5	56,6	56,6	49,7	56,6	56,6
Cloretos		250,0	361,8	323,0	43,1	177,3	177,3	206,1	421,7	177,3
Ferro mg/L		4,4	2,5		2,3	1,2	1,2	1,2	3,9	1,2
Manganês mg/L		1,1	1,9	1,0	1,4	0,0	0,0	3,3	0,9	0,1
E. Coli		3,00E+05	2,70E+05	5,60E+05	4,20E+05	3,70E+05		3,00E+05	4,60E+05	5,50E+05

ETE Conj. Maceió	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor					244,00	305,00	255,00	301,00	256,00	214,00
Turbidez					79,90	141,00	168,00	211,00	110,00	59,70
Sólidos Totais						904,00	816,00	932,00	880,00	538,00
Sólidos Fixos						540,00	256,00	456,00	204,00	
Sólidos Voláteis						364,00	560,00	476,00	676,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L	679,38		1007,11			487,20	856,72	856,72	563,19	558,72
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L			482,48	341,00	341,00	400,08	400,00	348,00	278,00	
DBO/DQO			0,48			0,82	0,47	0,41	0,49	
NTK					56,36	36,89	47,14	91,56	51,24	53,29
N-Amoniacal					31,77		22,03	78,54	32,79	39,45
Fósforo mg/L					3,08	6,30	6,57	9,88	8,24	7,81
pH					7,18	7,10	6,96	7,48	7,36	7,36
Alcalinidade					201,30	175,68	178,43	352,28	20,13	166,53
Sulfatos					41,00	30,80	38,89	33,99	38,89	38,89
Cloretos					67,10	225,25	210,87	191,70	330,68	210,87
Ferro mg/L					1,30		0,00	0,00	3,88	0,86
Manganês mg/L					0,14	0,11	0,00	3,41	0,75	0,03
E. coli					5,80E+05	6,30E+05		6,10E+05	3,10E+05	3,60E+05

ETE Caetés	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor			230,00	196,00	280,00	892,00	292,00	220,00	263,00	232,00
Turbidez			52,60	301,00	153,00	184,00	188,00	84,60	133,00	91,80
Sólidos Totais			726,00	802,00	900,00	1048,00	960,00	584,00	1254,00	
Sólidos Fixos			368,00	478,00	484,00	640,00	412,00	248,00	490,00	
Sólidos Voláteis			358,00	324,00	416,00	408,00	548,00	336,00	764,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L	810,50		345,55	932,68	1114,46	725,60	575,08	575,08	809,04	515,51
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L	300,23		128,00	225,00	122,00	140,00	290,00	384,00		130,00
DBO/DQO			0,37	0,24	0,11	0,19	0,50	0,67	-	0,25
NTK				57,39	68,66	75,84	44,58	45,36	24,60	28,69
N-Amoniacal			19,47	45,48	55,60	40,48	12,68	32,34	6,28	20,50
Fósforo mg/L			3,41	4,39	6,35	24,48	6,52	5,84	4,62	5,23
pH			6,87	7,02	7,44	7,45	6,96	7,12	7,27	7,27
Alcalinidade			451,10	261,69	366,00	351,36	187,58	173,85	27,91	96,08
Sulfatos			58,03	46,00	45,00	59,26	47,00	19,27	55,00	65,00
Cloretos			304,32	350,00	81,47	277,97	129,40	153,36	129,40	129,40
Ferro mg/L			1,62	2,53	2,50	0,70	2,10	0,12	3,90	0,19
Manganês mg/L			2,99	0,42	2,84	0,74	0,00	1,05	1,08	0,28
E. coli			3,80E+05	4,80E+05	4,00E+05	1,90E+05		1,30E+05	1,90E+05	2,30E+05

