



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO (PRPG)
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE (PPGDMA)**

FRANCIELLY LOPES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA SUB-
BACIA PD 07 NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DOS MORROS NO
PARQUE ZOOBOTÂNICO EM TERESINA-PI**

Teresina

2022

FRANCIELLY LOPES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA SUB-
BACIA PD 07 NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DOS MORROS NO
PARQUE ZOOBOTÂNICO EM TERESINA-PI**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PPGDMA/UFPI), como requisito para à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: biodiversidade e utilização sustentável dos recursos naturais.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Carlos Ernando da Silva

Teresina

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

S586a Silva, Francielly Lopes da.
Avaliação dos impactos do uso e ocupação do solo da sub-bacia PD 07 na qualidade da água da Lagoa dos Morros no Parque Zoobotânico em Teresina-PI / Francielly Lopes da Silva. – 2022.
97 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2022.
“Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva”

1. Qualidade da água. 2. Eutrofização. 3. Urbanização.
4. Teresina-PI. I. Silva, Carlos Ernando da. II. Título.

CDD 574.52

FRANCIELLY LOPES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA SUB-
BACIA PD 07 NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DOS MORROS NO
PARQUE ZOOBOTÂNICO EM TERESINA-PI**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PPGDMA/UFPI), como requisito para à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: biodiversidade e utilização sustentável dos recursos naturais.

Aprovada: 30/03/2022



Documento assinado digitalmente

CARLOS ERNANDO DA SILVA

Data: 25/04/2022 10:52:34-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva

Orientador

(PRODEMA/UFPI)



Documento assinado digitalmente

LIVANIA NORBERTA DE OLIVEIRA

Data: 25/04/2022 14:59:46-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dr. Livânia Norberta de Oliveira

(Membro Externo – UFPA)



Documento assinado digitalmente

PATRICIA MARIA MARTINS NAPOLIS

Data: 25/04/2022 11:11:19-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Patrícia Maria Martins Nápolis

(Membro Interno – PRODEMA/UFPI)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não estaria aqui e não conseguiria vencer mais esta batalha;

Agradeço a toda minha família, principalmente meus pais que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus sonhos e a nunca desistir em meio as dificuldades;

Agradeço também ao meu namorado que me acompanhou em todas as coletas e sempre estava disposto a me ajudar;

Agradeço aos meus amigos, que sempre me ajudaram, apoiaram e me encorajavam a não desistir;

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação, em especial ao meu orientador pela paciência e persistência;

Agradeço a técnica do laboratório de saneamento Olga Aline, que além de me ajudar nas análises de água, tornou-se uma ótima amiga;

Agradeço a gerencia de parques da SEMAR pela disponibilidade de documentos relacionados ao Parque Zoobotânico;

Agradeço a gerencia do Parque Zoobotânico por conceder acesso e auxiliar quando necessário;

Agradeço a CAPES pela concessão das bolsas de estudo, a qual foi extremamente importante para minha permanência no mestrado;

Por fim, agradeço a todos que direto ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

Teresina vem apresentando um crescimento urbano acentuado, porém desprovido de planejamento criterioso, sobretudo relacionado ao saneamento básico, cuja falta atinge principalmente as sub-bacias que compõem a zona urbana. A sub-bacia PD 07, localizada na zona leste, é composta por vários bairros com elevada densidade populacional e um significativo déficit no esgotamento sanitário. Em seu exutório encontra-se o Parque Zoobotânico, que possui uma área de 127,5 hectares destinados à proteção e conservação ambiental. No interior do parque existe uma lagoa natural de grande porte, denominada Lagoa dos Morros, a qual era utilizada para atividades recreativas, conhecida principalmente pela utilização dos pedalinhas, cujo uso foi inviabilizado devido a proliferação e cobertura do espelho d'água por macrófitas aquáticas. O objetivo principal desta pesquisa é analisar os impactos do uso e ocupação do solo na qualidade das águas da sub-bacia PD 07, bem como propor soluções para a problemática existente. Inicialmente caracterizou-se a sub-bacia quanto ao uso e ocupação do solo por meio de imagens de satélite e elaboração de mapas. A interpretação da qualidade da água foi feita por meio da comparação dos resultados obtidos com os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA nº 357/2005 para águas de classe II, e a aplicação do índice de qualidade da água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET), considerando a sazonalidade do regime de precipitação, utilizando-se como referência a média histórica mensal dos anos 2000 a 2020. Constatou-se por meio das análises que a Lagoa dos Morros e seus principais afluentes não estão dentro dos padrões exigidos para águas de classe II, por apresentar elevadas concentrações de E.Coli, DBO, fósforo e nitrato, oriundos do lançamento de efluentes sem tratamento prévio. O IQA dos seis pontos analisados variaram entre bom e ruim conforme o período de análise. Os piores IQAs foram identificados durante o período chuvoso nos dois principais afluentes da lagoa, e dentro da lagoa dos Morros, que apesar de ser receptora de diversos poluentes, sua água foi classificada como de boa qualidade. O IET dos ambientes lênticos apresentaram estados ultraoligotróficos e dos ambientes lóticos estados supereutrófico e eutrófico, em ambos os períodos de análise. A cobertura da Lagoa dos Morros por macrófitas inviabilizou a sua utilização para os diversos usos destinados anteriormente, sendo necessário a implantação de um plano de revitalização, com o intuito de restabelecer o equilíbrio ecológico e suas diversas formas de uso, levando-se em consideração a participação do poder público, com a ampliação da rede de esgotamento sanitário, e da educação ambiental com a comunidade local.

Palavras - chave: Qualidade da água. Eutrofização. Urbanização. Teresina-PI.

ABSTRACT

Teresina has been showing an accentuated urban growth, however devoid of careful planning, especially related to basic sanitation, whose lack affects mainly the sub-basins that make up the urban area. The PD 07 sub-basin, located in the east, is composed of several neighborhoods with high population density and a significant deficit in sanitary sewage. At its mouth is the Zoobotanical Park, which has an area of 127.5 hectares intended for environmental protection and conservation. Inside the park there is a large natural lagoon, called Lagoa dos Morros, which was used for recreational activities, known mainly for the use of pedal boats, whose use was made unfeasible due to the proliferation and coverage of the water mirror by aquatic macrophytes. The main objective of this research is to analyze the impacts of land use and occupation on the water quality of the PD 07 sub-basin, as well as to propose solutions for the existing problem. Initially, the sub-basin was characterized in terms of land use and occupation through satellite images and mapping. The interpretation of the water quality was made by comparing the results obtained with the parameters established by CONAMA n° 357/2005 for class II waters, and the application of the water quality index (IQA) and the Trophic State Index (IET), considering the seasonality of the rainfall regime, using as a reference the monthly historical average from the years 2000 to 2020. It was found through the analysis that the Lagoa dos Morros and its main tributaries are not within the standards required for class II waters, as they present high concentrations of E.Coli, BOD, phosphorus and nitrate, arising from the discharge of effluents without treatment. prior. The IQA of the six analyzed points varied between good and bad according to the period of analysis. The worst IQAs were identified during the rainy season in the two main tributaries of the lagoon, and inside the Morros lagoon, which despite being a receiver of several pollutants, its water was classified as of good quality. The ETI of the lentic environments presented ultraoligotrophic states and of the lotic environments supereutrophic and eutrophic states, in both analysis periods. The coverage of Lagoa dos Morros by macrophytes made its use unfeasible for the various uses previously intended, requiring the implementation of a revitalization plan, in order to restore the ecological balance and its various forms of use, taking into account the participation of the public power, with the expansion of the sanitary sewage network, and environmental education with the local community.

Keywords: Water quality. Eutrophication. Urbanization. Teresina-PI.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- | Mapa de localização da área de estudo..... | 28 |
| Figura 2- | Localização e delimitação do Parque Zoobotânico e da Lagoa dos Morros na Sub-bacia..... | 29 |
| Figura 3- | Localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água..... | 31 |
| Figura 4- | Mapa de localização dos setores censitários que compõem a zona urbana e rural da sub-bacia..... | 35 |
| Figura 5- | Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia..... | 38 |
| Figura 6- | Mapa de cobertura da rede de esgotamento sanitário da sub-bacia..... | 40 |
| Figura 7 | Aspectos característicos da turvação dos períodos chuvoso e de estiagem no P3..... | 44 |
| Figura 8- | Retirada de vegetação no P2 no mês de outubro..... | 46 |
| Figura 9- | Focos de contaminação da lagoa dos Morros..... | 48 |
| Figura 10- | Focos de poluição da Lagoa dos Morros no ponto de coleta P3..... | 49 |
| Figura 11- | Presença de resíduos e ligações clandestinas de esgotamento sanitário no P4..... | 49 |
| Figura 12- | Focos de poluição identificados na sub-bacia..... | 50 |
| Figura 13- | Espumas identificadas no P5 no mês de outubro..... | 51 |
| Figura 14- | Presença de macrófitas aquáticas na lagoa dos Morros..... | 57 |
| Figura 15- | Localização dos pontos de coleta de nitrato referentes ao ponto de monitoramento P4 na sub-bacia..... | 61 |
| Figura 16- | Afluentes oriundos do bairro satélite para o córrego do bairro Morros..... | 62 |
| Figura 17- | Análise espaço-temporal do processo de eutrofização da lagoa do Morros.... | 71 |
| Figura 18- | Proliferação de macrófitas aquáticas na lagoa dos Morros..... | 72 |
| Figura 19- | Processos erosivos nos sangradouros da lagoa dos Morros..... | 73 |
| Figura 20- | Dique construído no sangradouro da lagoa dos Morros..... | 74 |
| Figura 21- | Mapa de localização da Lagoa dos Pedalinhos e do dique construído no Parque Zoobotânico..... | 75 |
| Figura 22- | Lagoa dos pedalinhos do Parque Zoobotânico de Teresina..... | 76 |
| Figura 23- | Projeto de interligação das lagoas para a implantação do Riacho Atlantis no Parque Zoobotânico..... | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- | Classificação dos corpos de água doce segundo a resolução CONAMA nº 357/2005..... | 18 |
| Tabela 2 | Variáveis de qualidade da água e seu respectivo peso..... | 21 |
| Tabela 3 | Classificação do IQA conforme a CETESB..... | 22 |
| Tabela 4- | Classificação do Estado Trófico para ambientes lóticos modificado por Lamparelli (2004)..... | 25 |
| Tabela 5- | Classificação do Estado Trófico para ambientes lênticos modificado por Lamparelli (2004)..... | 26 |
| Tabela 6- | Pontos de monitoramento na sub-bacia..... | 31 |
| Tabela 7- | Metodologias para a determinação das variáveis de qualidade da água..... | 32 |
| Tabela 8- | Padrões de qualidade adotados para análise de água classe II..... | 33 |
| Tabela 9- | Caracterização dos setores censitários pertencentes à sub-bacia..... | 36 |
| Tabela 10- | Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade de água referentes aos pontos de monitoramento na sub-bacia, no período de novembro de 2020 a outubro de 2021..... | 42 |
| Tabela 11- | Valores do IQA de cada ponto de monitoramento da sub-bacia..... | 63 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1- | Dados de precipitação de Teresina-PI referentes ao período de estudo..... | 41 |
| Gráfico 2- | Variação sazonal dos valores de sólidos totais nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 45 |
| Gráfico 3- | Variação sazonal dos valores de E.coli nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 52 |
| Gráfico 4 - | Variação sazonal dos valores de OD nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 54 |
| Gráfico 5- | Variação sazonal dos valores de DBO nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 55 |
| Gráfico 6- | Variação sazonal dos valores de fósforo total nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 59 |
| Gráfico 7- | Variação sazonal dos valores de nitrato no ponto de monitoramento P4 | |

| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | da sub-bacia..... | 60 |
| Gráfico 8- | Variação sazonal dos valores de clorofila-a nos pontos de monitoramento da sub-bacia..... | 66 |
| Gráfico 9- | Comparação da variação sazonal dos IET de cada ponto de monitoramento na sub-bacia..... | 68 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP - Áreas de Preservação Permanente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CL – Clorofila-a

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

E.Coli - *Escherichia coli*

ETA - Estações de Tratamento de Água

FT - Fósforo Total

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET - Índice do Estado Trófico

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQA - Índice de Qualidade da Água

OD - Oxigênio Dissolvido

pH - Potencial Hidrogeniônico

PPP - Parceria Público Privada

SEMAR - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SEMPPLAN - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação

SUPARC - Superintendência de Parcerias e Concessões

UFPI - Universidade Federal do Piauí

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 OBJETIVOS..... | 14 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 14 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 15 |
| 3.1 Bacias Hidrográficas..... | 15 |
| 3.2 Avaliação da qualidade da água..... | 17 |
| 3.3 Eutrofização dos corpos hídricos | 23 |
| 4 METODOLOGIA..... | 28 |
| 4.1 Área de estudo..... | 28 |
| 4.2 Materiais e métodos..... | 30 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 5.1 Caracterização do uso e ocupação do solo na sub-bacia..... | 35 |
| 5.2 Qualidade das águas da sub-bacia..... | 40 |
| 5.3 Índice de Qualidade de Água..... | 63 |
| 5.4 Índice de Estado Trófico (IET)..... | 65 |
| 5.5 Impactos no uso da Lagoa dos Morros no Parque Zoobotânico..... | 70 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 79 |
| REFERÊNCIAS..... | 81 |
| APÊNDICE A: Tabela de caracterização dos setores censitários da sub-bacia..... | 90 |
| APÊNDICE B: Resultados das análises referentes aos meses de monitoramento..... | 93 |
| APÊNDICE C: Tabela de resultados dos IET dos pontos de monitoramento..... | 96 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e as diversas formas existentes de uso e ocupação do solo, tem influenciado segundo Costa *et al.* (2018) nas questões ambientais, pois o crescimento rápido e sem planejamento tem contribuído para a deterioração dos espaços urbanos, gerando problemas de ordem social, econômica e ambiental. Tais alterações podem contribuir para o desequilíbrio da bacia hidrográfica, ocasionando profundas modificações às suas características físicas (MENEZES; SALGADO, 2018).

Teresina, capital do Piauí, vem apresentando um crescimento urbano acentuado, porém desprovido de planejamento criterioso (OLIVEIRA FILHO; LIMA NETO, 2017) sobretudo relacionado ao saneamento básico da cidade, sendo necessário investimentos na ampliação de redes de esgotamento sanitário, coleta de resíduos e tratamento das águas residuais. A falta de planejamento pode ser observada principalmente nas sub-bacias que compõem a zona urbana da cidade, cujo déficit no saneamento e uso e ocupação desordenado do solo causam impactos ao meio ambiente.

A sub-bacia PD 07 está localizada na zona leste de Teresina, área de grande expansão urbana, que compreende tanto a zona urbana como rural da cidade. A sub-bacia é composta por vários bairros com elevada densidade populacional e um significativo déficit no esgotamento sanitário, cujos efluentes provavelmente são despejados nos corpos hídricos existentes.

No exutório da sub-bacia encontra-se umas das maiores áreas de preservação ambiental de Teresina, o Parque Zoobotânico (PZB), que é administrado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR), criado pela Lei nº 3.149, de 06 de julho de 1972, e regulamentado pelo Decreto Estadual nº 1.608, de 08 de maio de 1973. O Parque tornou-se uma Unidade de Proteção Integral em 2017, através do Decreto Estadual nº 17.430, o qual passou a denominar-se Parque Estadual Zoobotânico.

O PZB é o terceiro maior parque urbano do país, sendo o maior da região Nordeste (SUPARC, 2021). É referência em preservação ambiental e um dos parques mais visitados da cidade, com uma localização privilegiada e de fácil acesso, responsável pela valorização do verde e interação entre o homem e a natureza.

O parque possui uma área de 127,5 hectares (ha) destinados à proteção e conservação ambiental, abriga uma grande diversidade de espécies nativas e um zoológico com diversos animais que são atrativos para turistas e objetos de estudos por

diversas instituições. O seu objetivo é preservar o ecossistema da região meio-norte do Estado, manutenção do microclima, desenvolver atividades de interpretação ambiental e turismo ecológico (PIAUI, 2019).

No interior do PZB existe uma lagoa de grande porte denominada Lagoa dos Morros, a qual encontra-se no exutório da sub-bacia, às margens do rio Poti, possuindo como afluentes os dois principais córregos da região. A Lagoa dos Morros faz parte da memória histórica e afetiva da população teresinense, pois era utilizada para atividades recreativas, conhecida principalmente pela utilização dos pedalinhos, entretanto, seu uso foi inviabilizado devido a proliferação e cobertura do espelho d'água por macrófitas aquáticas.

É provável que a lagoa esteja sendo contaminada por efluentes sanitários provenientes a montante da sub-bacia, pois está localizada na proximidade de vários bairros desprovidos de planejamento urbano e de uma rede de esgotamento sanitário adequada. Devido à falta de saneamento, a lagoa acaba por receber essa carga de poluentes que se acumulam e provocam sua degradação.

Os estudos referentes ao parque envolvem principalmente os aspectos relacionados à fauna e flora local, não havendo referências sobre a qualidade das águas na academia e nem no órgão responsável. O monitoramento da qualidade da água da lagoa e de seus afluentes é essencial para identificar quais os fatores que possivelmente estão contribuindo para sua visível degradação.

Tais condições nos fazem levantar os seguintes questionamentos: Se a sub-bacia não possui sistema de esgotamento sanitário, para onde são destinados os efluentes gerados? Será se os corpos hídricos superficiais são os principais receptores dos efluentes sanitários? Quais as formas de uso e ocupação do solo existentes na sub-bacia estão contribuindo para a degradação da lagoa dos Morros? O que pode ser feito para minimizar os problemas existentes?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os impactos na qualidade das águas da sub-bacia PD 07 conforme o uso e ocupação do solo, bem como propor soluções para a problemática existente.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a sub-bacia quanto ao uso e ocupação do solo;
- Avaliar a qualidade das águas considerando a sazonalidade do regime de precipitação;
- Verificar os fatores que contribuem para a degradação da lagoa dos Morros;
- Identificar os principais impactos no uso da Lagoa dos Morros.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é a unidade territorial de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 de 1997, que apresenta como diretrizes de ação a gestão sistemática dos recursos hídricos atrelada com a gestão ambiental e o adequado planejamento do uso e ocupação do solo, visando um melhor gerenciamento da bacia (BRASIL, 1997).

Segundo Sardinha *et al.* (2019, p. 96) “A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório”. Ela é composta por várias sub-bacias que se sobrepõem, as quais são delineadas a partir dos limites das ordens dos cursos d’água (RODRIGUES; MENDIONDO, 2013).

A bacia hidrográfica é utilizada como área de planejamento ambiental, devido ser a unidade natural receptora de todas as interferências naturais e antrópicas da região que drena (JOIA; ANUNCIACÃO; PAIXÃO, 2018). Devido a isso, foi necessário o desenvolvimento e a utilização de tecnologias que delimite e caracterize as bacias hidrográficas existentes, visando um melhor planejamento e conservação dos recursos naturais.

Trentin e Robaina (2019) destacam que para entender o comportamento das bacias hidrográficas é necessário uma análise integrada dos elementos que a compõem, de modo a estabelecer a interação das variáveis, possibilitando o conhecimento do sistema, o que dará suporte ao embasamento de estratégias de planejamentos e tomadas de decisões referentes a bacia.

As bacias hidrográficas são delimitadas por meio de dados altimétricos que são utilizados em estudos de monitoramento ambiental e hidrológicos, em atividades como a análise de processos erosivos e a caracterização de bacias hidrográficas (ALENCAR *et al.*, 2019). As variáveis ambientais de altitude, declividade, litologias e solos, possibilitam a caracterização do meio sobre as quais desenvolvem-se as atividades humanas, cujo estudos são fundamentais para o entendimento dos processos geomorfológicos e de que forma as ações antrópicas podem interagir com o meio (TRENTIN; ROBAINA, 2019).

Dias, Aquino e Santos (2020) destacam que a análise das características do relevo nas bacias hidrográficas é importante, pois está diretamente relacionado ao risco de erosão do solo, ao escoamento superficial e a velocidade da água, por conseguinte, ao transporte do solo, nutrientes e quaisquer tipos de poluentes para os cursos de água.

Outra forma de caracterização das bacias hidrográficas é por meio das características morfométricas, que é segundo Silva *et al.* (2018) a análise hidrológicas e/ou ambientais da bacia, que possui como objetivo esclarecer questões sobre a dinâmicas, locais e regionais, do processo de infiltração, quantidade de deflúvio, evapotranspiração, e do escoamento superficial e subsuperficial associando a elementos físicos e bióticos de uma bacia hidrográfica.

Por meio das características morfométrias das bacias hidrográficas é possível também identificar a forma da bacia, fator que pode influenciar em casos de enchentes. Vale e Bordalo (2020) constataram que as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Apeú, no Pará, demonstram que não há um favorecimento a concentração do fluxo fluvial, visto que a forma da bacia é comprida e tem baixíssima tendência a ocorrência de enchentes.

Cabe destacar que dentro de uma bacia hidrográfica existem várias sub-bacias que a compõem, que segundo Moraes (2016) facilitam o diagnóstico e o monitoramento ambiental da bacia hidrográfica como um todo, pois permitem a correlação da qualidade da água com a dinâmica do uso e ocupação do solo, bem como a delimitação de áreas críticas e a identificação de processos impactantes advindos principalmente de atividades antrópicas. Para minimizar os conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo e suas consequências para o meio ambiente, é necessário um planejamento criterioso que tenha como objetivo o equilíbrio entre o homem e a natureza.