---

EE. José Tenório	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor							253,00	232,00	679,00	280,00
Turbidez							91,55	116,00	217,00	204,00
Sólidos Totais							768,00	548,00	826,00	780,00
Sólidos Fixos							328,00	248,00	346,00	
Sólidos Voláteis							440,00	300,00	480,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L							637,69	637,69	749,44	762,85
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L							110,00		192,00	96,00
DBO/DQO							0,17		0,26	0,13
N-total							44,58	47,04	43,04	33,31
N-Amoniacal							7,30	27,72	32,28	16,14
Fósforo mg/L							9,39	9,66	9,56	6,98
pH							7,25	7,81	7,12	7,12
Alcalinidade							96,08	155,55	28,37	123,53
Sulfatos							25,09	11,60	25,09	25,09
Cloretos							134,19	172,53	378,61	134,19
Ferro mg/L							0,75	0,78	3,75	0,85
Manganês mg/L							0,93	4,32	0,93	0,05
Termotolerantes									1,10E+05	6,50E+05

---

## APÊNDICE C

Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico dos Canais de Drenagem Urbana de Maceió

---

R. Águas Férreas	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor		180,00	82,00	82,00	328,00	69,00	108,00	76,00	120,00	94,00
Turbidez		41,80	12,00	11,30	180,00	59,90	27,40	13,00	29,20	17,10
Sólidos Totais		500,00	350,00	330,00	1044,00	748,00	400,00	504,00	968,00	416,00
Sólidos Fixos		126,00	256,00	202,00	732,00	428,00	116,00	320,00	398,00	
Sólidos Voláteis		374,00	94,00	128,00	312,00	320,00	284,00	184,00	570,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L	721,10	339,66	446,97	476,74	500,58	485,71	144,50	144,50	302,44	217,51
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L		190,00	120,00	104,00	244,00	218,00	140,00	174,00	205,00	96,00
DBO/DQO		0,06	0,27	0,22	0,49	0,45	0,97	1,20	0,68	0,44
NTK			23,57	22,55			9,74	23,52	32,79	23,57
N-Amoniacal		11,53	16,14	10,25	10,50		6,02	15,96	21,52	10,76
Fósforo mg/L		1,99	2,10	1,44	1,33	10,85	2,60	2,86	4,51	4,55
pH		7,24	7,90	7,10	7,64	7,32	7,12	7,28	8,06	8,06
Alcalinidade		212,28	332,15	126,27	135,42	217,77	131,76	165,62	36,60	87,84
Sulfatos		80,38	70,79	33,74	47,48	61,98	37,81	47,02	37,81	37,81
Cloretos		661,37	201,29	200,00	354,65	440,91	153,36	162,95	440,91	153,36
Ferro mg/L		2,54	0,58	2,61	1,07	0,26	0,00	0,00	2,70	0,09
Manganês mg/L		0,06		0,86			0,00	0,00	0,05	0,06
E. coli		8,60E+03	6,80E+03	7,70E+03	6,10E+03	5,90E+03		6,30E+03	5,60E+03	9,20E+03

R. Pau D'Arco	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor		160,00	141,00	193,00	125,00	127,00	108,00	121,00	103,00	135,00
Turbidez		25,60	27,40	38,90	24,20	20,40	28,90	29,40	25,40	28,50
Sólidos Totais		2438,00	1110,00	226,00	652,00	660,00	332,00	472,00	780,00	472,00
Sólidos Fixos		1040,00	692,00	164,00	472,00	484,00	184,00	280,00	372,00	
Sólidos Voláteis		1398,00	418,00	62,00	180,00	176,00	148,00	192,00	408,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L	554,22	905,86	472,30	321,81	589,91	476,77	289,00	144,50	305,42	239,86
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L		174,00	167,00	143,00	232,00	224,00	116,00	166,00	270,00	172,00
DBO/DQO		0,19	0,35	0,44	0,39	0,47	0,40	1,15	0,88	0,72
NTK			30,74	38,94			5,12	19,32	34,84	16,40
N-Amoniacal			22,42	28,18	5,64		4,87	12,60	8,20	9,74
Fósforo mg/L		2,70	2,64	1,27	1,86	13,26	2,43	3,50	2,89	4,65
pH		7,19	7,47	6,95	7,82	7,68	7,15	7,37	7,71	7,71
Alcalinidade		185,75	412,67	96,08	199,47	204,96	113,46	203,13	55,82	74,12
Sulfatos		79,16	55,97	35,79	33,09	50,94	24,93	30,15	24,93	24,93
Cloretos		1452,13	239,63	290,00	359,44	220,46	143,78	153,36	340,27	143,78
Ferro mg/L		2,04	0,87				1,52	0,00	3,94	0,38
Manganês mg/L		0,08	0,54	1,60			1,55	0,14	0,15	0,12
E. coli		1,80E+04	6,20E+04	4,80E+04	5,00E+04	3,20E+04		2,00E+03	2,10E+03	3,80E+03