Para Costa (2018) o planejamento do uso do solo desempenha um papel importante na ocupação territorial de toda a bacia, pois uma das principais características que afetam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos é o uso do solo, devido à ocupação urbana e rural. Visto que, as áreas das bacias hidrográficas contemplam várias atividades industriais e agrícolas, bem como diversos tipos de formações vegetais, rios, riachos, córregos, lagoas, entre outros ambientes naturais que são impactados direta ou indiretamente pelo uso e ocupação existente na bacia.

Cabe destacar que a bacia hidrográfica interage constantemente com o ambiente e com outras bacias, ou seja, quaisquer alterações provocadas em sua montante repercutem em toda sua abrangência. Deste modo, segundo Menezes e Salgado (2018),

a bacia hidrográfica funciona como um sistema aberto, que integra tanto os elementos naturais (recursos hídricos, solos, vegetação etc.), como os elementos humanos (residências, calçamentos etc.), compreendendo os processos hidrológico, geomorfológicos, biogeográficos e socioambientais.

A exemplo, a bacia hidrográfica do riacho Rangel, um dos principais afluentes do rio Gurguéia, no Piauí, que abrange uma vasta rede hidrológica, com área de drenagem de 326.18 km², em que quaisquer danos causados em sua bacia podem afetar significativamente a quantidade e qualidade da água que abastece a macrorregião do Nordeste Brasileiro (SILVA, *et al.*, 2018).

Para auxiliar no planejamento ambiental nas bacias hidrográficas, foram desenvolvidos vários tipos de ferramentas, como o mapeamento de uso e cobertura do solo, que segundo Cornelli *et al.* (2016) surge como uma ferramenta de análise ambiental de forma a auxiliar na visualização da ocupação do solo, como as áreas de perdas de biodiversidade, alterações climáticas e impacto socioambiental causado pela urbanização na bacia.

Através do mapeamento e da classificação de imagens supervisionada no município de Presidente Médici em Rondônia, Santos, *et al.* (2019) identificaram que a classe de vegetação apresentou valores baixos em relação à área antropizada, demonstrando que o município possui cerca de três-quartos de sua área desmatada. Moraes (2016) afirma que o monitoramento da cobertura vegetal é essencial, pois a vegetação contribui para o equilíbrio das variáveis internas dos ecossistemas aquáticos e a manutenção do regime hidrológico da bacia hidrográfica.

Segundo Schussel e Nascimento Neto, (2015) é necessário que haja uma articulação entre os controles urbanísticos e ambientais nas bacias hidrográficas, que são as unidades de gestão, atendendo a legislação pertinente e criando ambientes urbanos mais sustentáveis. FIA *et al.* (2015) afirmam que os efeitos combinados da urbanização e das demais atividades antropogênicas associadas ao rápido crescimento populacional são facilmente visualizados nos ecossistemas aquáticos.

3.2 Avaliação da qualidade da água

A avaliação dos recursos hídricos é algo primordial para a identificação de sua qualidade e do uso a qual se destina. A normativa nacional que trata sobre a qualidade e classificação dos corpos hídricos superficiais no Brasil é a resolução do Conselho

Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos mediante padrões físicos, químicos e biológicos de qualidade da água, estabelecendo as diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 de 1997, o enquadramento dos corpos de água em classes tem por objetivo assegurar que o corpo hídrico possua qualidade compatível com o uso mais exigente ao qual foi destinado, bem como diminuir os custos de combate à poluição com ações preventivas e permanentes (BRASIL, 1997). O CONAMA nº 357/2005 estabelece cinco classes de enquadramento para as águas doces superficiais, conforme estabelecido na tabela 1, em que, enquanto não aprovados os processos de enquadramento dos corpos hídricos, os mesmos podem ser considerados de classe II (BRASIL, 2005).

Tabela 1- Classificação dos corpos de água doce segundo a resolução CONAMA nº 357/2005.

| CLASSIFICAÇÃO | DESTINAÇÃO |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe especial | - Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; - Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. |
| Classe I | - Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - Proteção das comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); - Irrigação de hortaliças; - Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. |
| Classe II | - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; - Proteção das comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário; - Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; - Aquicultura e à atividade de pesca. |
| Classe III | - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - Pesca amadora; - Recreação de contato secundário; - Dessedentação de animais. |
| Classe IV | - Navegação; - Harmonia paisagística. |

Fonte: BRASIL (2005); elaborado pelo autor, 2022.

Para Machado, Knapik e Bitencourt (2019) a melhor maneira para se medir a efetivação do processo de enquadramento de um corpo hídrico é por meio do monitoramento e da evolução da qualidade da água, visto que, são muitos os mecanismos necessários para enquadramento das águas em classes, os quais incluem os

parâmetros de qualidade de água que visa identificar se o corpo hídrico obedece aos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005.

Para Maia, Silva e Libânio (2019) o monitoramento da qualidade da água é um processo de amostragem com a determinação de parâmetros e armazenamento de dados que contemplem as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais, com a finalidade principal de avaliar sua qualidade e identificar as relações das ações antrópicas sobre os corpos hídricos.

Para se avaliar a qualidade da água é necessário utilizar métodos de fácil compreensão ao usuário, sendo o mais indicado os índices de qualidade da água. Segundo Santos *et al.* (2018) os índices além de serem facilmente compreendidos, desempenham um importante papel na tradução dos resultados, e são considerados importantes mecanismos de suporte à tomada de decisões envolvendo questões ambientais.

Foram desenvolvidos diversos índices para a análise da qualidade das águas, entre eles podemos destacar o Índice de Qualidade da Água de Bascarán (IQA_B), o Índice de Qualidade da Água Canadense, desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (IQA_{CCME}), o Índice de Qualidade da Água elaborado pela *National Sanitation Foundation* (IQA_{NSF}) nos Estados Unidos, e o Índice de Qualidade da Água (IQA_{CETESB}) desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

IQA_B já foi utilizado em alguns estudos para identificar a qualidade da água de alguns corpos hídricos da região urbana, dentre eles destacamos os estudos de Roveri *et al.* (2017); Oliveira, Santos e Lima (2017) e Menezes *et al.* (2018). Este último utilizou o IQA_{CETESB} e o IQA_B para analisar a qualidade da água da bacia hidrográfica rio São Domingos no Rio de Janeiro com intuito de comparar os resultados obtidos para os dois métodos, constatando-se diferenças consideráveis em suas aplicações, devido principalmente a constante K, que varia em função o aspecto visual das águas no IQA_B.

Utete e Tsamba (2017) utilizaram o IQA_{CCME}, cujo resultado varia entre 0 e 100 e suas categorias de ótima a péssima, para avaliar a qualidade da água do reservatório da Barragem Manjirenji, localizado no sudeste do Zimbábue, usado para múltiplos usos como irrigação, abastecimento humano e geração de energia, o qual apresentou uma qualidade razoável com um valor IQA_{CCME} médio de 78,1. Outros autores também se

valeram desse índice para avaliar a qualidade das águas de diversos países, como os estudos de Gupta, Pandey e Hussain (2017) e Jakovljevic (2020).

Dos mais diversos índices desenvolvidos o IQA_{NSF} é o mais utilizado mundialmente, segundo Misaghi *et al.* (2017) o IQA_{NSF} é um dos índices mais abrangentes e comuns para classificações de qualidade de águas superficiais em todo o mundo. Esse índice é determinado com base em nove parâmetros de qualidade da água, sendo eles: Temperatura, Potencial Hidrognênico (pH), turbidez, fósforo total (FT), Nitrato, sólidos totais dissolvidos, OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes. Esse índice tem sido utilizado em vários estudos no Brasil e no mundo, para a determinação da qualidade das águas superficiais, tais como apresentados nos estudos de Misaghi *et al.* (2017) e Gupta, Pandey e Hussain (2017).

A CETESB utiliza o IQA desde 1975, criado a partir de uma adaptação do estudo realizado pela *National Sanitation Foundation*, em 1970, apresentando como principais diferenças a substituição de duas variáveis, nitrato e STD, por nitrogênio total e sólido total, respectivamente, além de pequenas variações nos pesos de algumas variáveis (CETESB, 2018a).

O IQA_{CETESB} é um instrumento matemático que apresenta diversas vantagens, como: a unificação dos parâmetros de natureza biológica, química e/ou física; a facilidade de comunicação com o público em geral; a geração de uma classificação geral ao invés de variáveis isoladas e a unificação de diversas variáveis em um único número; além de compatibilizar diferentes unidades de medidas em uma única unidade (CETESB, 2018a).

Atualmente o IQA_{CETESB} é um dos índices mais utilizados no Brasil para o monitoramento da qualidade das águas, e é composto por variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas. Seu valor pode ser calculado por meio do IQA somatório (equação 1) ou pelo IQA produtivo (equação 2), cujo uso é mais indicado.

$$IQA = \frac{\sum_{i=1}^{i=8} q_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{i=8} w_i} \quad (1)$$

Onde:

Σ : símbolo de somatório;

q_i : qualidade relativa do i -ésimo parâmetro;

w_i : peso relativo do i -ésimo parâmetro;

i : número de ordem do parâmetro

$$IQA = \prod_{i=1}^{i=8} q_i^{w_i} \quad (2)$$

Onde:

Π : símbolo de produto;

q_i : qualidade relativa do i -ésimo parâmetro;

w_i : peso relativo do i -ésimo parâmetro;

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

A tabela 2 contém as variáveis utilizadas para a determinação do IQA e seus respectivos pesos a serem utilizados no cálculo. Os valores do IQA, conforme especificado na tabela 3, variam entre 0 e 100, e são utilizados para definir o nível de qualidade da água, que pode variar de ótima a péssima. Cabe destacar que caso falte o valor de qualquer um das nove variáveis, o cálculo do IQA torna-se inviabilizado.

Tabela 2 - Variáveis de qualidade da água e seu respectivo peso.

| Variável de qualidade | Peso W_i |
|--------------------------------|------------------------------|
| Oxigênio Dissolvido | 0,17 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | 0,10 |
| Coliformes Termotolerantes | 0,15 |
| Fósforo total | 0,10 |
| Nitrogênio total | 0,10 |
| Potencial Hidrogeniônico | 0,12 |
| Sólido total | 0,08 |
| Temperatura da água | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |

Fonte: CETESB (2018a), elaborado pelo autor, 2020.

Tabela 3 - Classificação do IQA conforme a CETESB.

| CATEGORIA | PONDERAÇÃO |
|-----------|---------------------|
| ÓTIMA | $79 < IQA \leq 100$ |
| BOA | $51 < IQA \leq 79$ |
| REGULAR | $36 < IQA \leq 51$ |
| RUIM | $19 < IQA \leq 36$ |
| PÉSSIMA | $IQA \leq 19$ |

Fonte: CETESB (2018a), modificado pelo autor, 2020.

Santos *et al.* (2018) utilizou-se do IQA para identificar e classificar a qualidade da água dos corpos hídricos da bacia costeira do Sapucaia no litoral do Estado de Sergipe. Estes monitoraram oito pontos localizados dentro da bacia, entre eles rios, riachos, lagoas e nascentes, e constataram que a qualidade das águas varia de regular a ótima, havendo pouca interferência antrópica.

Os principais impactos acarretados nas bacias hidrográficas são decorrentes de atividades antrópicas, relacionados em sua grande maioria ao processo de urbanização, visto que a maioria dos centros urbanos vem priorizando um padrão de desenvolvimento de uso e ocupação do solo sem levar em conta a sustentabilidade urbana e ambiental.

Oliveira, Santos e Lima (2017) constataram que a qualidade da água do riacho São Caetano localizada na área urbana do município de Balsas no Maranhão vem sofrendo significativas interferências antrópicas relacionadas principalmente a expansão imobiliária as suas margens, lançamento de efluentes decorrentes da falta de saneamento básico, depósito de resíduos inadequado em vários pontos ao entorno do Riacho, bem como a falta da mata ciliar, o que provoca processo erosivos.

Essa realidade é comumente visível em grandes centros urbanos como no município de Guarulhos em São Paulo, onde a presença de residências não consolidadas nas margens do Córrego Pedrinhas provocou o desmatamento da mata ciliar deixando o solo exposto, bem como a presença de lixo ao seu entorno, características que contribuíram para o declínio da qualidade da água no decorrer do Córrego (VARGAS *et al.* 2019). Cabe destacar que com a urbanização os espaços permeáveis como florestas, parques e bosques, geralmente são convertidos em espaços impermeáveis o que provoca o aumento do volume das águas de escoamento.

Com a falta de cobertura do solo os processos erosivos se intensificam e podem ocasionar diversos impactos nos recursos hídricos. Segundo Araújo, Almeida e Guerra (2017) a forma mais comum de erosão é a perda da camada superficial do solo pela ação da água e/ou do vento, em que dependendo da deformação do terreno os processos erosivos podem formar ravinas e voçorocas, podendo também causar a destruição das margens de rios e deslizamento de terras, intensificados pela ação antrópica nas bacias hidrográficas.

No Piauí, a bacia hidrográfica do rio Poti vem sofrendo impactos significativos com a urbanização às suas margens, principalmente no seu baixo curso que compreende a cidade de Teresina. Estudos realizados por Soares, Silva e Batista (2019) constataram que conforme o rio adentra a região mais urbanizada da cidade pior torna-se a qualidade de sua água, atribuída principalmente a urbanização e a precariedade do sistema de esgotamento sanitário da capital.

Segundo Joia, Anunciação e Paixão (2018) para se obter uma melhor gestão dos recursos hídricos é necessário estabelecer a melhor forma de sua utilização, reduzindo o consumo desnecessário nos seus diferentes campos, como na irrigação, indústria, turismo e na própria dessedentação de pessoas e animais. Além disso, é necessário a implantação de um monitoramento ambiental que vise caracterizar e avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo e os impactos decorrentes nos recursos naturais, especialmente nos recursos hídricos.

3.3 Eutrofização dos corpos hídricos

A eutrofização do corpo hídrico pode ocorrer de maneira natural ou por meio da interferência humana, cujos nutrientes podem ser de diferentes origens como efluentes domésticos, industriais e/ou de atividades agrícolas, entre outros tipos de fontes oriundas das atividades antrópicas que aceleram o processo de eutrofização da água (ESTEVEZ, 2011).

O excesso de nutrientes podem ser provenientes tanto de fontes pontuais como de fontes difusas, cuja predominância variam de acordo com o período avaliado. Segundo Pereira *et al.* (2020) as atividades que podem contribuir para o aporte de nutrientes no corpo hídrico no período de estiagem são aquelas provenientes da poluição pontual, cujos despejos ocorrem diretamente nos corpos hídricos da bacia,

como os efluentes provenientes da mineração, agroindústria, piscicultura e das cidades, com lançamentos de águas residuais e outros resíduos.

Já no período chuvoso, segundo os autores, as atividades de maior impacto são aquelas cuja poluição apresentam natureza difusa, que através das chuvas, promovem o escoamento superficial, o carreamento e a lixiviação dos poluentes presentes no solo para o corpo hídrico, como proveniente das atividades agropecuárias e inerentes as cidades (PEREIRA *et al.*, 2020).

As atividades agrícolas, comumente localizadas em áreas rurais, utilizam produtos químicos como fertilizantes que contém em sua composição uma considerável proporção de fósforo, que são facilmente carreados pelas águas da chuva aos leitos dos córregos e rios, contribuindo para o processo de eutrofização da água (SANTOS *et al.* 2018).

Segundo Melo *et al.* (2019) o processo de eutrofização no sistema aquático tem efeitos indesejáveis, tais como a geração de odores ruins, mortandade de peixes, mudanças da biodiversidade aquática e excesso de macrófitas aquáticas no corpo hídrico. Grandes concentrações de algas provocadas pelo excesso de nutrientes podem trazer prejuízos aos múltiplos usos da água, prejudicando seriamente o abastecimento público ou causando poluição decorrente da morte e decomposição desses organismos (CETESB, 2018b).

A eutrofização também pode provocar o entupimento dos sistemas de floculação, decantação e filtragem das Estações de Tratamento de Água (ETA), causar gosto e odor às águas de abastecimento público, reduzir o fluxo de entrada de água em usinas hidroelétricas, inviabilizar a navegação, além de impedir o uso para recreação (SAAD *et al.* 2013).

O Índice do Estado Trófico (IET) tem a finalidade de classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, por meio da avaliação da qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e o crescimento excessivo das algas ou o aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2018b).

O IET pode ser calculado tanto em ambientes lóticos, como rios e córregos, e em ambientes lênticos, caracterizados por possuírem uma vazão menor, como lagoas e reservatórios. O IET pode ser medido de acordo com as variáveis de transparência, fósforo total e clorofila-a, tanto para ambientes lóticos, estabelecidos nas equações 3, 4 e 5, e lênticos, nas equações 6, 7 e 8, modificados de acordo com Lamparelli (2004), respectivamente:

- Ambientes lóticos

$$\text{IET (T)} = 10 \times (6 - ((\ln S) / \ln 2)) \quad (3)$$

$$\text{IET (FT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln PT)) / \ln 2)) \quad (4)$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln CL)) / \ln 2)) \quad (5)$$

- Ambientes lênticos

$$\text{IET (T)} = 10 \times (6 - ((\ln S) / \ln 2)) \quad (6)$$

$$\text{IET (FT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln FT) / \ln 2)) \quad (7)$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CL)) / \ln 2)) \quad (8)$$

Onde:

T: Transparência, leitura em m, do disco de Secchi;

FT: fósforo total medida à superfície da água, em mg.L-1;

CL: clorofila-a medida à superfície da água, em µg.L-1;

ln: logaritmo natural.

As tabelas 4 e 5 demonstram as diferentes classes de trofia, a variação do IET pertencente a cada nível trófico, bem como os limites estabelecidos para as variáveis transparência, fósforo total e clorofila-a em ambientes lóticos e lênticos, respectivamente.

A transparência é medida facilmente utilizando-se um disco de secchi, cujo sua medida é possível estimar a profundidade da penetração vertical da luz solar na coluna d'água o que indica o nível de atividade fotossintética de lagos ou reservatórios (CETESB, 2018b).

Tabela 4 - Classificação do Estado Trófico para ambientes lóticos modificado por Lamparelli (2004).

| Nível Trófico | IET | T (m) | FT (mg.L ⁻¹) | CL (µg.L ⁻¹) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| Ultraoligotrófico | ≤ 47 | ≥ 2,4 | ≤ 0,013 | ≤ 0,74 |
| Oligotrófico | 47 < IET ≤ 52 | 2,4 > S ≥ 1,7 | 0,013 < FT ≤ 0,035 | 0,74 < CL ≤ 1,31 |
| Mesotrófico | 52 < IET ≤ 59 | 1,7 > S ≥ 1,1 | 0,035 < FT ≤ 0,137 | 1,31 < CL ≤ 2,96 |
| Eutrófico | 59 < IET ≤ 63 | 1,1 > S ≥ 0,8 | 0,137 < FT ≤ 0,296 | 2,96 < CL ≤ 4,70 |
| Supereutrófico | 63 < IET ≤ 67 | 0,8 > S ≥ 0,6 | 0,296 < FT ≤ 0,640 | 4,70 < CL ≤ 7,46 |
| Hipereutrófico | >67 | <0,6 | >0,640 | >7,46 |

Fonte: Lamparelli (2004), elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 5 - Classificação do Estado Trófico para ambientes lênticos modificado por Lamparelli (2004).

| Nível Trófico | IET | T (m) | FT (mg.L ⁻¹) | CL (µg.L ⁻¹) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| Ultraoligotrófico | ≤ 47 | ≥ 2,4 | ≤ 0,008 | ≤ 1,17 |
| Oligotrófico | 47 < IET ≤ 52 | 2,4 > S ≥ 1,7 | 0,008 < FT ≤ 0,019 | 1,17 < CL ≤ 3,24 |
| Mesotrófico | 52 < IET ≤ 59 | 1,7 > S ≥ 1,1 | 0,019 < FT ≤ 0,052 | 3,24 < CL ≤ 11,03 |
| Eutrófico | 59 < IET ≤ 63 | 1,1 > S ≥ 0,8 | 0,052 < FT ≤ 0,120 | 11,03 < CL ≤ 30,55 |
| Supereutrófico | 63 < IET ≤ 67 | 0,8 > S ≥ 0,6 | 0,120 < FT ≤ 0,233 | 30,55 < CL ≤ 69,05 |
| Hipereutrófico | >67 | <0,6 | >0,233 | >69,05 |

Fonte: Lamparelli (2004), elaborado pelo Autor, 2020.

Essa variável é mais indicada em ambientes lênticos devido à baixa vazão e a melhor estabilização do nível trófico. Vale destacar que os valores da transparência podem não ser representativos do estado de trofia em elevada turbidez, afetada pelo material mineral em suspensão e pela densidade de organismos planctônicos (CETESB, 2018a).

A clorofila-a e o fósforo são as melhores variáveis para se estabelecer o grau de trofia nos ecossistemas aquáticos. Vale destacar que o fósforo total é um parâmetro que deve ser analisado criteriosamente, principalmente no caso dos rios que alimentam reservatórios e lagoas, pois facilita no processo de eutrofização (MACHADO; KNAPIK; BITENCOURT, 2019).

Sardinha *et al.* (2019) utilizou-se do IET (FT) para medir o nível de eutrofização das águas fluviais da bacia hidrográfica do Córrego da Ariranha em Poços de Caldas, Minas Gerais, com intuito de identificar o estado trófico das águas de acordo com o uso e ocupação do solo na bacia. Os autores constaram que houve uma variação entre os estados oligotrófico e mesotrófico, cujos maiores valores de IET (FT) foram durante o período chuvoso, em que a intensificação das práticas agrícolas favoreceram o escoamento do fósforo para os corpos hídricos.

O resultado do IET também pode ser a média aritmética simples dos índices relativos ao FT e a CL, apresentado na equação 9 (CETESB, 2018a), a qual será utilizada para medir o IET dos corpos hídricos disponíveis na sub-bacia em estudo.

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 \quad (9)$$

Os resultados correspondentes IET (FT) são entendidos como a medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo, e o IET (CL), por sua vez, são considerados como uma medida da resposta do

corpo hídrico ao agente causador, o que indica de forma adequada o nível de crescimento de algas em suas águas, sendo o índice médio a forma mais satisfatória relacionando a causa e o efeito do processo (CETESB, 2018a).

Santos *et al.* (2018) validou-se desta relação para medir o IET dos corpos hídricos da bacia costeira de Sapucaia em Sergipe, entre eles uma lagoa urbana, cujo seu grau de trofia variou de ultraoligotrófico a oligotrófico. Já para os demais recursos hídricos analisados o grau de trofia variou de ultraoligotrófico a eutrófico, modificando-se conforme a sazonalidade pluviométrica e o local de monitoramento. Segundo a CETESB (2018a) a variabilidade sazonal do ambiente também pode influenciar no grau de eutrofização de um corpo hídrico, apresentando variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e em outras de forma mais limitada.

A utilização direta dos recursos hídricos também pode causar significativos impactos ambientais. Rosanova *et al.* (2018) constataram que as atividades de piscicultura em tanques-rede realizadas no lago de Palmas no Parque aquícola Sucupira em Tocantins, é uma das responsáveis por promover a degradação do ecossistema aquático principalmente relacionado ao aumento das concentrações de fósforo e nitrogênio provenientes da ração e fezes dos peixes, caracterizando-se um estado supereutrófico, com altas concentrações de nutrientes.

Os impactos decorrentes das atividades antrópicas em ambientes lênticos é uma realidade não só no contexto nacional, mas também vivenciada no mundo inteiro. Oliver, Corburn e Ribeiro (2018) realizaram uma revisão de literatura dos principais impactos ambientais em reservatórios urbanos em diversos países, sendo o Brasil o país mais representativo no número de estudos relacionados a corpos hídricos eutrofizados. Estes constaram que a causa determinante para a eutrofização de reservatórios e proliferação de algas é a influência antrópica, por meio do lançamento de efluentes de origem difusa, esgoto doméstico e industrial, e escoamentos de áreas agrícolas nas bacias hidrográficas.

4 METODOLOGIA

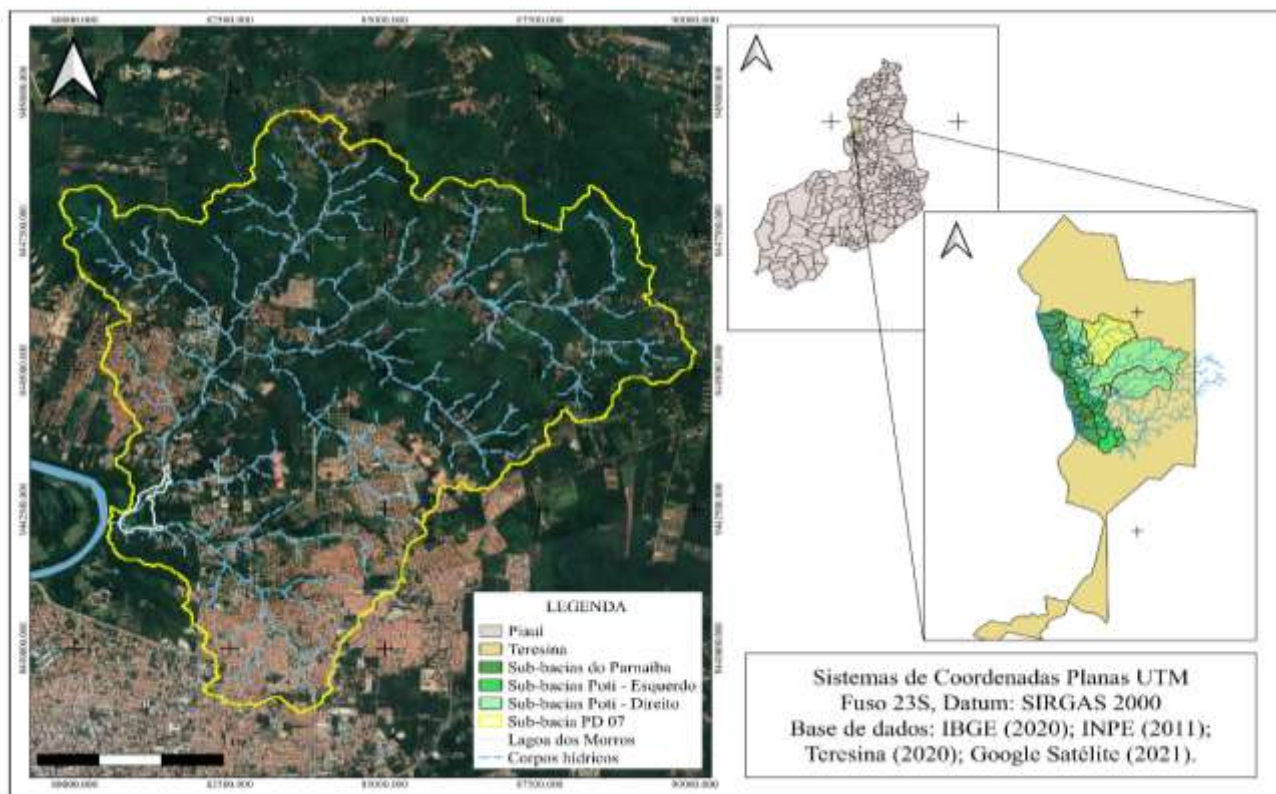
4.1 Área de estudo

Teresina, capital do Piauí, está situada na região centro-norte do Estado e é a única capital nordestina que não se encontra na região litorânea. Segundo o censo demográfico de 2010, a população de Teresina era de 814.230 habitantes, estando 94,30% na região urbana e 5,70% na região rural do município, com uma população estimada para o ano de 2021 de 871.126 habitantes (IBGE, 2010a).

Teresina está entre dois importantes rios federais, o rio Poti e Parnaíba, os quais são fontes de transporte, abastecimento humano e extração de recursos naturais. Na porção sul do município há a predominância dos rios e riachos afluentes do Parnaíba, pertencentes às bacias difusas do médio Parnaíba, e na porção centro do município os riachos e lagoas de maior extensão são afluentes do rio Poti (LIMA, 2011).

O objeto de pesquisa está inserida na sub-bacia do rio Poti destacada na figura 1 que demonstra o mapa de localização das sub-bacias urbanas de Teresina, pertencentes ao rio Poti e Parnaíba, e a localização da lagoa dos Morros.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



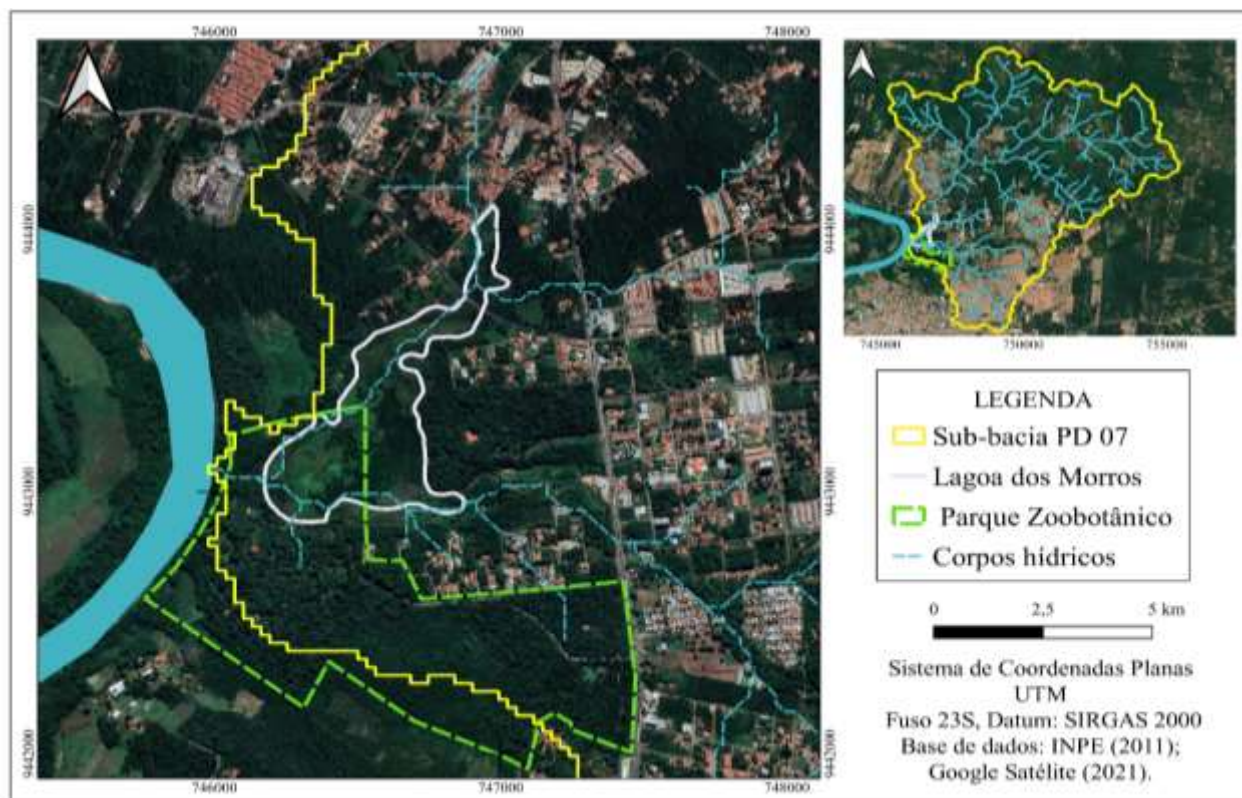
Fonte: Autor, 2021.

No mapa observa-se que a zona urbana de Teresina é composta por 70 sub-bacias, sendo 22 inseridas na porção sul, lado esquerdo do município, com a predominância de rios e riachos pertencentes às bacias difusas do médio Parnaíba, e 48 na porção centro do município, sendo 16 no lado direito e 32 no lado esquerdo do rio Poti, cujos riachos e lagoas de maior extensão são seus afluentes.

A Lagoa dos Morros está localizada na sub-bacia PD 07, margem direita do leito do rio Poti, pertencente a região leste da cidade de Teresina, compreendendo tanto a zona urbana como rural da cidade. A sub-bacia está em uma região topográfica bastante íngreme, com cotas que variam de 181 m, na cabeceira, e 54 m na sua foz, possuindo uma boa densidade de córregos e um relevo acidentado, abrangendo uma área de 59,08 km² com coeficiente de compacidade de 1,35, o que indica que a sub-bacia em questão tem tendência a inundações (TERESINA, 2020).

A figura 2 destaca a área do Parque Zoobotânico e a delimitação da lagoa dos Morros, no qual se observa sua grande dimensão territorial com uma área estimada de 32,3 ha, cerca de 25% da extensão territorial do parque que possui 127,5 ha, sendo a maior lagoa de Teresina.

Figura 2 - Localização e delimitação do Parque Zoobotânico e da Lagoa dos Morros.



Fonte: Autor, 2021.

A Lagoa dos Morros encontra-se no exutório da sub-bacia PD 07, onde suas águas deságuam no rio Poti, possuindo como afluentes dois riachos de pequeno porte. A lagoa está inserida em uma área de expansão urbana, localizadas ao seu norte e sudeste, sua extensão territorial abrange os bairros Zoobotânico e Cidade Jardim.

4.2 Materiais e Métodos

A caracterização da sub-bacia foi realizada através da elaboração de mapas, utilizando-se a análise de imagens de satélite disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para verificar as principais formas de ocupação na bacia, por meio dos softwares QGIS e SPRING através da classificação supervisionada de imagens, dividindo-as nas classes: área construída, solo exposto, vegetação e recursos hídricos.

A classificação supervisionada de imagens da sub-bacia foi por meio das imagens do satélite CBERS 4A, sendo realizado primeiramente a composição colorida com as bandas 2 (azul), 3 (verde) e 4 (vermelho) no software QGIS (2.22.0), e posteriormente a fusão das mesmas com a banda pancromática de resolução de 2m. Após a fusão, as imagens foram exportadas para o software SPRING (5.5.6), o qual foi realizado a classificação supervisionada de imagens com as classes mencionadas.

As visitas *in loco* foram realizadas para confirmar os dados obtidos através das imagens de satélite, bem como identificar a infraestrutura local e os possíveis focos de contaminação dos corpos hídricos.

Os aspectos sociodemográficos, população e densidade demográfica foram calculados a partir dos setores censitários contidos em cada bairro que compõem a sub-bacia, obtidos por meio do censo do IBGE em 2010 no Portal Sinopse por Setores (IBGE, 2010a). As áreas correspondentes aos setores censitários e sua extensão dentro da sub-bacia foram obtidas com o auxílio do software QGIS.

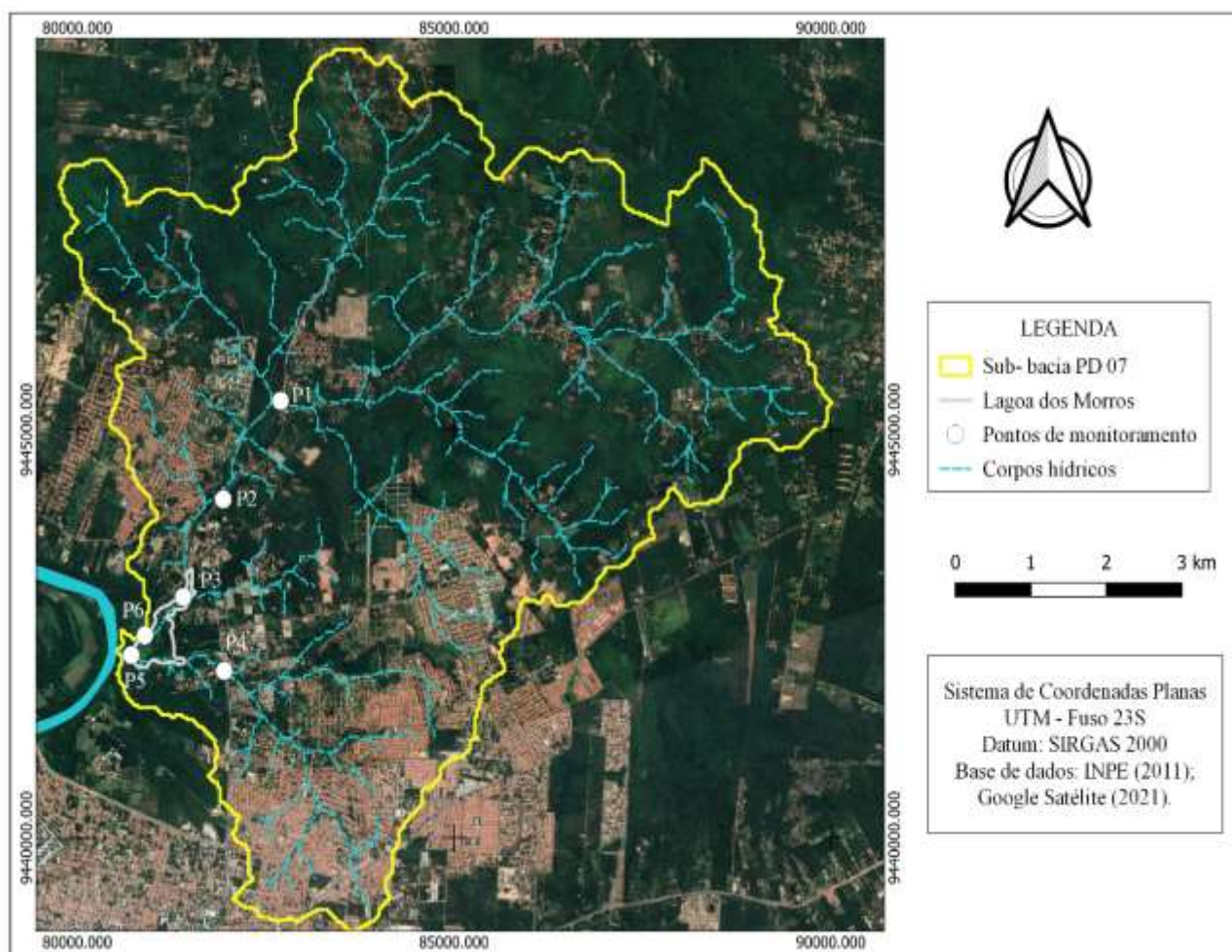
O monitoramento da qualidade da água dentro da sub-bacia foi realizado através de seis pontos (tabela 6), sendo três localizados a montante da Lagoa dos Morros a fim de observar os seus afluentes, um localizado dentro da lagoa e dois a jusante. A figura 3 apresenta a localização dos pontos dentro da sub-bacia.

Tabela 6 - Pontos de monitoramento na sub-bacia.

| Pontos | Latitude | Longitude |
|--------|---------------|---------------|
| 1 | 5° 0'28.71"S | 42°45'41.60"O |
| 2 | 5° 1'6.45"S | 42°46'7.69"O |
| 3 | 5° 1'43.51"S | 42°46'23.89"O |
| 4 | 5° 2'9.25"S | 42°46'7.88"O |
| 5 | 5° 2'6.34"S | 42°46'47.14"O |
| 6 | 5° 01'58.02"S | 42°46'40.32"O |

Fonte: Autor, 2021.

Figura 3 - Localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água.



Fonte: Autor, 2021.

Os pontos de monitoramento foram escolhidos utilizando-se como base a proximidade das áreas urbanas, sua acessibilidade e a contribuição de outros corpos hídricos existentes a montante, com o intuito de verificar sua qualidade por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, compreendendo os períodos de chuva e estiagem no município no decorrer de um ano, de novembro de 2020 a outubro de 2021.

O ponto 1(P1) está localizado em uma área de menor urbanização, cuja maioria dos seus afluentes são provenientes da zona rural da sub-bacia. O ponto 2 (P2) recebe influência tanto do P1, como de outros afluentes provenientes das áreas urbanizadas ao norte da Lagoa dos Morros.

O ponto 3 (P3) recebe a influência dos pontos P1 e P2, estando localizado dentro da Lagoa dos Morros, em uma área de grande ocupação urbana, cujo acesso só foi possível devido a construção de uma ponte sobre a lagoa. O ponto 4 (P4) é o mais próximo da lagoa e seus afluentes são provenientes de áreas totalmente urbanizadas, localizadas ao sul e sudeste da sub-bacia. E os pontos 5 (P5) e 6 (P6) são referentes aos sangradouros da Lagoa dos Morros, localizados no exutório da sub-bacia, os quais desaguam para o rio Poti.

As análises foram realizadas no laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí (UFPI) em Teresina, usando a metodologia (tabela 7) estabelecida por APHA (2005) e de Jones (1979) para extração da clorofila-a através do metanol.

Tabela 7 - Metodologias para a determinação das variáveis de qualidade da água.

| VARIÁVEIS | METODOLOGIA |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Clorofila-a | Método espectrofotométrico |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | Método de Winkler |
| <i>Escherichia coli</i> (E.Coli) | Substrato definido |
| Fósforo total | Análise espectrofotométrica |
| Nitrogênio total | Análise espectrofotométrica |
| Oxigênio Dissolvido | Oxímetro |
| Potencial Hidrogeniônico | Potenciométrico |
| Sólidos Totais | Método Gravimétrico |
| Temperatura | Termométrico |
| Turbidez | Método Nefelométrico |
| Condutividade Elétrica | Condutimétrico |

Fonte: Autor, 2020.

A interpretação da qualidade da água foi avaliada frente a sazonalidade por meio da definição dos períodos de chuva e estiagem no município, utilizando-se como base os dados disponibilizados na estação meteorológica da Embrapa Meio Norte (nº 82578)

do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi calculada a média histórica mensal dos anos de 2000 a 2020, o qual considerou-se como período de estiagem os meses com média inferior à média histórica mensal, e como período chuvoso os meses com as médias superiores.

Comparou-se os resultados das análises do monitoramento com os padrões estabelecidos na classe II da resolução CONAMA nº 357/2005, conforme art. nº 42, pois os corpos hídricos não passaram por nenhum processo de enquadramento. A tabela 8 demonstra os padrões de qualidade de água estabelecidos para a classe II utilizado nessa pesquisa.