R. Reginaldo	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor		148,00	142,00	169,00	147,00	150,00	117,00	140,00	64,00	107,00
Turbidez		25,20	22,70	52,80	31,60	26,80	29,70	43,20	6,02	30,60
Sólidos Totais		538,00	986,00	368,00	908,00	700,00	536,00	616,00	318,00	944,00
Sólidos Fixos		88,00	826,00	324,00	732,00	520,00	264,00	424,00	172,00	
Sólidos Voláteis		450,00	160,00	44,00	176,00	180,00	272,00	192,00	146,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L	142,976	458,86	409,72	342,64	387,34	429,09	223,47	223,47	378,43	226,45
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L		128,00	148,00	123,00	123,00	123,00	102,00	84,00	160,00	
DBO/DQO		0,07	0,36	0,36	0,32	0,29	0,46	0,38	0,42	0,00
NTK				30,74	34,00	19,47	10,25	26,04	20,50	24,08
N-Amoniacal			21,01	20,75	10,25	5,76	2,18	18,06	5,12	7,69
Fósforo mg/L		2,70	2,94	2,07	2,07	10,18	3,01	5,57	6,83	2,22
pH		7,00	7,27	7,00	7,50	7,25	7,02	7,23	7,99	7,99
Alcalinidade		213,20	409,01	163,79	192,15	173,85	118,95	159,21	38,43	70,46
Sulfatos		95,11	64,41	34,23	41,10	38,12	24,01	51,80	24,01	24,01
Cloretos		445,70	551,14	300,00	421,74	91,06	115,02	206,08	191,70	115,02
Ferro mg/L		2,88	0,71		2,00		1,66	0,00	2,24	0,03
Manganês mg/L			0,18	0,44			1,68	1,43	0,27	0,07
E. coli		1,90E+04	4,00E+04	3,90E+04	3,80E+04	6,30E+04		2,60E+04	4,00E+04	3,10E+04

Canal Levada	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor		92,00	88,00	61,00	72,00	54,00	51,00	52,00	50,00	54,00
Turbidez		65,40	10,00	5,13	6,15	39,50	7,97	3,86	4,66	4,71
Sólidos Totais		416,00	442,00	256,00	692,00	404,00	1044,00	440,00	88,00	
Sólidos Fixos		140,00	360,00	108,00	592,00	300,00	480,00	220,00	16,00	
Sólidos Voláteis		276,00	82,00	148,00	100,00	104,00	564,00	220,00	72,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L		137,02	448,46	196,62	734,54	356,08				
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L				78,00	78,00	192,00	140,00	160,00	228,00	
DBO/DQO		0,14		0,40	0,11	0,54	6,25	6,25	1,87	0,00
NTK			20,50	40,99	5,64	38,43	4,61	15,12	9,22	12,30
N-Amoniacal			17,42	39,45	3,33	19,22	1,54	9,66	1,41	2,05
Fósforo mg/L		2,75	2,62	1,66	1,96	8,73	2,23	3,53	4,85	3,92
pH		7,20	7,34	7,03	7,60	7,52	7,00	7,11	7,62	7,62
Alcalinidade		199,47	334,89	84,18	172,94	161,04	90,59	187,58	24,71	103,85
Sulfatos		76,70	57,07	25,12	40,21	33,64	16,90	34,87	16,90	16,90
Cloretos		341,23	345,06	350,00	153,36	153,36	71,89	71,89	71,89	71,89
Ferro mg/L		0,83	0,02	0,31	0,00	-0,11	0,67	0,00	0,92	0,55
Manganês mg/L		0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,11	0,05	0,00	0,07
E. coli		5,00E+03	3,90E+03	3,30E+03	4,80E+03	5,40E+03		5,40E+03	1,80E+03	