Tabela 8 - Padrões de qualidade adotados para análise de água classe II.

| VARIÁVEIS | PADRÕES DE QUALIDADE |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | ≤ 1000 NMP/100 mL |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | ≤ 5 mg/L O ₂ |
| Fósforo total | ≤ 0,030 mg/L (ambientes lênticos) ≤ 0,1 mg/L (ambientes lóticos) |
| Nitrato | ≤ 10 mg/L |
| Oxigênio Dissolvido | ≥ 5 mg/L O ₂ |
| Potencial Hidrogeniônico | 6,0 a 9,0 |
| Sólidos totais | ≤ 500 mg/L |
| Temperatura | - |
| Turbidez | ≤ 100 UNT |
| Condutividade Elétrica | - |
| Clorofila-a | ≤ 30 µg/L |

Fonte: BRASIL (2005), elaborado pelo autor, 2020.

Foram aplicados os índice de qualidade da água IQA_{CETESB}, por meio do cálculo do IQA produtivo, e o Índice de Estado Trófico (IET) modificado por Lamparelli (2004), por meio da média aritmética simples do IET do fósforo e da Clorofila-a.

Através dos resultados das análises da água foi possível correlacionar quais as principais formas de uso e ocupação na bacia ou atividades desenvolvidas, que estão influenciando direta ou indiretamente na degradação da lagoa dos Morros.

Para a identificação dos impactos nas formas de uso da Lagoa dos Morros, realizou-se uma pesquisa documental nos planos diretor e de manejo do Parque Zoobotânico, disponibilizados pela SEMAR, e a análise espacial da Lagoa referentes aos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021, disponibilizadas pela base de dados Google

Earth, com o intuito de identificar as mudanças ocorridas com o passar dos anos e os principais impactos que impossibilitam seu uso para recreação.

Com a identificação dos impactos e de suas causas foi possível propor medidas que resolvam ou mitiguem os impactos sofridos por ela, bem como ações voltadas a sua revitalização e o possível retorno das atividades recreativas no parque ambiental.

Tabela 9 - Caracterização dos setores censitários pertencentes à sub-bacia.

| Bairros | Setores Censitários | ÁREA (km ²) | | | POPULAÇÃO | |
|------------------------|---------------------|-------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|--------------|
| | | Total | Sub-bacia | Densidade (hab/km ²) | Total | Sub-bacia |
| Pedra Mole | 12 | 3,90 | 1,62 | 2281,31 | 8888 | 5961 |
| Tabajaras | 2 | 2,62 | 2,05 | 300,69 | 789 | 767 |
| Cidade Jardim | 8 | 4,04 | 1,63 | 1301,29 | 5252 | 4249 |
| Socopo | 5 | 3,67 | 3,67 | 522,76 | 1918 | 1918 |
| Vale do Gavião | 2 | 3,36 | 3,26 | 449,18 | 1507 | 1486 |
| Morros | 3 | 3,33 | 3,33 | 350,36 | 1166 | 1166 |
| Zoobotânico | 3 | 6,58 | 1,83 | 192,03 | 1263 | 455 |
| Porto do Centro | 13 | 2,19 | 2,06 | 4571,69 | 10012 | 8869 |
| Verde Lar | 5 | 1,04 | 0,66 | 3618,86 | 3760 | 3511 |
| Vale Quem Tem | 10 | 1,85 | 1,03 | 4518,64 | 8364 | 5718 |
| Satélite | 15 | 1,67 | 1,60 | 7048,05 | 11735 | 1281 |
| Samapi | 11 | 1,36 | 1,30 | 7802,79 | 10643 | 1713 |
| Santa Lia | 4 | 0,62 | 0,51 | 5338,19 | 3299 | 2923 |
| Piçarreira | 10 | 1,20 | 0,78 | 6725,46 | 8084 | 5763 |
| Campestre | 1 | 0,09 | 0,02 | 14150,73 | 1273 | 254,6 |
| ZONA URBANA | 104 | 37,50 | 25,35 | 2078,52 | 77953 | 46035 |
| ZONA RURAL | 5 | 70,74 | 33,77 | 46,80 | 3311 | 2020 |
| TOTAL | 109 | 108,25 | 59,12 | 750,73 | 81264 | 48055 |

Fonte: IBGE (2010b). Elaborado pelo autor (2021).

Conforme podemos observar, os maiores bairros em extensão territorial da sub-bacia são Pedra Mole, Cidade Jardim, Socopo, Vale do Gavião, Morros e Zoobotânico, com áreas superiores a 3 km², no entanto, apesar de sua imensa área todos, exceto o Socopo e Morros, não estão inseridos totalmente na sub-bacia, ocupando porcentagens inferiores a 7%.

Cabe destacar que a ferramenta utilizada para calcular a área de cada setor foi o software QGIS, onde obteve-se uma área total de 59,12 km², entretanto, a delimitação da sub-bacia por meio do INPE (2011) teve uma área menor, de 59,08 km². Os bairros Morros, Porto do Centro, Satélite, Socopo e Tabajaras são os únicos que estão com sua área territorial 100% dentro da bacia.

Segundo os setores censitários que compõem a sub-bacia, o número de residentes dos 15 bairros é de 81.264 habitantes, sendo a população residente na zona

leste de 167.469 hab, o que correspondendo a quase 10% da população de Teresina (IBGE, 2010b).

A população total da sub-bacia é de 48.055 hab, sendo 46.035 na área urbana e 2.020 na área rural. A estimativa da população rural foi baseada em cinco setores censitários abrangidos pela sub-bacia, no qual identificamos uma população total de 3.311 hab.

Os bairros Pedra Mole, Porto do Centro, Piçarreira e Vale Quem Tem, são os mais populosos, possuindo acima de 5.000 hab, e os bairros Morros, Tabajaras, Vale do Gavião, Satélite, Campestre e Zoobotânico são os menores em números populacionais, inferiores a 1.500 hab.

Baseado no censo demográfico do IBGE (2010b), a SEMPLAN (2018) estimou o crescimento populacional de alguns bairros como Pedra Mole e Vale Quem Tem, que tiveram um crescimento de 56% e 33%, respectivamente. Entretanto, o bairro que apresentou o maior aumento populacional foi o Vale do Gavião com 6.750%, o que antes era o sexto menor bairro em número de habitantes. Esse crescimento, segundo Oliveira e Aquino (2015), foi motivado pela especulação imobiliária na região devido à expansão urbana na zona leste, que possibilitou a construção de conjuntos habitacionais e loteamentos, passando a área ocupada do bairro de 0,73% em 1985, para 19,18% em 2010.

O bairro Zoobotânico, onde se localiza o PZB e a maior parte da Lagoa dos Morros, possuía uma população total de 1263 hab em 2010, e estima-se que houve um acréscimo de 66% devido ao aumento da ocupação urbana no bairro, passando a existir aproximadamente 2.097 hab na região (SEMPPLAN, 2018).

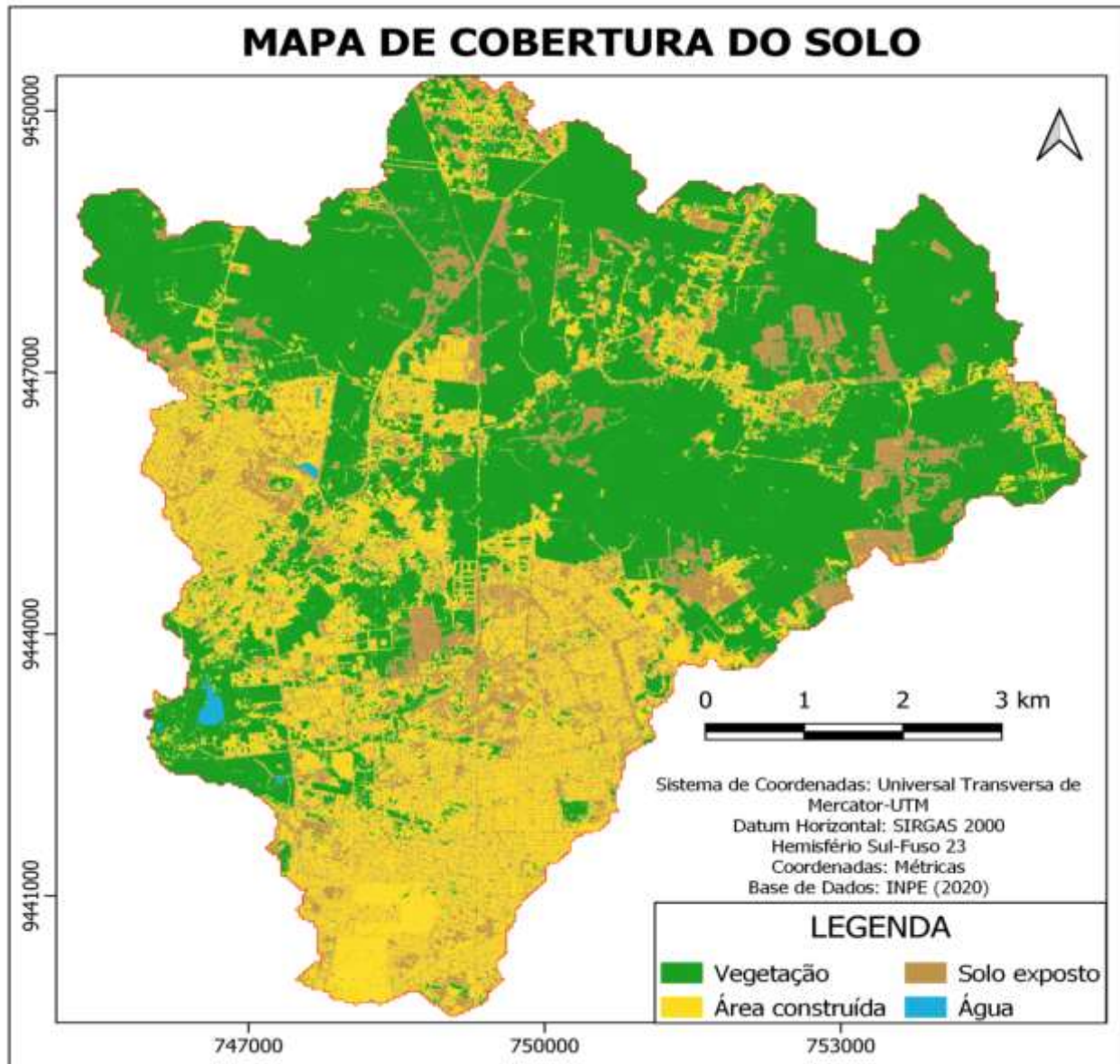
Esse aumento populacional impacta diretamente as formas de uso e ocupação da sub-bacia, visto que, as áreas construídas tendem a aumentar com a ocupação humana. A figura 5 demonstra o mapa de uso e ocupação do solo na sub-bacia, destacando os aspectos: área construída, solo exposto, vegetação e recursos hídricos.

A área construída na sub-bacia ocupa 27,6% (16,31 km²) da área total, representando todas as áreas edificadas, como casas, condomínios, ruas e avenidas. Os bairros que possuem uma maior área construída estão localizados próximos a Lagoa dos Morros, sendo eles: Cidade Jardim e Pedra Mole ao norte e Satélite, Porto do Centro, Samapi, Piçarreira, Santa Lia e Vale Quem Tem ao Sudeste.

Nota-se que a área urbana da sub-bacia é maior que a abrangência dos setores censitários, demonstrando a crescente expansão urbana desde o último censo do IBGE.

A zona rural da sub-bacia também está em visível processo de expansão, apresentando uma ampla área construída e vários conglomerados urbanos.

Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

A classe solo exposto representa 17,1% (10,09 km²), e corresponde às áreas desmatadas na sub-bacia que podem ser aproveitadas para construção ou agricultura, visto que, grande parte do solo exposto está na zona rural. A área de maior abrangência corresponde à vegetação, ocupando uma área de 32,56 km², o que representa 55,1% em relação à área total de 59,08 km² da sub-bacia, demonstrando que mais da metade de sua área ainda não sofreu alterações.

A vegetação predominante no Parque Zoobotânico é típica das áreas de transição entre os biomas amazônia, caatinga e cerrado (AGUIAR, *et al.*, 2020), com a presença de espécies como o babaçu, macaúba, tucum, Jatobá, angico branco, mororó, pitombeira, ipê amarelo, dentre outras (SUPARC, 2021).

Nota-se que na figura 5 apenas uma pequena parcela da Lagoa dos Morros é observável, estando grande parte de sua delimitação coberta por macrófitas aquáticas, o que torna essa porcentagem atribuída a classe vegetacional, pois a lâmina d'água não é identificada por imagem de satélite.

Os recursos hídricos na sub-bacia correspondem apenas 0,2% (0,12 km²), no entanto, esperava-se um percentual maior, visto que, a sub-bacia apresenta várias ramificações em sua drenagem natural. Esse baixo percentual pode estar relacionado a identificação dessa classe por imagem de satélite, considerando que há corpos hídricos retificados e com pequenas dimensões em sua largura, além da densa vegetação na área rural da sub-bacia, que dificulta a visualização e identificação dos corpos hídricos existentes pela metodologia utilizada.

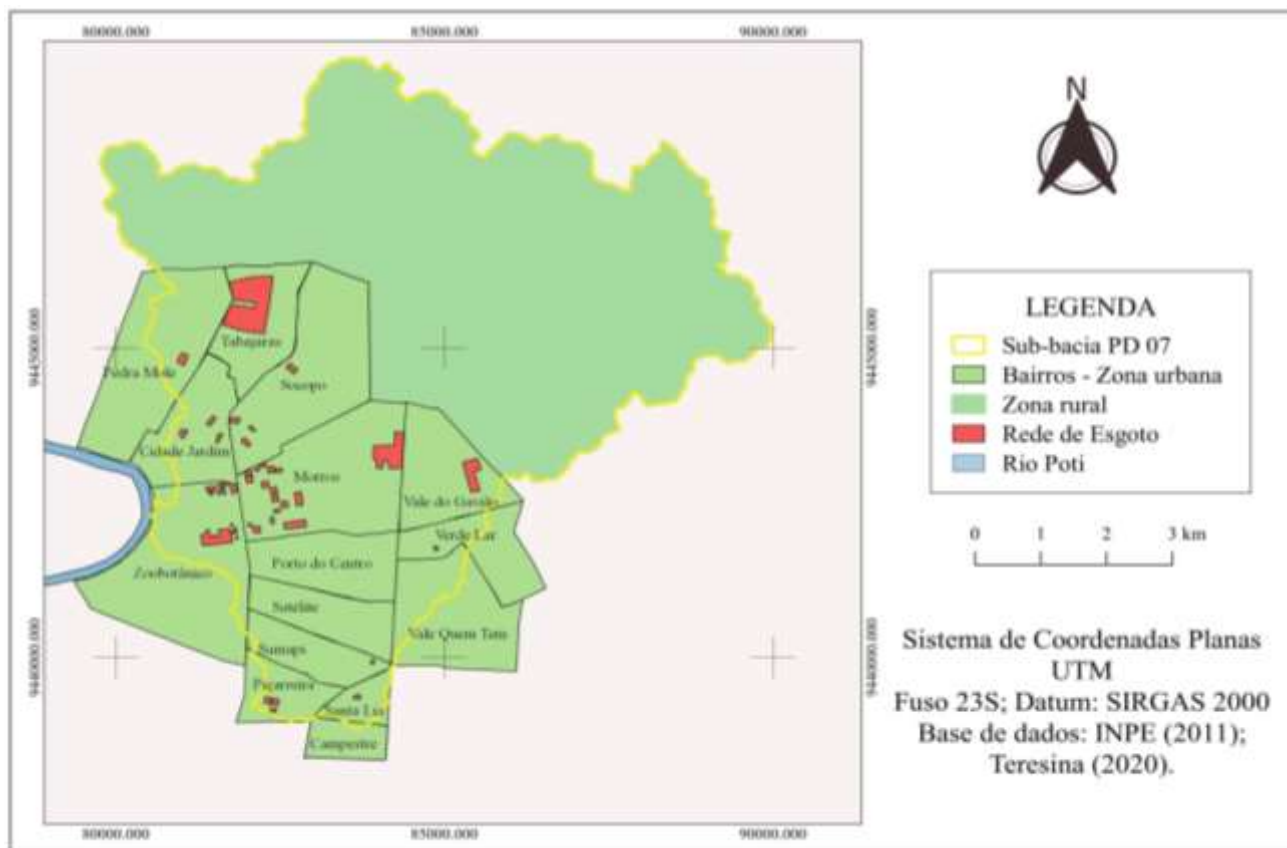
Com o crescimento do uso e ocupação do solo, não houve somente alterações na drenagem natural dos recursos hídricos, mas também nas características locais proporcionadas pelo processo de urbanização da região. Apesar do desenvolvimento econômico e territorial, não houve o avanço referente à infraestrutura sanitária na sub-bacia, não sendo suficiente para suprir os aspectos relacionados ao saneamento básico, especialmente na área urbana, que é responsável por mais de 27% da área correspondente a sub-bacia.

Segundo dados obtidos pelo Instituto Trata Brasil (2021), a zona urbana de Teresina possui 100% de cobertura no abastecimento de água, cuja empresa responsável é a Águas de Teresina, no entanto, o município possui 95,59% ao todo, pois a zona rural ainda sofre com a falta de água. Apesar da cobertura de água ser quase 100%, o déficit no esgotamento sanitário é muito grande, Teresina ocupa o 3º lugar no ranking dos 20 piores municípios em cobertura de saneamento, possuindo 36,06% de cobertura de esgoto na zona urbana e 33,99% em todo município (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021).

A figura 6 demonstra a rede de esgotamento sanitário existente atualmente na sub-bacia. Observa-se que a deficiência de esgotamento sanitário ainda é grande, sendo composta apenas pela rede sanitária de condomínios e conjuntos habitacionais

existentes atualmente. Os bairros que apresentam uma maior porcentagem de cobertura são: Morros, Zoobotânico e Tabajaras.

Figura 6 - Mapa de cobertura da rede de esgotamento sanitário da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

5.2 Qualidade das águas da sub-bacia

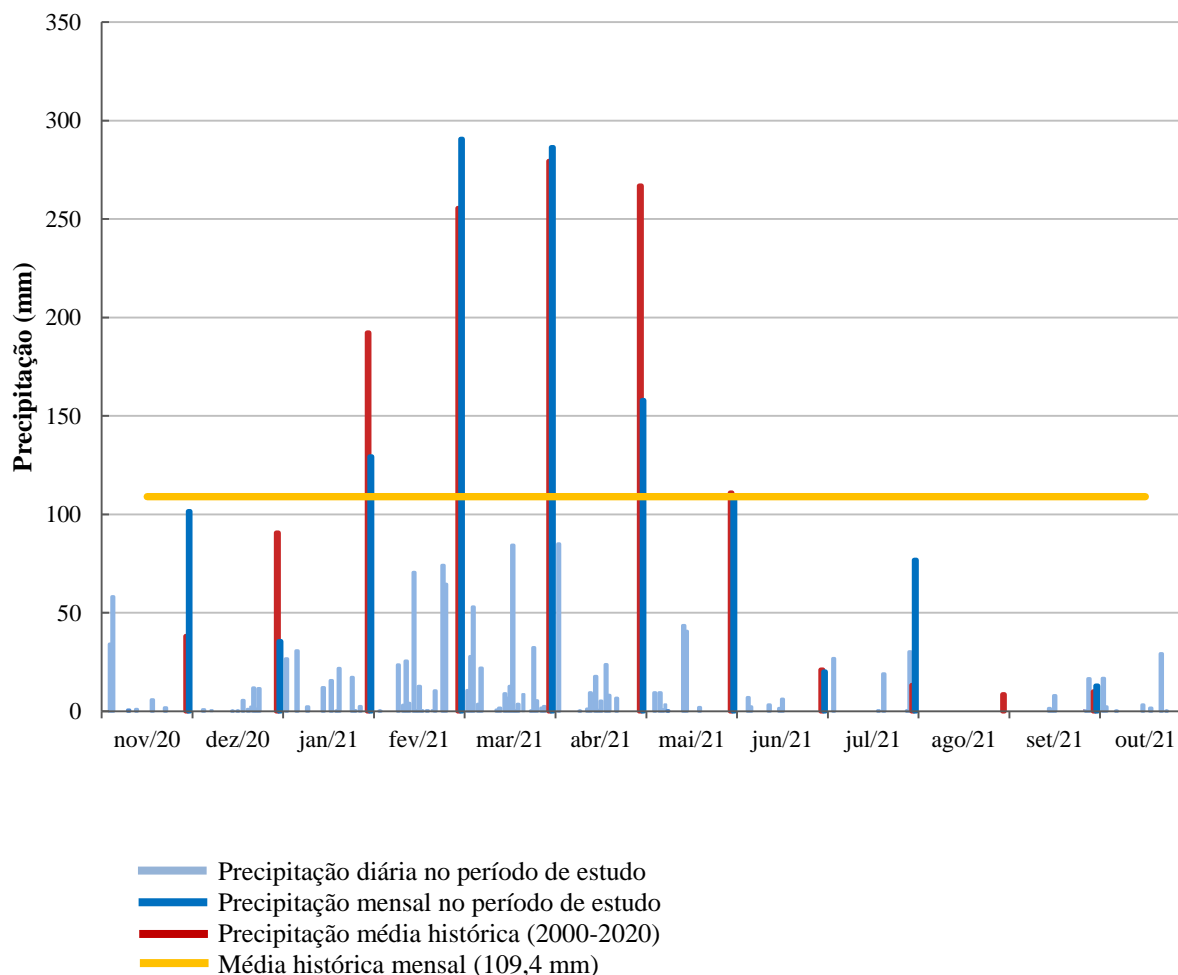
O monitoramento da qualidade da água da sub-bacia compreendeu os períodos de estiagem e chuvoso do município. O gráfico 1 demonstra os dados referentes a precipitação média no município de Teresina, compreendendo o período histórico de 20 anos (2000-2020) e as precipitações mensais e diárias no período de estudo.

Observa-se que o período caracterizado como chuvoso corresponde aos meses de janeiro a maio, os quais obtiveram médias de precipitação superiores à média histórica mensal de 109,4 mm. E os meses de junho a dezembro correspondem ao período de estiagem, pois obtiveram médias de precipitação menores que a média histórica mensal.

O período chuvoso obteve uma precipitação média histórica de 220,95 mm, maior que a apresentada no período de estudo de 194,76 mm. Nos meses de janeiro e

abril as precipitações mensais do período de estudo foram inferiores que as médias históricas dos referidos meses. Já em fevereiro e março, as precipitações mensais do período de estudo foram superiores.

Gráfico 1 - Médias mensais de precipitação em Teresina-PI referentes ao período histórico (2000-2020) e valores diários e mensais de precipitação referentes ao período de estudo.



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

O período de estiagem obteve uma média histórica de 29,11 mm, inferior ao apresentado no período de estudo de 38,19 mm. Essa diferença pode ser atribuída aos meses de novembro, julho e setembro, os quais apresentaram precipitações mensais superiores à média histórica dos referidos meses, tendo o mês de novembro uma precipitação de 101,6 mm, próximo à média histórica mensal de 109,4 mm.

Quanto aos demais meses do período de estiagem, a precipitação mensal foi inferior à média histórica relativa a cada mês. O mês de agosto possui média histórica

de precipitação de 8,58 mm, no entanto, no período de estudo não houve registro de precipitação no referido mês.

Os resultados da qualidade da água são referentes aos meses de novembro de 2020 a outubro de 2021, compreendendo sete meses do período de estiagem e cinco meses do chuvoso.

Cabe destacar que o P6 só possui dados do mês de maio, no período chuvoso, e dos meses de julho a outubro do período de estiagem, pois inicialmente prevíamos a sua coleta somente uma vez em cada período devido as dificuldades de acesso, com o intuito de compararmos com o P5. A tabela 10 demonstra os resultados relativos a cada ponto de monitoramento. Os resultados completos encontram-se no apêndice B.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade de água referentes aos pontos de monitoramento na sub-bacia, no período de novembro de 2020 a outubro de 2021

| Pontos | Valor | Temperatura °C | Turbidez UNT | Sólidos Totais mg/L | CE µS/cm | pH | E.Coli NMP/100ml | OD mg/L | DBO mg/L | Fósforo mg/L | Nitrato mg/L |
|-----------|---------------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------|------|---------------------|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| P1 | Média | 26,57 | 87,57 | 762,50 | 649,00 | 7,95 | 3.054 | 5,90 | 8,91 | 0,06 | 2,43 |
| | Desv. Pad. | 1,71 | 176,30 | 258,81 | 237,44 | 0,20 | 6.827 | 0,67 | 4,81 | 0,04 | 2,30 |
| | Máx. | 29,4 | 644,92 | 1040 | 956 | 8,23 | 24.196 | 6,85 | 19,93 | 0,15 | 7,42 |
| | Min. | 23,5 | 17,42 | 340 | 241 | 7,65 | 30 | 4,70 | 3,58 | 0,02 | 0,59 |
| P2 | Média | 26,66 | 68,50 | 716,67 | 465,17 | 7,49 | 19.934 | 5,74 | 8,46 | 0,09 | 1,68 |
| | Desv. Pad. | 1,16 | 24,48 | 268 | 94,88 | 0,16 | 35.677 | 0,87 | 5,40 | 0,13 | 0,84 |
| | Máx. | 28 | 118,50 | 1320 | 575 | 7,71 | 120.980 | 7,01 | 18,48 | 0,50 | 2,97 |
| | Min. | 24,20 | 40,92 | 300 | 300 | 7,28 | 430 | 4,40 | 1,83 | 0,02 | 0,30 |
| P3 | Média | 26,70 | 84,86 | 616,67 | 499,92 | 7,47 | 22.074 | 5,58 | 7,92 | 0,10 | 1,56 |
| | Desv. Pad. | 1,22 | 125,10 | 298,31 | 75,44 | 0,11 | 35.185 | 0,75 | 4,15 | 0,06 | 1,62 |
| | Máx. | 28,50 | 480,67 | 1500 | 577 | 7,61 | 129.970 | 6,57 | 14,75 | 0,23 | 4,77 |
| | Min. | 24,90 | 31,67 | 340 | 323 | 7,19 | 865 | 4,15 | 1,93 | 0,05 | 0,02 |
| P4 | Média | 27,47 | 16,91 | 614,17 | 358,00 | 7,57 | 82.188 | 5,66 | 14,85 | 0,11 | 49,95 |
| | Desv. Pad. | 1,35 | 6,66 | 390,12 | 24,24 | 0,13 | 40.045 | 1,45 | 9,82 | 0,07 | 11,69 |
| | Máx. | 30,40 | 31,75 | 1400 | 411 | 7,90 | 141.360 | 6,80 | 34,28 | 0,30 | 62,05 |
| | Min. | 25,50 | 8,83 | 280 | 319 | 7,36 | 24.890 | 1,55 | 5,18 | 0,05 | 28,09 |
| P5 | Média | 28,36 | 30,33 | 471,82 | 362,36 | 7,39 | 6.557 | 5,65 | 7,03 | 0,08 | 1,29 |
| | Desv. Pad. | 1,47 | 19,78 | 173,25 | 37,95 | 0,22 | 8.611,34 | 0,85 | 2,84 | 0,10 | 1,59 |
| | Máx. | 29,80 | 57 | 840 | 396 | 7,80 | 24.196 | 7,05 | 13,70 | 0,34 | 5,24 |
| | Min. | 25,80 | 5,67 | 200 | 275 | 7,14 | 420 | 4,52 | 3,95 | 0,03 | 0,15 |
| P6 | Média | 28,30 | 7,65 | 744,00 | 358,40 | 7,44 | 2.163 | 5,78 | 6,66 | 0,05 | 0,33 |
| | Desv. Pad. | 1,17 | 1,16 | 460,96 | 14,93 | 0,17 | 1.153,15 | 0,67 | 4,46 | 0,07 | 0,15 |
| | Máx. | 29,80 | 8,92 | 1500 | 382 | 7,70 | 3.448 | 6,61 | 12,94 | 0,17 | 0,47 |
| | Min. | 26,80 | 6,08 | 400 | 346 | 7,25 | 594 | 4,83 | 2,60 | 0,01 | 0,11 |

Fonte: Autor, 2021.

- **Temperatura**

A diferença nas médias relativas à temperatura de cada ponto está associada ao período, a ordem e horário de coleta, bem como a presença ou não de áreas sombreadas. As maiores médias foram referentes aos P5 (28,36°C) e P6 (28,57° C), os últimos pontos a serem coletados, que apesar de estarem localizados dentro de um parque arborizado, o horário de coleta apresenta elevadas temperaturas.

A maior temperatura identificada foi no P4 (30,4°C), pois foi coletado no período de estiagem e é um dos últimos pontos de coleta, além de se encontrar em uma região bastante antropizada, o que provavelmente contribuiu para o aumento da temperatura da água. Segundo a FUNASA (2014) às alterações na temperatura podem ser provocadas por fontes naturais, principalmente energia solar, ou antrópicas como despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas. A temperatura influencia diretamente na concentração de OD na água, como na respiração dos organismos e na decomposição da matéria orgânica (ESTEVES, 2011).

As menores médias foram nos pontos P1, P2 e P3, os quais obtiveram também as menores temperaturas registradas no período de estudo, com 23,5°C, 24,2°C e 24,9°C, respectivamente. Essas baixas temperaturas podem ser atribuídas ao horário, pois são os primeiros pontos a serem coletados, e as condições do tempo no dia da coleta, cuja temperatura mínima registrada foi de 18,2 °C, no mês de julho.

- **Turbidez**

Os maiores valores de turbidez foram identificados nos pontos P1 e P3 com 644,62 e 480,67 UNT, respectivamente. Esse aumento significativo foi devido ao período chuvoso no mês de abril, visto que, segundo o INMET (2021) a chuva acumulada em 24 horas no dia da coleta foi de 23,8 mm, a segunda maior do mês. Com isso, os pontos P1 e P3 passaram a apresentar as maiores médias registradas no período de estudo.

Apesar dos altos valores de turbidez no período chuvoso, os pontos P1 e P3 apresentam baixas concentrações no período de estiagem, visto que, por serem ambiente lênticos, eles tendem a ter uma menor turbidez, no entanto, com a alta precipitação houve o arraste de sedimentos depositados por seus afluentes.

A figura 7 demonstra a diferença do aspecto da água no P3 no período chuvoso e de estiagem, nos meses de abril e outubro, respectivamente, onde aparece uma coloração mais intensa na figura 8A devido ao arraste de partículas pela chuva.

Figura 7 – Aspectos característicos da turvação dos períodos chuvoso e de estiagem no P3.
A: Aspecto característico da água no período de estiagem. B: Aspecto característico da água no período chuvoso.



Fonte: Autor, 2021.

Cabe destacar que no ponto P2 houve uma elevada concentração de turbidez no mês de outubro, de 118,5 UNT, o maior valor registrado no ponto de coleta. Essa alteração pode ser devido a retirada da vegetação nas margens do corpo hídrico, que devido as precipitações ocorridas no mês, houve o arraste de partículas pelo escoamento superficial, contribuindo também para o aumento da concentração de sólidos totais.

Segundo Buzelli e Cunha-Santino (2013) às ações antrópicas como desmatamento, despejo de efluentes sanitários, industriais ou agropecuários, e atividades de mineração, contribuem com o aumento da turbidez por meio do escoamento superficial, resultando em grandes alterações no ecossistema aquático.

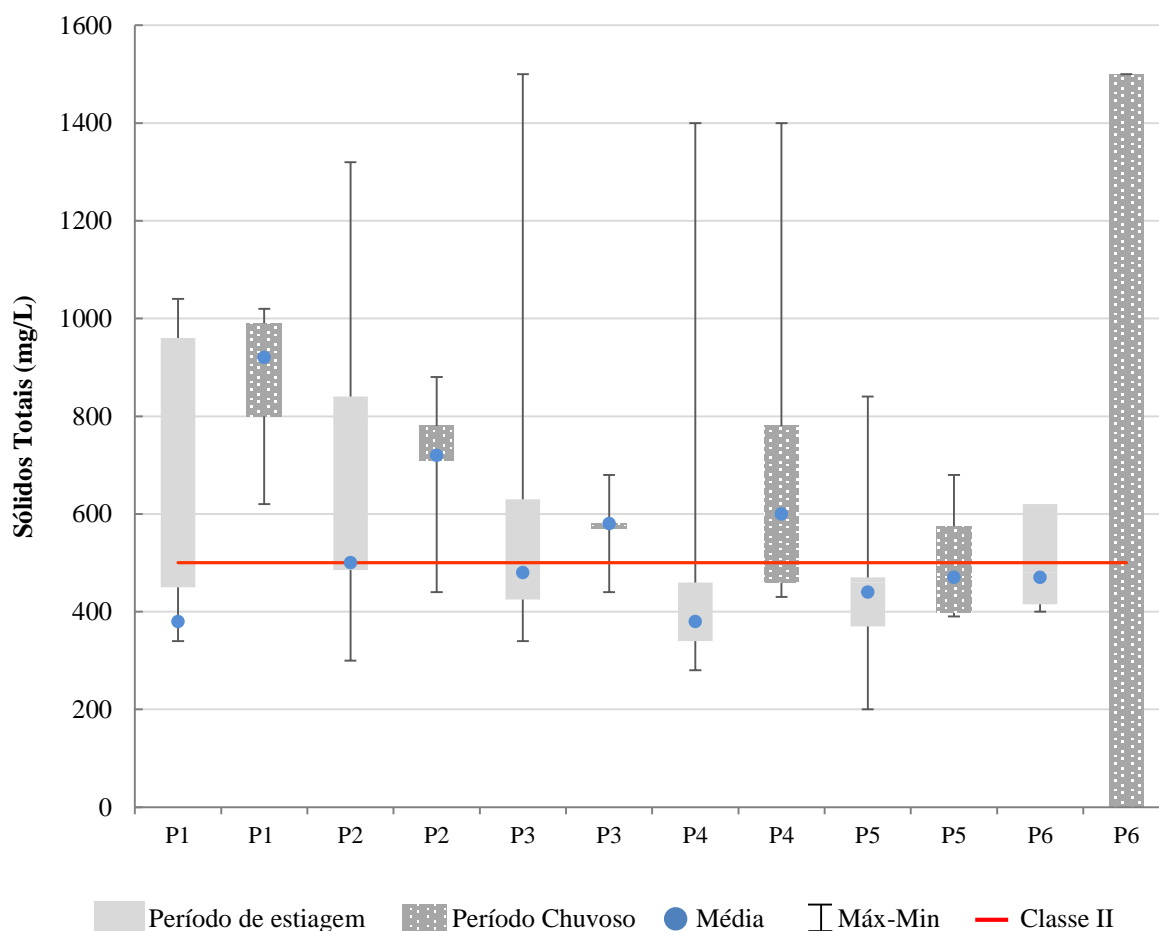
Os menores valores de turbidez são referentes aos P4 (8,83 UNT), P5 (5,67 UNT) e P6 (6,08 UNT), que possuem médias de 16,91, 30,33 e 7,65 UNT respectivamente. O P5 é o ponto de monitoramento que apresentou o menor valor de turbidez, no entanto, o ponto que apresentou a menor média registrada foi o P6, isso deve-se ao fato de que não houve coleta nos meses de maiores precipitações no período de estudo, e sua média compreendeu somente cinco meses de monitoramento. Os únicos pontos que não correspondem ao padrão exigido na classe II para turbidez (<100 UNT)

são os P1 e P3, referente à coleta realizada no mês de abril, apresentando uma variação significativa entre os valores máximos e mínimos.

- **Sólidos Totais**

Os pontos que apresentaram as maiores médias de sólidos totais foram P1 (762,50 mg/L) e P6 (744 mg/L), e as menores em P4 (614,17 mg/L) e P5 (471,82 mg/L), os quais também obtiveram as menores concentrações de sólidos no período de estudo, de 280 mg/L e 200 mg/L, respectivamente, no mês de dezembro. Já as maiores concentrações foram nos pontos P3 e P6, ambos com 1500 mg/L, e no P4 com 1400 mg/L. O gráfico 2 apresenta a variação nos valores de sólidos totais de cada ponto de monitoramento em relação ao período de coleta.

Gráfico 2 - Variação sazonal dos valores de sólidos totais nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021

Observa-se que há um aumento na concentração de sólidos em todos os pontos no período chuvoso, ultrapassando o valor máximo exigido pela resolução CONAMA nº357/2005 para águas de classe II de 500 mg/L.

O excesso de sólidos podem alterar as condições de luminosidade da água e interferir no metabolismo dos organismos autotróficos submersos, dificultando a realização da fotossíntese e conseqüentemente diminuindo a oferta de OD na água (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013), bem como provocar o processo de assoreamento do leito do corpo hídrico.

No período de estiagem as concentrações de sólidos totais foram menores que as apresentadas no chuvoso, visto que, não há o arraste de sedimentos por meio do escoamento para o corpo hídrico. Os pontos P4 e P5 foram os que apresentaram as menores concentrações de sólidos no período de estiagem, estando em acordo com a legislação vigente em quase todos os meses do período, exceto no mês de junho, onde ambas as concentrações foram superiores a 500 mg/L.

Os pontos P1 e P2 são os que mais apresentam altas concentrações de sólidos totais, os quais tendem a aumentar com o período chuvoso. No entanto, no P2 a maior concentração foi registrada no período de estiagem, no mês de outubro, o qual apresentou 1.320 mg/L de sólidos totais. Esse aumento repentino pode ser devido a retirada de vegetação as margens do ponto de coleta, como demonstrado na figura 8, e as chuvas ocorridas no referido mês, com precipitação mensal de 20,4 mm.

Figura 8 - Retirada de vegetação no P2 no mês de outubro.
A: Solo exposto no ponto de coleta. B: Retirada da vegetação as margens do P2.



Fonte: Autor, 2021.

- **Condutividade**

A condutividade elétrica apresentou as maiores médias nos pontos P1 (649 $\mu\text{S/cm}$) e P3 (499,92 $\mu\text{S/cm}$), e menores nos pontos P4 (358 $\mu\text{S/cm}$) e P6 (358,40 $\mu\text{S/cm}$). Os valores de condutividade apresentaram-se mais elevados no período de estiagem, sendo o P1 (956 $\mu\text{S/cm}$), P2 (575 $\mu\text{S/cm}$) e P3 (577 $\mu\text{S/cm}$) os que apresentaram os maiores valores, havendo uma redução com o período chuvoso.

Essa diferença pode ser atribuída à quantidade de água presente no corpo hídrico, ou seja, quanto menor a quantidade de água maior será a concentração de sais. Os pontos P2 e P5 foram os que apresentaram menores valores de condutividade elétrica, sendo 300 $\mu\text{S/cm}$ e 275 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente.

Cabe destacar que todos os pontos apresentaram condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{S/cm}$ em todo o período de monitoramento, valor superior ao recomendado pela CETESB (2018b), indicando ambientes impactados.

Concentrações de condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{S/cm}$ também foram identificadas por Pires *et al.* (2015) nos reservatórios Billings e Guarapiranga em São Paulo, por Soares, Silva e Cruz (2019) nas lagoas da Cabrinha e do Lourival, em Teresina, e por Santi *et al.* (2012) no Igarapé São Francisco, na bacia Amazônica no estado do Acre, todos inseridos em regiões com intensa urbanização.

- **pH**

Com relação ao PH, o ideal é que esteja entre 6,0 e 9,0 para águas doces, assegurando-se assim o metabolismo e a proteção das espécies aquáticas (BRASIL, 2005). No período de estudo, os valores de pH não tiveram alterações em relação ao período de estiagem e chuvoso, variando entre 8 e 7 em todos os pontos de monitoramento, estando assim em conformidade com a legislação vigente. A maior média foi referente ao P1 e a menor ao P5, com 7,95 e 7,39 respectivamente.

- **E. Coli**

Todos os pontos de monitoramento tiveram médias de E.coli superiores ao estabelecido pela legislação vigente (1000 NMP/100 ml). Os pontos P3 e P4 foram os que apresentaram as maiores médias com 22.074 NMP/100ml e 82.188 NMP/100ml,

respectivamente. Essa alta concentração de E.coli pode ser devido à alta urbanização e à falta de esgotamento sanitário, visto que, ambos os pontos então inseridos em áreas totalmente urbanizadas e com déficit no saneamento.

O P3 está localizado dentro da lagoa dos Morro e recebe os efluentes sanitários das residências em sua proximidade, além dos seus afluentes. A figura 9A demonstra o esgoto a céu aberto sendo direcionado para a Lagoa dos Morros no bairro Cidade Jardim, bem como um de seus afluentes (figura 9B) que possivelmente está sendo contaminado por esgotos residenciais.

Figura 9 - Focos de contaminação da lagoa dos Morros.

A: Afluente da Lagoa dos Morros no bairro Cidade Jardim. B: Esgoto a céu aberto direcionado a Lagoa dos Morros.



Fonte: Autor, 2021.

No ponto de coleta também foram identificados vários focos de poluição da lagoa, dentre eles a presença de lixo, animais mortos, excesso de espumas e um odor característico de esgotamento sanitário. A figura 10 demonstra alguns focos de poluição identificados no ponto de coleta P3.

Condições parecidas foram identificadas por Macêdo *et al.* (2019) ao analisarem a qualidade da água da Lagoa do Araçá, em uma unidade de conservação na cidade de Recife-PE, onde constataram elevadas concentrações de E.Coli, devido principalmente ao lançamento de efluentes advindos da antropização as suas margens.

O P4 é um dos afluentes da Lagoa dos Morros e está localizado em uma região bastante urbanizada, estando provavelmente recebendo o efluente sanitário de toda a região que drena, visto que, não existe rede de esgotamento sanitário.

Figura 10 - Focos de poluição da Lagoa dos Morros no ponto de coleta P3.
 A: Resíduos as margens da lagoa. B: Resíduos dentro da lagoa. C: Presença de espumas no ponto de coleta.



Fonte: Autor, 2021.

A figura 11 demonstra as condições existentes nas proximidades do P4, com a presença de muitos resíduos e ligações clandestinas de despejo de efluentes, identificada pela seta amarela.

Figura 11 - Presença de resíduos e ligações clandestinas de esgotamento sanitário no P4.
 A: Resíduos acumulados dentro do corpo hídrico e identificação de ligações clandestinas de despejo de efluentes. B: Acumulo de resíduos as margens do corpo hídrico.



Fonte: Autor, 2021.

Foram identificados na sub-bacia vários focos de poluição (figura 12), como o descarte irregular de resíduos nas vias públicas ou nas margens de corpos hídricos os quais obstruem as bocas de lobo, o lançamento de efluentes irregular, entre outros impactos decorrentes da falta de saneamento. O mesmo foi identificado por Costa (2018) ao analisar a vulnerabilidade ambiental da sub-bacia.