## APÊNDICE D

Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico da Zona Baixa de Maceió

---

ETE Emissário	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor					158,00	177,00	168,00	196,00	137,00	154,00
Turbidez					80,00	77,40	53,90	60,70	31,90	56,00
Sólidos Totais					824,00	388,00	816,00	628,00	624,00	
Sólidos Fixos					488,00	48,00	420,00	400,00	304,00	
Sólidos Voláteis					336,00	340,00	396,00	228,00	320,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L					995,19	551,24	373,96	373,96	145,99	315,85
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L					308,00	269,54	269,54	-	104,00	0,00
DBO/DQO					0,31	0,49	0,72		0,71	0,00
NTK					45,09	34,33	7,17	26,88	11,27	24,60
N-Amoniacal					18,70	51,24	4,87	18,48	3,46	10,25
Fósforo mg/L					2,43	13,21	4,79	6,60	8,28	2,82
pH					7,30	7,26	6,97	7,03	7,60	7,60
Alcalinidade					349,53	193,98	150,98	205,88	28,82	111,17
Sulfatos					28,34	119,86	33,92	45,70	33,92	33,92
Cloretos					239,63	105,44	86,27	191,70	416,95	86,27
Ferro mg/L					0,49	1,49	2,04	0,52		1,22
Manganês mg/L					0,00	0,00	12,29	2,02	0,39	0,10
E. coli					4,70E+05	5,80E+05		4,80E+05	7,20E+05	2,00E+05

EE Levada	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor					210,00	141,00		146,00	110,00	164,00
Turbidez					57,80	52,10		35,50	20,90	58,10
Sólidos Totais					880,00	608,00	452,00	816,00	740,00	
Sólidos Fixos					524,00	256,00	144,00	516,00	560,00	
Sólidos Voláteis					356,00	352,00	308,00	300,00	180,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L					774,67	595,97	251,78	254,76	478,26	405,25
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L					280,00	324,00	324,00		270,00	0,00
DBO/DQO					0,36	0,89	1,29		0,56	0,00
NTK					43,04	0,00	66,10	46,20	22,55	27,67
N-Amoniacal					25,88	30,74	24,72	21,42	4,61	12,43
Fósforo mg/L					4,86	13,07		6,73	7,89	
pH					7,09	7,17		6,50	7,50	7,50
Alcalinidade					250,71	175,68		215,03	25,16	97,45
Sulfatos					23,44	114,95		34,66		
Cloretos					340,27	210,87		249,21	493,63	
Ferro mg/L					1,32	0,95		0,29	0,39	0,30
Manganês mg/L					0,77	0,42		1,43	0,37	0,10
E. coli					3,00E+05	4,80E+05		4,80E+05	1,80E+05	6,00E+05