Figura 12 – Focos de poluição identificados na sub-bacia.

A: Efluentes lançados nas vias públicas no bairro Cidade Jardim. B: Efluentes acumulados nas sarjetas das vias públicas no bairro Tabajaras. C: Descarte de resíduos nas proximidades de um córrego no bairro Cidade Jardim. D: Acumulo de resíduos em boca de lobo ao lago de um córrego no bairro Satélite.



Fonte: Autor, 2021.

Os pontos P1 e P6 foram os que apresentaram as menores médias, com 3.054 NMP/100 ml e 2.163 NMP/100 ml, respectivamente. As baixas concentrações de E.coli no P1 podem ser devido ao baixo índice de urbanização na região, cujo seus afluentes são provenientes da zona rural ou de áreas com baixo índice de ocupação na sub-bacia.

O P5 possui concentrações de E.coli menores que o P6, apresentando a menor concentração no mês de agosto, com 420 NMP/100 ml, enquanto que o P6 obteve 594

NMP/100 ml. Essa diferença possivelmente está relacionado com a localização dos pontos, pois apesar de ambos serem exutórios da Lagoa dos Morros, o P6 está mais próximo do P3 e dos afluentes da lagoa, e o P5 possui uma distância maior em relação a esses focos de poluição, o que possibilita a autodepuração do corpo hídrico.

O mesmo foi observado por Silva e Silva (2020), ao analisar as concentrações de E.coli no Canal da Vila do Padre Eduardo, exutório da sub-bacia do Parque Lagoas do Norte, em Teresina. A diferença observada pelos autores de um ponto a outro foi bastante evidente, havendo uma maior concentração de E.coli a montante da lagoa e menor a sua jusante, que podem estar relacionados principalmente a capacidade de autodepuração observada ao longo do trecho, que possui uma distância de cerca de um quilômetro entre os dois pontos (SILVA, SILVA, 2020).

Entretanto, no mês de outubro o P5 apresentou a concentração de E.coli bem superior à do P6, sendo 4.106 NMP/100 ml e 1.553 NMP/100 ml, respectivamente. Essa diferença foi observada em relação ao aspecto da água, pois foram identificadas a presença de espumas no P5, como demonstrado na figura 13, assim como odor característico de efluentes sanitários.

Figura 13: Espumas identificadas no P5 no mês de outubro.

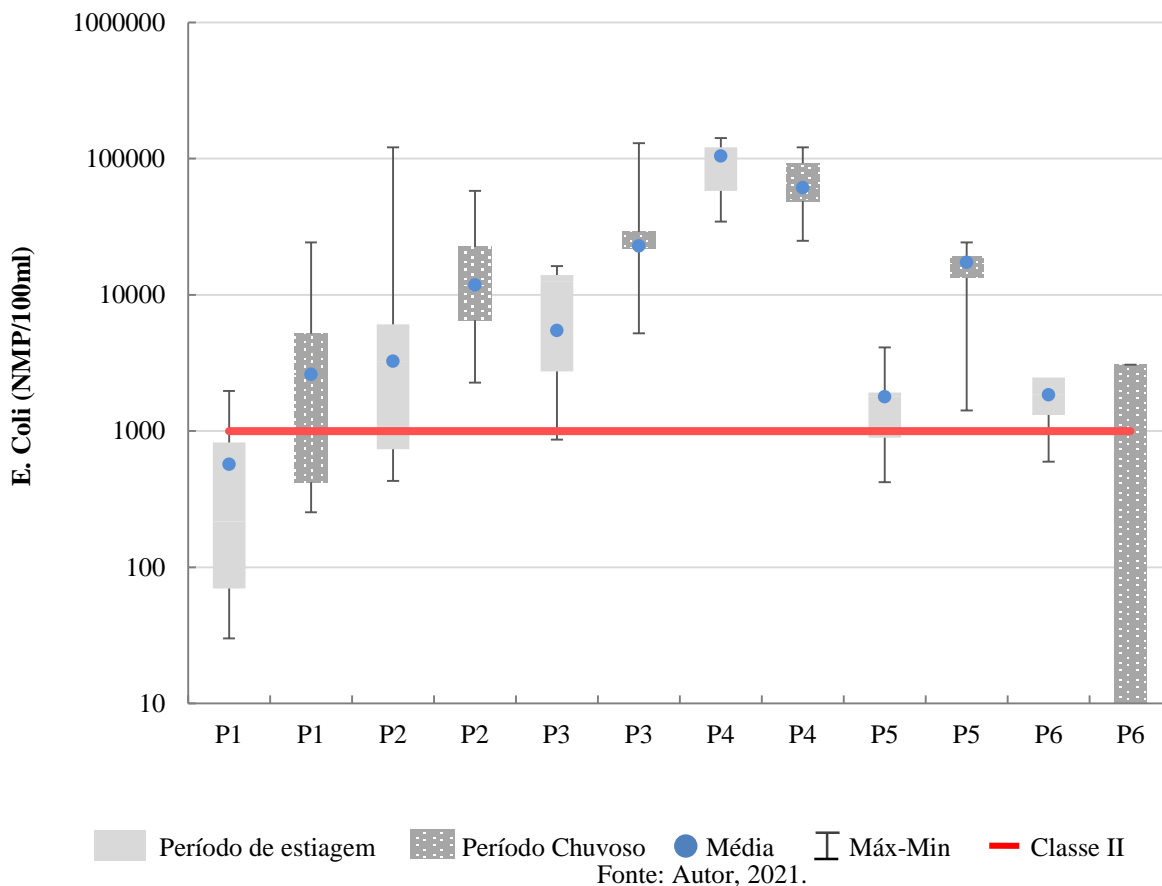


Fonte: Autor, 2021.

O gráfico 3 apresenta a variação dos valores de E.coli entre os pontos de monitoramento e os diferentes períodos. Como podemos observar no gráfico, os valores

de E.coli tendem a aumentar com o período chuvoso, devido às fontes de poluição difusas.

Gráfico 3 - Variação sazonal dos valores de E.coli nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



O mesmo foi observado por Macêdo *et al.* (2019) na Lagoa do Araçá, cujas concentrações de E.Coli variaram de 17.300 NMP/100ml a 960.600 NMP/100ml, elevando-se conforme o aumento da precipitação na região. Os pontos que apresentaram um maior acréscimo em relação ao período de estiagem foram os pontos P2, P3 e P5, que podem ser atribuídos tanto à falta de esgotamento sanitário como a poluição difusa.

O déficit na rede de esgotamento sanitário na sub-bacia ainda é muito grande, segundo a SEMPLAN (2018), a sub-bacia apresenta uma média de 6% das residências que possuem rede de coleta de esgoto, e 43,5% das residências compostas por fossas sépticas e aproximadamente 47% de fossas rudimentares.

As fossas sépticas são sistemas padronizados por norma técnica específica composta por tanque séptico e sumidouro, que quando não dimensionadas, não executadas e não mantidas de forma adequada, podem provocar impactos ambientais,

como a contaminação solo e lençol freático (FUNASA, 2013). Já as fossas rudimentares não possuem sistema de tratamento, sendo muitas vezes os efluentes sanitários expostos diretamente no solo, contaminando-o e poluindo os recursos hídricos. A alta concentração de matéria orgânica oriunda dos efluentes sanitários também interferem nos valores de OD e DBO.

O ponto de monitoramento que mais esteve em conformidade com a legislação vigente foi o P1, o qual obteve valores abaixo de 1000 NMP/100 ml em quase todo o período de estiagem, havendo desconformidade apenas nos meses de novembro (2020) e outubro (2021), que apresentaram precipitações mensais de 101,6 mm e 20,4 mm, respectivamente. No período chuvoso os níveis de E.coli aumentaram consideravelmente, havendo uma redução conforme diminui as precipitações.

- **OD**

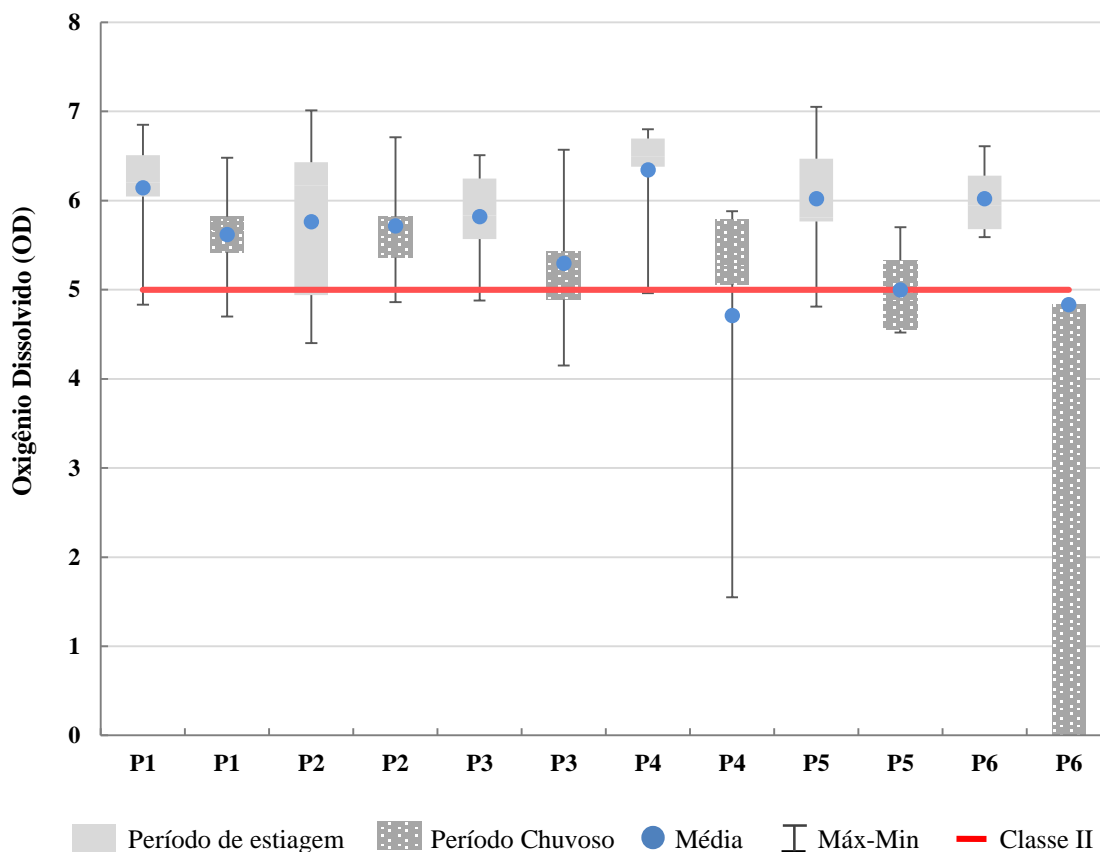
Todas as médias de OD foram acima de 5,0 mg/L, valor mínimo exigido pelo CONAMA nº357/2005 para águas de classe II, no entanto, alguns pontos de monitoramento apresentaram concentrações inferiores ao estabelecido por lei. As menores concentrações de OD foram identificadas nos pontos P3 e P4, com 4,15 mg/L e 1,55 mg/L, respectivamente.

Todos os pontos de monitoramento, exceto o P4, apresentaram concentrações de OD inferiores ao permitido nos meses de fevereiro e junho, os quais obtiveram valores menores que 5,0 mg/L. Nos referidos meses, a demanda por oxigênio foi superior ao permitido por lei, visto que a DBO é um dos indicadores de qualidade da água, que indica o consumo ou a demanda de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica (FUNASA, 2014).

O gráfico 4 demonstra a concentração de OD conforme a variação da sazonalidade. Observa-se que os menores valores de OD foram durante o período chuvoso, em que há uma maior introdução de matéria orgânica no corpo hídrico devido o escoamento superficial e a poluição difusa, o que gera segundo Esteves (2011), diversas implicações sobre o metabolismo do ecossistema aquático como um todo.

No período de estiagem os pontos P4 e P6 foram os únicos que não apresentaram OD inferiores a 5 mg/L, havendo no entanto, significativa redução dos níveis de oxigênio no período chuvoso.

Gráfico 4 - Variação sazonal dos valores de OD nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

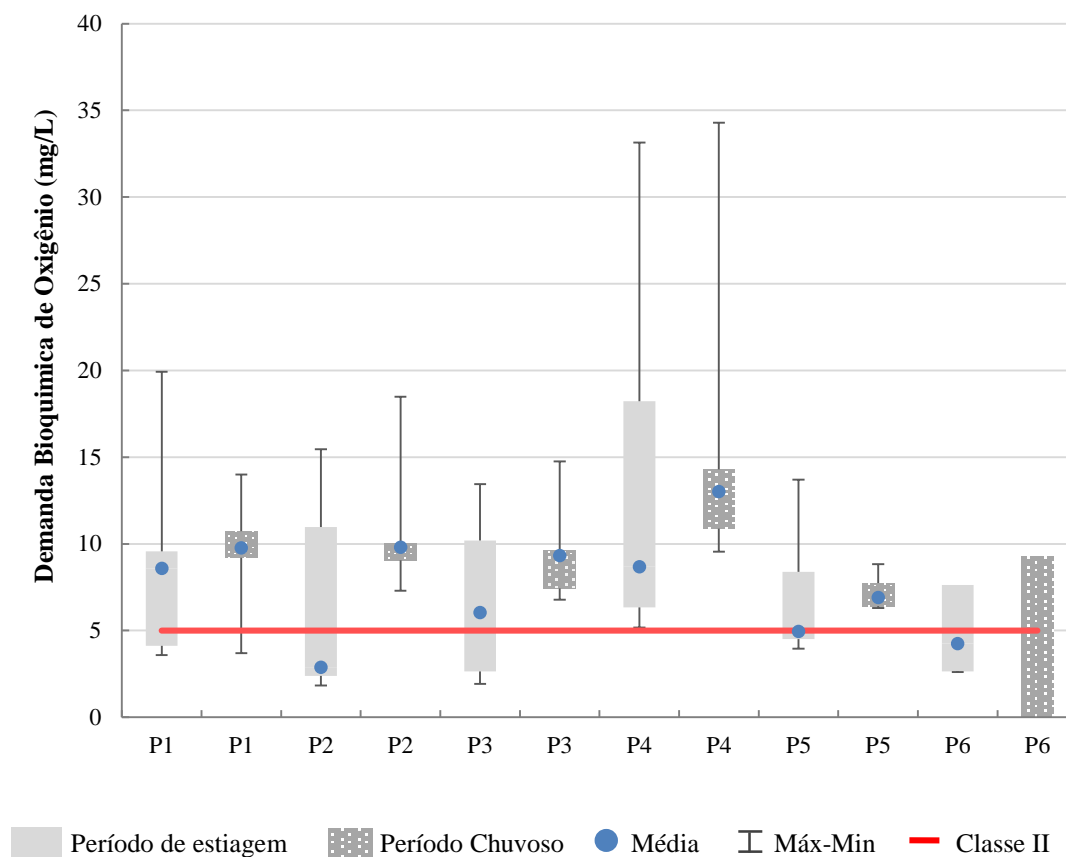
• DBO

Os pontos que apresentaram as maiores médias de DBO foram P1 (8,91 mg/L) e P4 (14,85 mg/L), o qual obteve a maior concentração no mês de janeiro, de 34,28 mg/L. Já os pontos que obtiveram as menores médias foram os pontos P5 (7,03 mg/L) e P6 (6,66 mg/L).

Cabe destacar que os valores obtidos dentro da Lagoa dos Morros (P3) possui uma concentração maior de DBO durante o período de monitoramento que em seus sangradouros, pontos P5 e P6. Isso deve-se a redução da concentração de matéria orgânica na lagoa através do processo de autodepuração do corpo hídrico, cuja a demanda por oxigênio é maior próximo ao seu lançamento, do que em seus exutórios.

No gráfico 5 podemos observar a variação sazonal dos valores de DBO, os quais mantiveram-se acima do permitido em praticamente todos os pontos de monitoramento, havendo uma pequena elevação no período chuvoso.

Gráfico 5 - Variação sazonal dos valores de DBO nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

O mesmo foi observado por Pontes, Marques e Marques (2012), no córrego Banguelo, em Belo Horizonte, provavelmente devido à contaminação pelo escoamento superficial. Bucci e Oliveira (2014) também perceberam o aumento da DBO com as chuvas no córrego Grama, no município de Juiz de Fora em Minas Gerais, provocado pelo revolvimento e ressuspensão dos sedimentos acumulados em toda a área brejosa coberta por macrófitas no ponto de coleta, bem como o aumento do volume da água do córrego.

O P4 apresenta as maiores concentrações de DBO, o que indica a constante presença de matéria orgânica em suas águas, proveniente possivelmente de efluentes residenciais em sua proximidade. Cabe destacar que seus afluentes são oriundos de regiões altamente urbanizadas e que possuem um déficit significativo de saneamento, o que pode estar contribuindo para as elevadas concentrações no ponto.

Os meses em que o P4 obteve as maiores concentrações de DBO, foram os que apresentaram os menores níveis de OD, em novembro, dezembro e janeiro. Segundo

Santos *et al.* (2018, p.39) “o aumento excessivo das concentrações de DBO em um corpo hídrico é normalmente causado por insumos de materiais variados de origem predominantemente orgânica”.

No entanto, nos meses de julho, agosto, setembro e outubro houve uma redução na concentração de DBO no P4, havendo conseqüentemente o aumento dos níveis de OD no corpo hídrico. Essa redução pode estar relacionada com o período de estiagem, visto que as chuvas diminuem e não há o arraste de matéria orgânica para o corpo hídrico proveniente da poluição difusa.

- **Fósforo Total**

Os valores máximos de fósforo total exigido pelo CONAMA nº357/2005 é $\leq 0,030$ mg/L para ambientes lênticos e $\leq 0,1$ mg/L para ambientes lóticos.

Com base nos resultados obtidos todos os pontos localizados em ambientes lênticos obtiveram médias superiores ao estabelecido na legislação, sendo o P3 o ponto que apresentou a maior média com 0,10 mg/L, e em ambientes lóticos o P4 foi o único ponto com média superior ao estabelecido na legislação, com 0,11 mg/L.

Ambientes lênticos

Os pontos de monitoramento caracterizados como ambientes lênticos são os P1, P3, P5 e P6, ambos correspondentes a lagoas.

O P1 atendeu o estabelecido na legislação nos meses de maio, julho, setembro e outubro, os quais obtiveram concentrações $\leq 0,030$ mg/L. Havendo no entanto, altas concentrações de fósforo durante o período chuvoso, oriundos possivelmente das áreas rurais da sub-bacia, possivelmente devido ao uso de fertilizantes na agricultura. Já o P5 somente nos meses de abril e setembro, e o P6 em agosto, setembro e outubro, mês em que apresentou a menor concentração de fósforo total, de 0,01 mg/L.

O P3 foi o único ponto de monitoramento que apresentou concentrações superiores ao estabelecido na legislação em todo o período de estudo, o que favorece o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas na Lagoa dos Morros, conforme demonstrado na figura 14.

Figura 14: Presença de macrófitas aquáticas na lagoa dos Morros.

A: Proliferação de macrófitas dentro da lagoa no P3 no mês de junho. B: Proliferação de macrófitas no sangradouro da lagoa no P6 no mês de setembro.



Fonte: Autor, 2021.

O P3 está localizado em uma região bastante antropizada, cujo o lançamento de efluentes de origem predominante doméstica na lagoa, então contribuindo para a produção de macrofitas e conseqüentemente para a degradação da mesma. As concentrações de fósforo nos pontos P5 e P6 são inferiores as identificadas no P3, reduzida pela autodepuração do corpo hídrico no decorrer da lagoa, até seus sangradouros.

Segundo Buzelli e Cunha-Santino (2013) altas concentrações de fósforo no corpo hídrico, além de favorecer o desenvolvimento das algas e macrófitas aquáticas, provoca alterações das características físicas e químicas do meio, gerando conseqüências negativas para o ecossistema aquático, como a morte de diversos organismos.

Concentrações de fósforo acima do permitido também possibilitaram o crescimento de macrófitas nas lagoas de Pituacú, Abaeté, Paixão e Dique do Tororó no Estado da Bahia (SILVA *et al.* 2021) e nas lagoas de Cabrinha e Canal da Vila do Padre Eduardo, no parque Lagoas do Norte em Teresina, cuja ocorrência foi maior no período de estiagem (SILVA; SILVA, 2020).

Ambientes lóticos

Os pontos de monitoramento caracterizados como ambientes lóticos são os P2 e P4. Os menores valores de fósforo foram registrados nos meses de abril, agosto e setembro no P2, ambos com 0,02 mg/L, e nos meses de fevereiro e abril no P4, ambos com 0,05 mg/L, todos em conformidade com o estabelecido no CONAMA nº 357/2005.

As mais elevadas concentrações de fósforo foram nos meses de novembro e dezembro, sendo 0,1 mg/ e 0,11 mg/L, respectivamente, no P2, e 0,13 mg/L e 0,15 mg/L, respectivamente no P4, o qual apresentou também em janeiro uma concentração de 0,16 mg/L. Essas altas podem ser atribuídas a elevada precipitação ocorrida no mês de novembro, a chuva ocorrida antes da coleta no mês de dezembro e ao início do período chuvoso em janeiro.

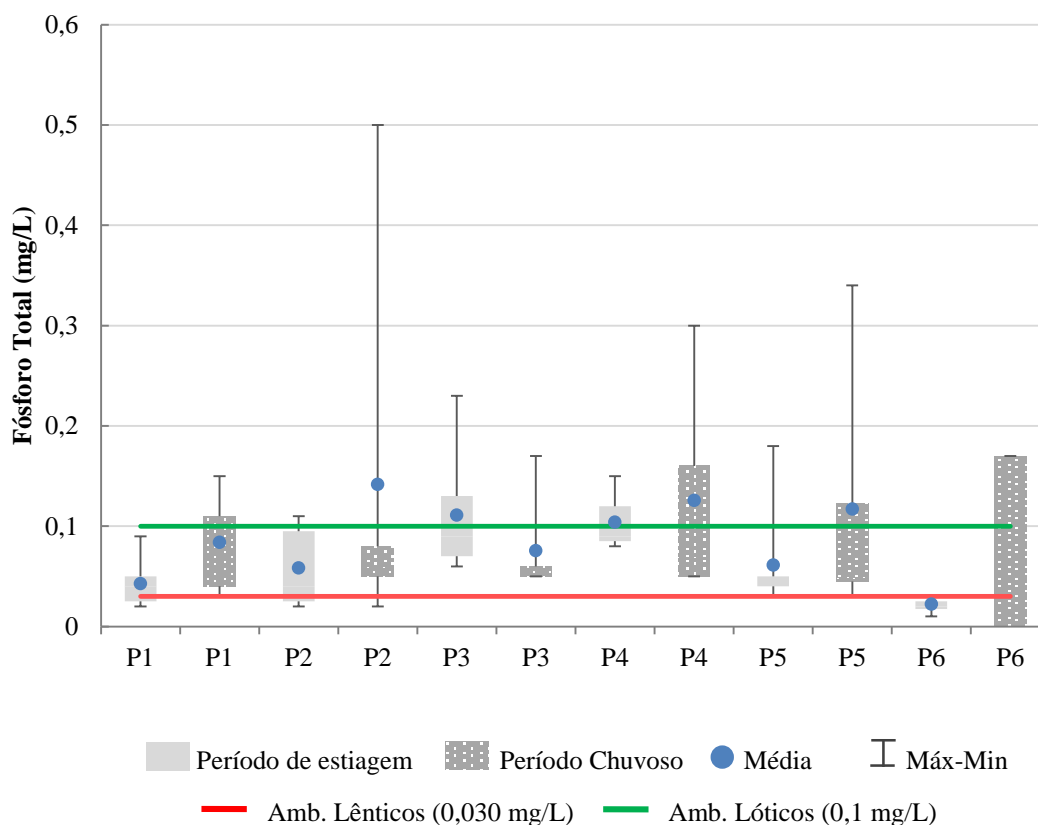
As maiores concentrações de fósforo total foram identificadas no P4, o qual apresentou valores acima do permitido em quase todo o período de monitoramento. O P4, assim como o P3, está localizado em uma área com grande ocupação urbana e com déficit de saneamento, havendo ainda a contribuição de afluentes provenientes das áreas mais urbanizadas da sub-bacia, o que pode estar favorecendo o aumento da concentração de fósforo em suas águas devido ao lançamento de efluentes ao longo do córrego.

Apesar dos pontos P2 e P4 apresentarem concentrações de fósforo superiores ao estabelecido no CONAMA nº 357/2005, não há a formação de macrófitas no corpo hídrico, possivelmente devido a vazão da água, que é maior que em ambientes lóticos. Entretanto, o fósforo total presente nestes dois pontos contribuem para o aumento desta variável na lagoa dos Morros, visto que ambos são seus afluentes.

O gráfico 6, demonstra os resultados referentes à concentração de fósforo total nos pontos de monitoramento e sua variabilidade em cada período de análise.

Observa-se que quase todos os pontos de monitoramento apresentaram aumento de fósforo no período chuvoso, cujas maiores concentrações foram identificadas nos pontos P1, P4 e P5. Cabe destacar que nos meses de novembro, dezembro e janeiro foram registrados as mais elevadas concentrações de fósforo em todos os pontos de monitoramento, mantendo-se altos durante o período chuvoso e reduzindo-se conforme adentra no período de estiagem.

Gráfico 6 - Variação sazonal dos valores de fósforo total nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

No período de estiagem, os únicos pontos que apresentaram concentrações em conformidade com a legislação vigente foram os pontos P1, P2, P4 e P6, cujas menores concentrações foram identificadas entre os meses de julho e outubro.

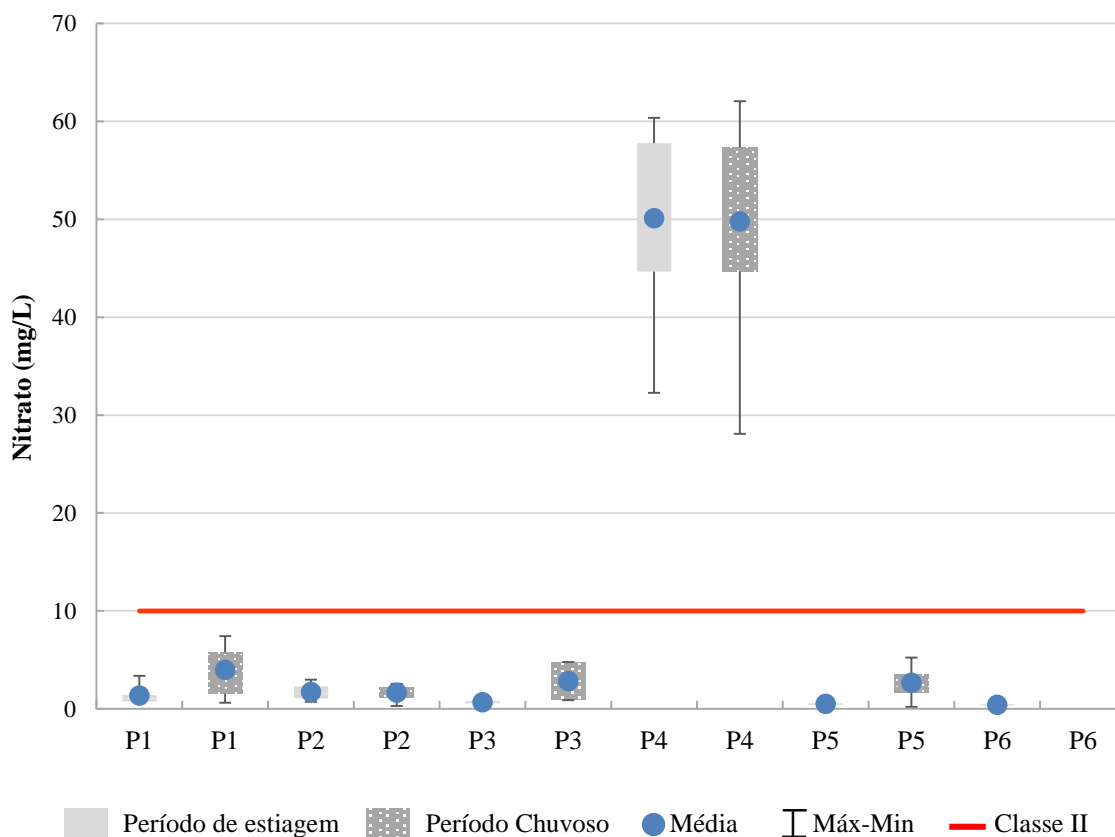
• Nitrato

Todos os pontos obtiveram concentrações médias de nitrato dentro do estabelecido pelo CONAMA n° 357/2005 de 10 mg/L, exceto o P4. Os pontos P3, P5 e P6 apresentaram as menores médias, com 1,56 mg/L, 1,29 mg/L e 0,33 mg/L, respectivamente, os quais obtiveram também as menores concentrações de nitrato no decorrer do período de monitoramento.

No mês de maio observou-se a redução na concentração de nitrato em todos os pontos, exceto no P4. Isso pode ser devido à redução da precipitação e fim do período chuvoso, visto que na última quinzena do mês, quando foi realizada a coleta, não houve registros de precipitação. Em todos os pontos de monitoramento observou-se um

aumento da concentração de nitrato no período chuvoso e uma redução no período de estiagem, conforme podemos observar no gráfico 7.

Gráfico 7 - Variação sazonal dos valores de nitrato nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

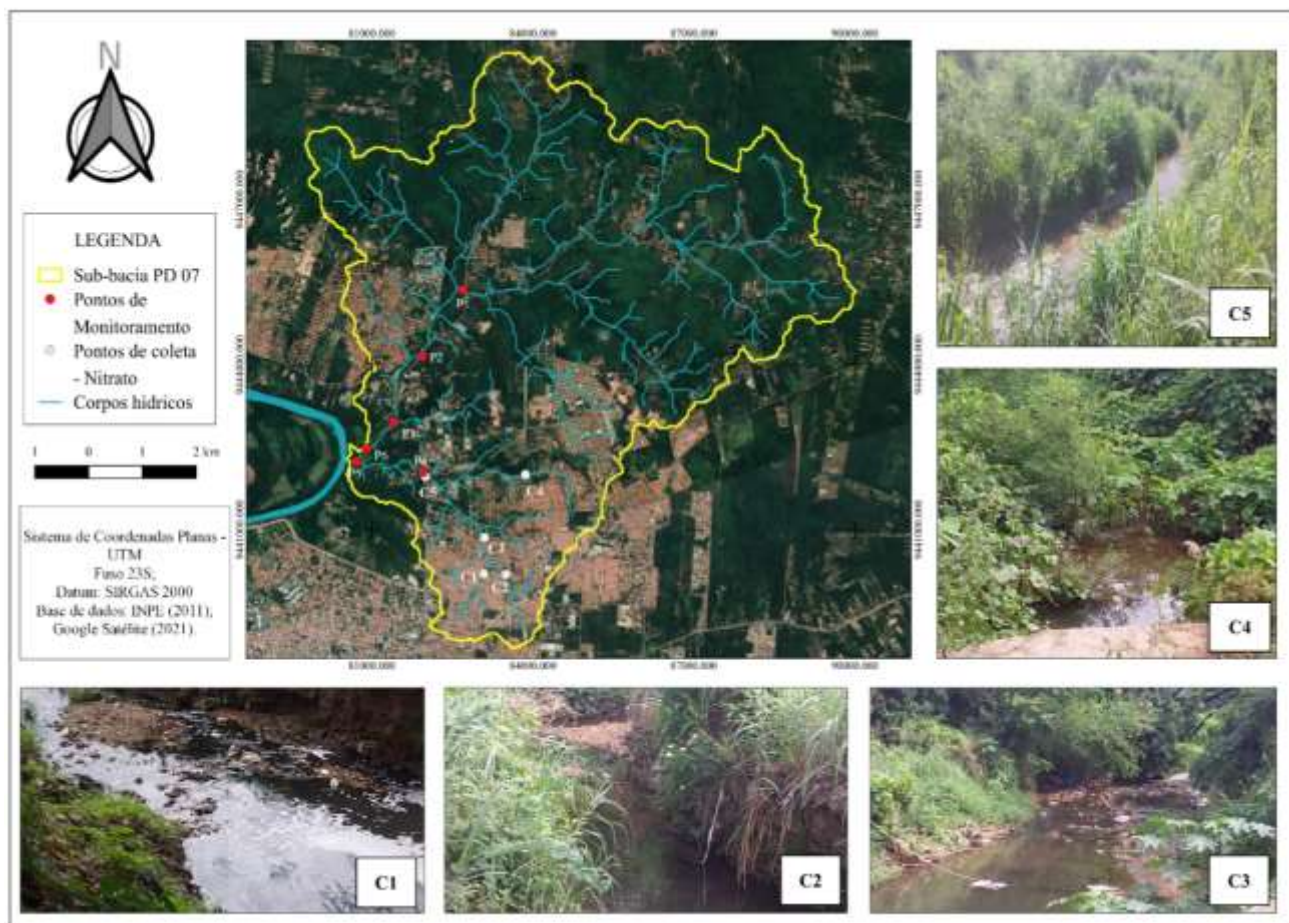
Como só foi realizada uma coleta no período chuvoso no P6, e a concentração de nitrato foi baixa, torna-se imperceptível sua representação no gráfico.

O P4 é o único ponto de monitoramento que apresentou concentrações de nitrato superiores a 10 mg/L em todo o período de estudo. As menores concentrações foram registradas no período de estiagem, no entanto, o menor valor de nitrato foi no início do período chuvoso com 28,09 mg/L no mês de janeiro, e o maior no mês de maio, com 62,05 mg/L.

Com o intuito de identificar as possíveis causas das altas concentrações de nitrato no P4, foram definidos cinco pontos de coletas a sua montante. Os pontos foram escolhidos conforme as ramificações existentes na drenagem e a área em que estão inseridas, concentrando-se os pontos C1 e C2 no bairro Samapi, pertencentes a corpos hídricos distintos, o ponto C3 no Satélite, o qual recebe influência dos pontos C1 e C2,

o ponto C4 localizado em uma região menos urbanizada do bairro Morros, e o ponto C5 localizado nas proximidades do P4, também no bairro Morros. A figura 15 demonstra os pontos de coleta realizados a montante do P4 para a análise das concentrações de nitrato, bem como as imagens referentes a cada ponto de coleta.

Figura 15 - Localização dos pontos de coleta de nitrato referentes ao ponto de monitoramento P4 na sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

Nota-se que os pontos de coleta estão inseridos nos bairros que possuem grandes extensões de áreas construídas, em sua maioria por residências, que devido ao déficit de saneamento acabam por lançar seus efluentes nos corpos hídricos existentes na região.

Os valores de nitratos nos pontos C1 e C2 foram de 0,94 mg/L e 52,10 mg/L, respectivamente. Apesar de ambos os pontos pertencerem ao mesmo bairro e estarem inseridos em uma área de grande ocupação urbana, o C1 obteve valor de nitrato bem inferior ao C2, estando assim em conformidade com a legislação vigente. No ponto de coleta C1 havia a presença de muito lixo, espuma e animais no córrego, já no C2 não

foram identificados esses aspectos visuais, no entanto, apresentou concentração de nitrato elevada.

Os pontos C1 e C2 são afluentes do C3, o qual apresentou a maior concentração de nitrato identificada, de 74,08 mg/L. Esse córrego fica em uma região bastante urbanizada do bairro Satélite, nas proximidades de várias residências que possivelmente o usam para descarte de seus efluentes.

O ponto C4, apesar de estar localizado em uma região com menor índice de ocupação urbana que os demais pontos, apresentou um elevado teor de nitrato (72,48 mg/L), possivelmente devido a ocupação a sua montante, proveniente do bairro Verde Lar, o qual possui apenas 5% de rede de esgotamento sanitário (SEMPPLAN, 2018), e dos efluentes oriundos das galerias advindas do bairro Satélite, os quais desagüam em suas águas, conforme demonstrado na figura 16.

Figura 16: Afluentes oriundos do bairro satélite para o córrego do bairro Morros.
A: Localização da galeria na esquina da rua do outro lado do córrego. B: Identificação da galeria.



Fonte: Autor, 2021.

Cabe destacar que a presença de água na rua não foi ocasionado devido as chuvas, visto que as coletas foram realizadas no mês de junho, mas sim devido a um vazamento no encanamento de abastecimento de água da região.

O ponto C5 apesar de possuir como afluentes os demais pontos, obteve uma concentração menor, de 59,17 mg/L, isso deve-se possivelmente à distância percorrida pela água até chegar no ponto, havendo o processo de autodepuração do corpo hídrico. A concentração apresentada no C5 foi semelhante a do P4 (59,27 mg/L) no referido mês de coleta, em junho, devido à proximidade entre eles.

As altas concentrações de nitrato no P4 podem ser atribuídas a falta de esgotamento sanitário a montante da sub-bacia, visto que, seus afluentes apresentaram altos teores de nitrato provenientes dos bairros Samapi, Satélite e Morros.

Segundo a CETESB (2018b) as fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas, tendo como principal fonte os esgotos sanitários, que lançam nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água, podendo ser encontrados também na forma de nitrito e nitrato. O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, que juntamente com fósforo atua como fator limitante na produção primária (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013). Altas concentrações são propícias para o processo de eutrofização.

5.3 Índice de Qualidade de Água

A avaliação da qualidade da água por meio do IQA permitiu identificar quais os pontos de monitoramento estão sendo mais impactados. A tabela 11 demonstra os índices de qualidade identificados em cada ponto de monitoramento.

Tabela 11 - Valores do IQA de cada ponto de monitoramento da sub-bacia.

| Período | Mês/ano | PONTOS DE MONITORAMENTO | | | | | |
|----------|---------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| Chuvoso | Jan/21 | 65,09 | 48,97 | 44,94 | 23,03 | | |
| | Fev/21 | 47,97 | 48,24 | 51,05 | 45,02 | 47,91 | |
| | Mar/21 | 55,22 | 45,85 | 52,41 | 45,7 | 50,63 | |
| | Abr/21 | 36,38 | 47,02 | 34,24 | 36,95 | 45,71 | |
| | Mai/21 | 59,32 | 52,1 | 49,26 | 44,62 | 61,88 | 54,59 |
| Estiagem | Jun/21 | 53,14 | 44,45 | 46,16 | 35,42 | 57,16 | |
| | Jul/21 | 66,36 | 59,12 | 59,79 | 47,65 | 62,65 | 57,06 |
| | Ago/21 | 69,23 | 68,77 | 65,58 | 44,88 | 68,09 | 66,48 |
| | Set/21 | 69,55 | 66,13 | 58,09 | 48,93 | 66,75 | 65,65 |
| | Out/21 | 64,84 | 50,30 | 57,44 | 46,06 | 61,36 | 64,38 |
| | Nov/20 | 58,35 | 40,36 | | 41,2 | 59,41 | |
| | Dez/20 | 61,01 | 49,29 | 50,43 | 33,13 | 60,8 | |
| Média | | 58,87 | 51,72 | 51,76 | 41,05 | 58,40 | 61,63 |

| | | |
|-----|---------|------|
| Boa | Regular | Ruim |
|-----|---------|------|

Fonte: Autor, 2021.

Observa-se que os pontos que apresentaram as melhores qualidades foram os P1, P5 e P6, cujas as médias de IQA foram 58,87, 58,40 e 61,63, respectivamente, atribuindo qualidade boa aos referidos pontos de monitoramento. No entanto, apesar de terem apresentado classificação boa, os pontos P1 e P5 obtiveram valores de IQA inferiores durante o período chuvoso, reduzindo a qualidade de suas águas.

As altas concentrações de E.coli, turbidez, DBO, nitrato e fósforo no P1, contribuíram para a redução da qualidade do corpo hídrico nos meses de fevereiro e abril, cujo último apresentou o menor valor de IQA. Essa baixa qualidade pode ser atribuída ao arraste de poluentes pelo escoamento superficial devido aos altos índices de precipitação ocorridos no dia da coleta, de 23,8 mm (INMET, 2021).

Cabe destacar que os afluentes do P1 são provenientes da zona rural e do bairro Socopo, cuja agropecuária representa 4% das atividades econômicas do bairro (SEMPLAN, 2018), umas das maiores da sub-bacia, o que pode ter contribuído para o aumento dos níveis de fósforo e nitrato no referido mês.

As variáveis que mais interferiram na redução da qualidade da água no P5, durante o período chuvoso, foram as baixas concentrações de OD e o aumento de E.coli e nitrato. Observa-se que os valores de IQA dos pontos P5 e P6 são próximos entre os meses de maio e outubro, classificando como boa.

No entanto, essa classificação camuflou as altas concentrações de E.coli apresentadas durante o período de estudo. A mesma situação foi verificada por Sánchez *et al.* (2012), ao analisar a qualidade da água da lagoa La Pólvora, localizada em um parque de mesmo nome no sudeste da cidade de Villahermosa, Tabasco, México. Os autores constataram que a qualidade da água é boa, no entanto, essa condição camuflou os altos valores de coliformes de origem fecal identificados na lagoa.

Os pontos que apresentaram as menores qualidades de água foram os P2, P3 e P4. Os pontos P2 e P4 obtiveram a predominância da qualidade regular, tanto no período de estiagem e chuvoso, devido principalmente às altas concentrações de E.coli, DBO, nitrato e fósforo, que elevaram-se ainda mais com o período chuvoso.

No P3, durante o período chuvoso, podemos observar que a qualidade da água da Lagoa dos Morros variou entre boa, regular e ruim. A água permaneceu regular no mês de janeiro, devido à pouca diferença entre os valores obtidos das variáveis em relação ao mês anterior.

Nos meses de fevereiro e março a qualidade da água foi boa, devido às reduções nas concentrações de E.coli e DBO, no entanto, a alta precipitação de abril e aumento

das concentrações de E.coli, turbidez e nitrato, contribuíram para a redução da qualidade da água para ruim no referido mês. Além disso, observou-se uma redução na concentração de OD e aumento da DBO, o que também contribuiu para classificação ruim da água.

As concentrações de OD e DBO interferem significativamente no valor do IQA, visto que, possuem pesos expressivos no referido cálculo de qualidade. Essas variáveis, segundo Silva *et al.* (2021), foram as principais responsáveis pela classificação ruim obtida pela Lagoa de Pituaçu, na Bahia. Embora a qualidade da água no P3 tenha sido considerada boa, com média de 51,72, nos pontos P5 e P6 as médias foram superiores, o que demonstra a capacidade de autodepuração da lagoa dos Morros.