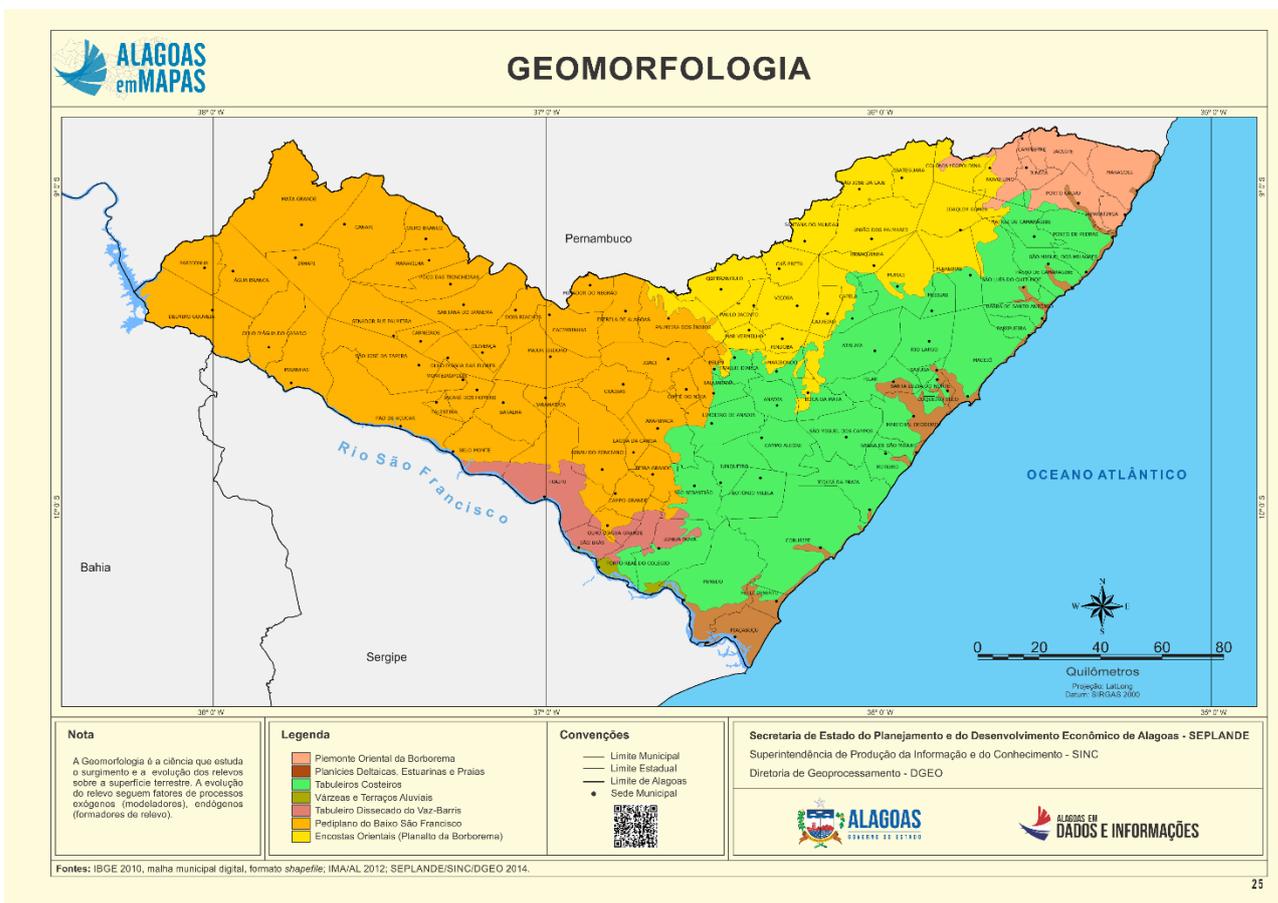
---

EE Praça Lions	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor					300,00	294,00	272,00	270,00	201,00	239,00
Turbidez					75,60	85,60	75,50	107,00	51,00	74,80
Sólidos Totais					680,00	1004,00	712,00	1052,00	604,00	
Sólidos Fixos					352,00	672,00	232,00	528,00	288,00	
Sólidos Voláteis					328,00	332,00	480,00	524,00	316,00	
DQO mgO <sub>2</sub> /L					631,63	484,22	509,52	509,52	369,49	420,15
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L					160,00	320,00	160,00	-	156,00	305,00
DBO/DQO					0,25	0,66	0,79	-	0,28	0,38
NTK					44,58	17,93	44,07	56,28	44,07	15,88
N-Amoniacal					28,69	27,41	9,99	37,80	6,02	9,99
Fósforo mg/L					4,22	26,58	4,82	4,78	5,30	3,96
pH					7,30	7,21	7,15	7,05	7,56	7,56
Alcalinidade					241,56	237,90	224,18			
Sulfatos					94,34	137,03	69,50	5,71	69,50	69,50
Cloretos					311,51	244,42	345,06	292,34	450,50	345,06
Ferro mg/L					0,68	1,69	0,15	1,85	3,68	1,81
Manganês mg/L					0,20	1,36	1,55	0,93	0,49	0,14
E. coli					2,10E+05	3,30E+05		6,00E+05	3,40E+05	8,00E+05

---

EE Castelo Branco	16/12/2021	19/01/2021	09/02/2022	23/02/2022	10/03/2022	30/03/2022	20/04/2022	04/05/2022	08/06/2022	22/06/2022
Cor					298,00	263,00	242,00	-	225,00	196,00
Turbidez					97,10	80,90	76,40		81,00	63,80
Sólidos Totais					836,00	684,00	524,00			
Sólidos Fixos					368,00	204,00	184,00			
Sólidos Voláteis					468,00	480,00	340,00			
DQO mgO <sub>2</sub> /L					995,19	433,56	160,89	-	351,61	287,54
DBO <sub>5,20</sub> mgO <sub>2</sub> /L							110,00		84,00	205,00
DBO/DQO					0,19	0,00	0,28		0,24	0,71
NTK					45,09	26,64	43,04	-	43,04	39,45
N-Amoniacal					27,16		15,50		4,87	20,24
Fósforo mg/L					3,18	28,97	5,99	5,99	5,59	3,45
pH					7,30	6,00	6,99		7,61	7,61
Alcalinidade					239,73	106,14	178,43		21,50	76,86
Sulfatos					116,18	141,69	14,29		14,29	14,29
Cloretos					186,91	162,95	119,81	0,00	258,80	119,81
Ferro mg/L					3,51		1,25		4,91	2,13
Manganês mg/L					0,20	0,00	1,43		1,20	0,12
E. coli					3,00E+05	2,40E+05		5,00E+05	1,20E+05	7,20E+05

## ANEXO A – GEOMORFOLOGIA DE ALAGOAS



## ANEXO B – MAPA REGIÕES HIDROGRÁFICAS E BACIAS HIDROGRÁFICAS ALAGOAS



Vertente do Atlântico (Oriente)			Vertente do Sertão/Paranaíba (Ocidente)		
Bacia	Área km²	Região Hidrográfica	Bacia	Área km²	Região Hidrográfica
Rio Mundaú	411.143	Mundaú	Rio Jacuipema	184.494	Jacuipema
Rio Riacho Grande	53.422	Riacho Grande	Rio Capia	241.841	Capia
Rio Camaragibe	82.218	Camaragibe	Rio Ipanema	783.217	Ipanema
Rio São Antônio	53.117	Camaragibe	Rio Traipu	279.265	Traipu
Rio Fervedor	18.292	CELMM	Rio São Miguel	13.981	São Miguel
Rio São Francisco	3.483	CELMM	Rio São Miguel	13.334	São Miguel
Rio Saracá	49.595	CELMM	Rio São Miguel	40.268	São Miguel
Rio São Francisco	2.121	CELMM	Rio São Miguel	12.400	São Miguel
Rio Santiago	15.516	Coruripe	Rio São Miguel	8.106	São Miguel
Rio da Barra	2.427	Coruripe	Rio São Miguel	4.263	São Miguel
Rio Atibaia	8.706	Coruripe	Rio São Miguel	7.143	São Miguel
Rio Coruripe	389.919	Coruripe	Rio São Miguel	24.516	São Miguel
Rio Bonfim	22.859	Paratry	Rio São Miguel	29.275	São Miguel
Rio Bonfim	26.587	Paratry			
Rio Paratry	38.477	Paratry			
Rio Bonfim	5.221	Paratry			
Rio Bonfim	3.241	Paratry			
Rio Taboquinha	18.579	São Miguel			
Rio São Miguel	75.453	São Miguel			
Rio Jacuipema	13.334	São Miguel			
Rio Piau	40.268	São Miguel			
Rio Piau	12.400	São Miguel			
Rio Taboquinha	8.106	São Miguel			
Rio São Francisco	4.263	São Miguel			
Rio Mundaú	7.143	São Miguel			
Rio São Francisco	24.516	São Miguel			
Rio São Francisco	29.275	São Miguel			
Rio Mundaú	28.795	São Miguel			

Fonte: IBGE 2018, Mapa Municipal, Agência Nacional de Águas - ANA 2019, Rios e Riachos, Semanh 2007, Bacias Hidrográficas, Regiões Hidrográficas e Sedes Municipais, MASA 2019, atualização dos Recursos Hídricos Superficiais utilizando imagens de satélite Landsat 8, SRTM30 PLUS/GTOPO 2019.