O P4 é o ponto de monitoramento mais crítico em relação à qualidade da água, visto que apresentou qualidade regular em quase todo período de estudo, exceto em dezembro, janeiro e junho, que obtiveram classificação ruim. A má qualidade da água está associada principalmente às altas concentrações de nitrato ocorridas em todos os meses de análise, provenientes a sua montante, devido ao lançamento irregular de efluentes sanitários no corpo hídrico. A média do IQA no referido ponto foi de 41,05, a menor média entre todos os pontos de monitoramento, classificando a água como regular.

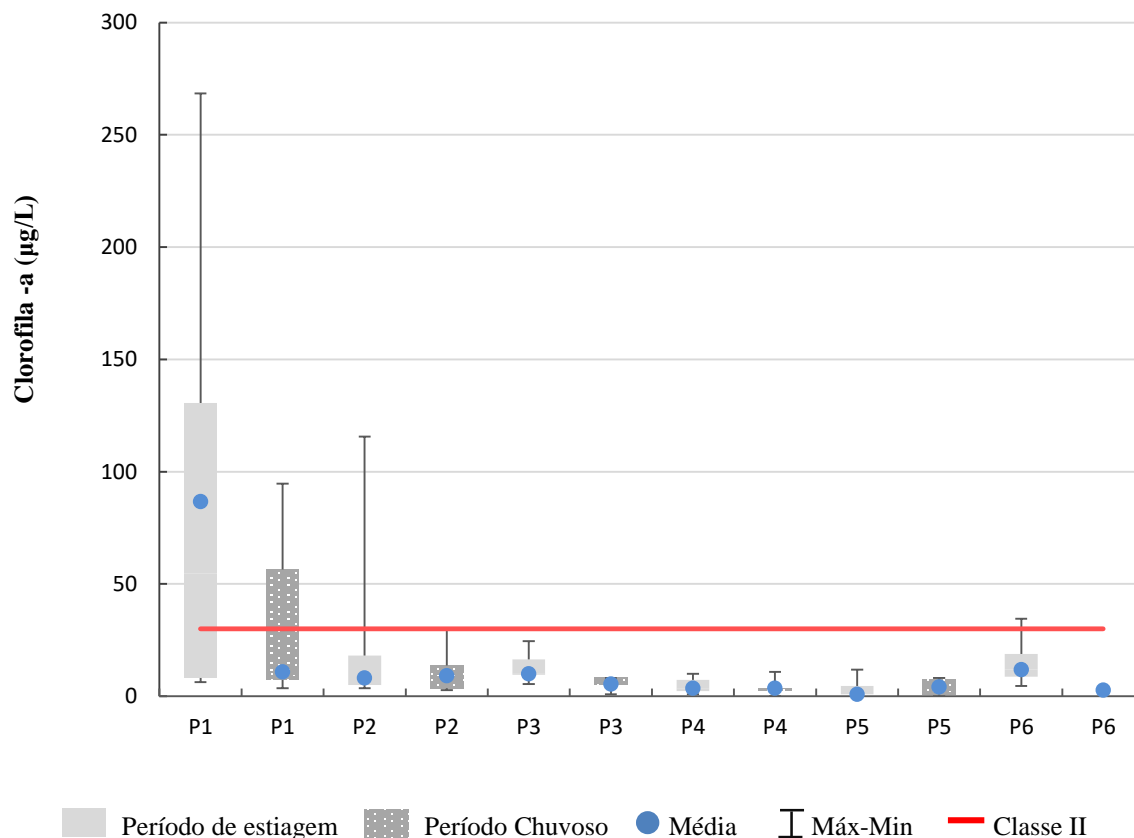
De forma geral, observa-se que os menores valores de IQA foram no período chuvoso, havendo uma maior redução na qualidade da água nos pontos que recebem a influência direta da ocupação urbana, cujos menores índices são provenientes dos pontos P2 e P4, ambos afluentes da lagoa dos Morros. O mesmo foi observado por Bucci e Oliveira (2014), nos afluentes da represa Dr. João Penido, em Juiz de Fora-MG, em que as médias de IQA foram inferiores ao reservatório.

5.4 Índice de Estado Trófico (IET)

A clorofila é um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético, em que a clorofila-a é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (CETESB, 2018b). O gráfico 8 demonstra a concentração de clorofila-a identificada em cada ponto de monitoramento nos dois períodos de análises. Observa-se que os pontos P1, P2 e P6 foram os únicos que obtiveram valores acima de

30 $\mu\text{g/L}$, valor máximo permitido pela resolução CONAMA nº357/2005, cujas maiores concentrações foram no período de estiagem.

Gráfico 8 - Variação sazonal dos valores de clorofila-a nos pontos de monitoramento da sub-bacia.



Fonte: Autor, 2021.

O P1 obteve concentrações acima do permitido nos meses de abril e maio no período chuvoso, com 56,42 $\mu\text{g/L}$ e 94,64 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. No entanto, com o início do período de estiagem a concentração de clorofila-a aumentou consideravelmente, chegando a 268,45 $\mu\text{g/L}$ no mês de junho. Esse aumento pode ser atribuído à redução das chuvas, bem como a entrada de raios solares na água, o que favorece o processo de fotossíntese e consequentemente o aumento da clorofila-a. Segundo Albuquerque *et al.* (2016), a clorofila-a atinge concentrações mais elevadas nesse período, indicando uma atividade fotossintética mais intensa.

Buzelli e Cunha-Santino (2013) também identificaram concentrações de clorofila-a superior ao permitido, tanto no período chuvoso como de estiagem, no

reservatório de Barra Bonita em São Paulo. Segundo os autores, a elevada concentração de clorofila-a foram ocasionadas pelo excesso de nutrientes na água, proveniente do despejo de esgoto doméstico não tratado dos centros urbanos localizados à montante e nas margens do reservatório, dos efluentes agrícolas e dos processos naturais que favorecem o desenvolvimento e proliferação de algas, interferindo na concentração de clorofila-a.

Já os pontos referentes a Lagoa dos Morros (P3, P5 e P6), apesar de terem apresentado uma maior quantidade de clorofila-a durante o período de estiagem, estiveram todos, exceto o ponto P6 no mês de setembro, em acordo com o estabelecido na legislação vigente em ambos os períodos de análise.

As baixas concentrações de turbidez e sólidos na lagoa podem ter influenciado no aumento da clorofila-a durante o período de estiagem, pois segundo Lamparelli (2004, p.166) em “ambiente com menor velocidade de correnteza, o material em suspensão tende a sedimentar, possibilitando uma maior transparência e conseqüentemente uma maior produtividade”. Entretanto, como a maior parte da Lagoa dos Morros está coberta por macrófitas aquáticas, há uma menor penetração da luz solar na água, o que limita o processo de fotossíntese e conseqüentemente a clorofila-a.

O P2 obteve concentrações de clorofila-a superior ao permitido na legislação nos meses de abril (30,03 µg/L) e junho (115,57 µg/L). Já o P4 obteve as menores concentrações de clorofila-a em relação ao demais pontos de monitoramento. Segundo Lamparelli (2004), em ambientes lóticos, são encontradas maiores concentrações de fósforo e menores concentrações de clorofila-a, devido sobretudo à alta relação entre o volume de água e a maior velocidade das águas quando comparados aos ambientes lênticos.

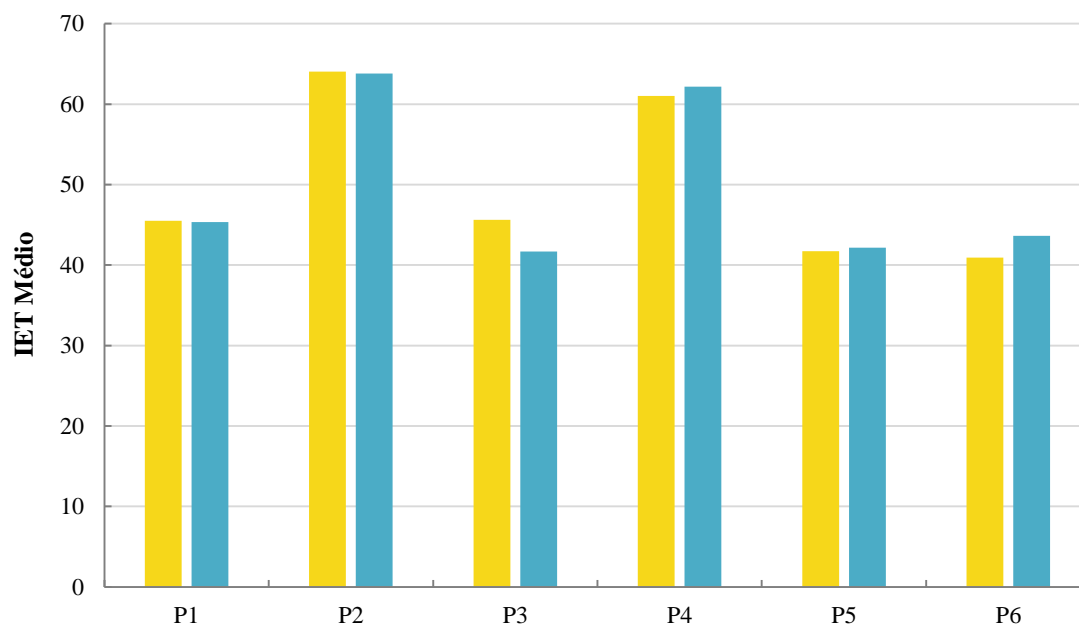
Simonetti, Silva e Rosa (2019) observaram essa diferença ao analisar as águas dos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, afluentes do reservatório Itupararanga em São Paulo, pertencentes a uma Área de Proteção Ambiental, cuja concentração de clorofila-a foi menor nos ambientes lóticos e maior dentro do reservatório.

Segundo Esteves (2011) do ponto de vista limnológico todas as formas de fósforo são importantes, no entanto, o fósforo total é um dos mais relevantes, pois pode ser utilizado como estimativa do grau de fertilização, ou seja, do estado trófico do ambiente aquático.

Por meio dos resultados da clorofila-a e do fósforo total de cada ponto de monitoramento, foi possível calcular seu IET, com base em Lamparelli (2004). No

entanto, para fins de resultado desta pesquisa utilizou-se a média aritmética entre as duas variáveis para se obter o IET médio. O gráfico 9 demonstra o estado trófico dos pontos de monitoramento de acordo com a sazonalidade, levando em consideração a média dos valores do IET médio em cada período. A tabela com todos os resultados referentes ao IET dos pontos de monitoramento encontra-se no apêndice C.

Gráfico 9 - Comparação da variação sazonal dos IET de cada ponto de monitoramento na sub-bacia.



| | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| ≤ 47 | $47 < \text{IET} \leq 52$ | $52 < \text{IET} \leq 59$ | $59 < \text{IET} \leq 63$ | $63 < \text{IET} \leq 67$ | >67 |
| <i>Ultraoligotrófico</i> | <i>Oligotrófico</i> | <i>Mesotrófico</i> | <i>Eutrófico</i> | <i>Supereutrófico</i> | <i>Hipereutrófico</i> |

Período de estiagem Período chuvoso

Fonte: Autor, 2021.

Observa-se no gráfico que os pontos P1, P3, P5 e P6 apresentaram estado ultraoligotrófico em ambos os períodos de análise, indicando que os pontos localizados em ambientes lânticos possuem melhor estado trófico, ou seja, são ambientes menos eutrofizados. No entanto, houve redução no nível trófico em alguns meses de monitoramento.

O P1 variou entre os estados ultraoligotrófico e oligotrófico, cuja redução na qualidade foi devido as altas concentrações de clorofila-a no referido ponto, especialmente no período de estiagem.

O ponto P3, localizado dentro da lagoa dos Morros, obteve a predominância do estado ultraoligotrófico em quase todo o período de monitoramento, exceto no mês de dezembro, o qual apresentou o estado oligotrófico, atribuída a alta concentração de fósforo total no referido mês, com 0,23 mg/L, o maior valor identificado no ponto de coleta. No reservatório do rio Bonito no Estado do Espírito Santo, também houve a predominância do estado Ultraoligotrófico, o qual apresentou uma redução para o estado eutrófico no período chuvoso (ARAÚJO; MENDONÇA; REIS, 2018).

No entanto, em um dos exutórios da lagoa dos Morros, localizada no ponto P5, houve uma maior variação do nível trófico, apresentando uma menor qualidade nos meses de maio, devido ao aumento na concentração de fósforo total, e em outubro devido ao aumento das concentrações tanto de fósforo total como de clorofila-a, os quais apresentaram estados oligotrófico e mesotrófico, respectivamente. No P6 houve somente a presença do estado ultraoligotrófico.

Cunha *et al.* (2013) identificaram variações entre os estados mesotrófico e eutrófico na lagoa Caiubá, localizada no município de Rio Grande - RS, devido as altas concentrações de fosforo total, advindos principalmente das atividades agrícolas existentes nas proximidades da lagoa. Já Borges *et al.* (2012) identificaram o estado hiperotrófico em um Lago urbano do Parque da Aclimação em São Paulo, decorrentes das altas concentrações de fósforo e clorofila-a, provenientes da alta antropização em seu entorno.

Com isso, percebe-se que apesar da Lagoa dos Morros receber águas com elevados teores de fósforo provenientes de seus afluentes, o sistema aquático apresenta o melhor estado trófico, possivelmente devido a ação das macrófitas existentes na lagoa, as quais absorvem o excesso de nutrientes e poluentes da água, bem como a possibilidade de sedimentação do fosforo total em ambientes lênticos, conforme afirma Lamparelli (2004).

Os ambientes lóticos apresentaram qualidade bem inferior ao apresentado nos lênticos. O nível trófico obtido no P2 foi o estado supereutrófico, e no P4 eutrófico, em ambos os períodos de monitoramento, indicando que os corpos hídricos sofrem com o processo de eutrofização de suas águas.

Segundo Lamparelli (2004), para avaliar o grau de limitação da produtividade do fitoplâncton em um ecossistema aquático, são comparadas as classificações obtidas entre o IET(Cl-a) e o IET(FT). Quando os dois índices classificam o ambientes na mesma classe trófica, o grau de limitação é considerados “normal”, quando a

classificação através do índice do fósforo classifica o ambiente em classe superior à obtida pela clorofila-a, indica que há algum fator limitante que reduz a produtividade das algas, cujo grau de limitação é considerado “alto”, no entanto, se ocorre o inverso, o grau de limitação é considerado “baixo”, existindo condições favoráveis para a produtividade primária, considerando os nutrientes disponíveis (LAMPARELLI, 2004).

Baseado nisso, podemos destacar que todos os pontos de monitoramento possuem baixo grau de limitação da produtividade do fitoplâncton, visto que as classificações do IET (CL-a) foram superiores as obtidas pelo IET (FT), existindo condições favoráveis para a produtividade das algas.

5.5 Impactos no uso da Lagoa dos Morros no Parque Zoobotânico

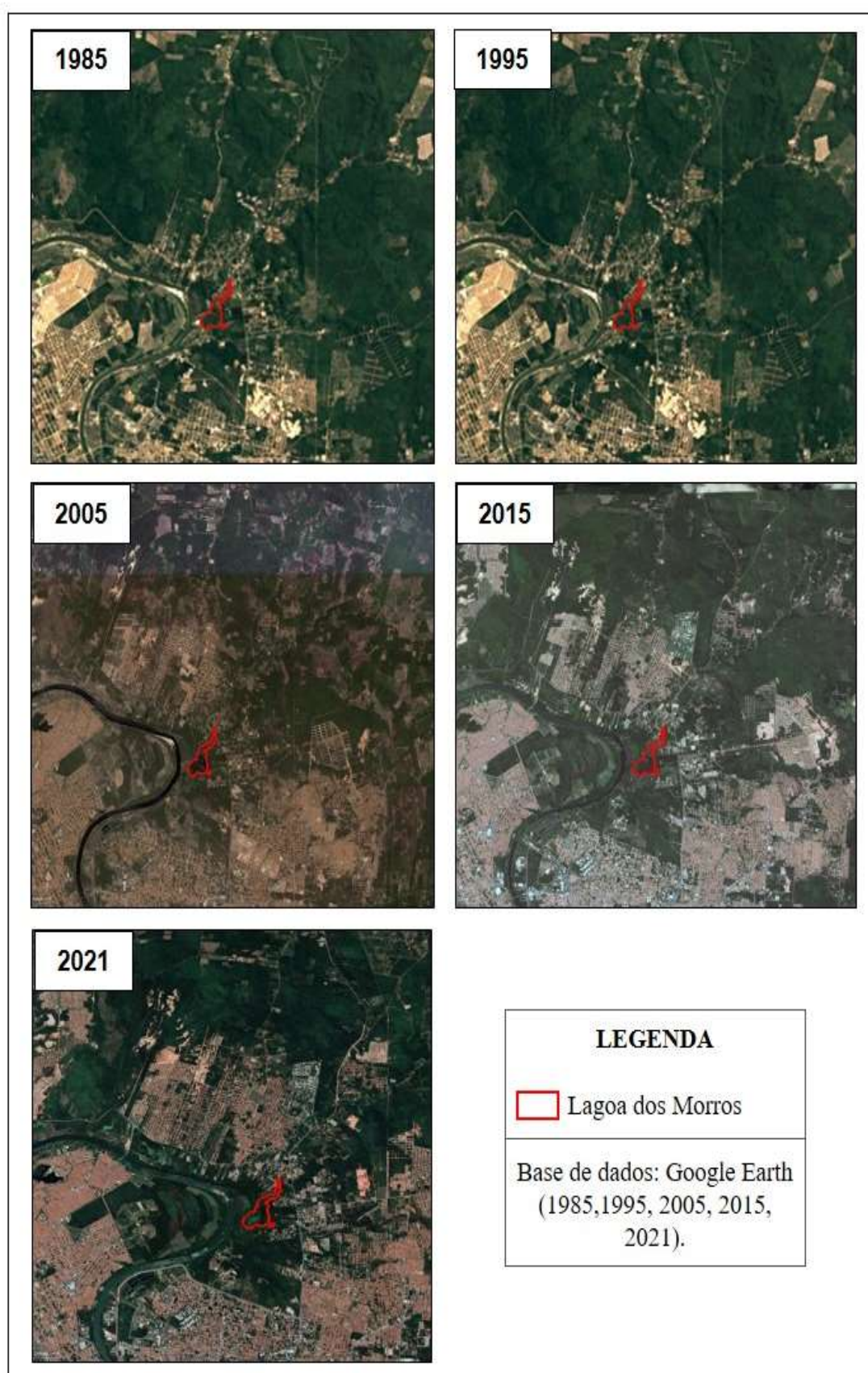
Segundo Lima, Lopes e Façanha (2019) a época de maior expansão do espaço urbano teresinense deu-se a partir da década de 1970, com o crescimento dos fluxos migratórios e a ocupação da região leste da cidade. Mesma década que foi instituído o Parque Zoobotânico na sub-bacia, em 1972.

No entanto, foi a partir da década de 1980 que houve o crescimento da ocupação dos bairros pertencentes a sub-bacia, devido ao incentivo à descentralização e a ocupação da região leste, especialmente os bairros Socopo e Pedra Mole, impostas nas diretrizes do II Plano Estrutural de Teresina em 1987 (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2019).

Desde então, a Lagoa dos Morros vem sofrendo com o processo de eutrofização de suas águas, que podem ser causadas tanto de forma natural, ou intensificadas pela ação do homem. Na figura 17 podemos observar por imagens de satélite a expansão da ocupação urbana na sub-bacia, bem como ao redor da lagoa dos Morros, referentes aos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021.

Observa-se que nos anos de 1985 e 1995 a ocupação urbana na sub-bacia e nas proximidades da lagoa ainda era pouca, entretanto, é possível identificar a presença de macrófitas aquáticas em sua lâmina d'água. O processo de urbanização da sub-bacia tornou-se mais perceptível nos anos 2000, cuja intensificação pode ser observada nos anos de 2015 e 2021, em que a cobertura da superfície da lagoa é maior. Na figura 18 podemos comparar o antes e depois da lagoa, referentes aos anos de 2002 e 2021, respectivamente.

Figura 17 - Análise espaço-temporal do processo de eutrofização da lagoa do Morros.



Fonte: Google Earth, elaborado pelo autor, 2021.

Figura 18 - Proliferação de macrófitas aquáticas na lagoa dos Morros.
A: Lagoa dos Morros em 2002; B: Lagoa dos Morros em 2021.



Fonte: SEMAR (2002); Autor, 2021.

Na figura 18A, observa-se a presença de macrófitas aquáticas no interior da lagoa no ano de 2002, problema que só se intensificou com o passar dos anos, como podemos observar na figura 18B, quase 20 anos depois. Segundo Silva, Santos e Lima (2018) a Lagoa dos Morros vem apresentando uma redução gradativa do seu espelho d'água, devido a ações antrópicas decorrentes do processo crescente de urbanização. O desenvolvimento de plantas aquáticas e espécies características de matas ripárias na região da lagoa, também é devido a influência causada pela proximidade do Rio Poti (AGUIAR, *et al.* 2019).

Na Lagoa dos Morros e em seu entorno existem uma grande quantidade de espécies aquáticas fixas e flutuantes, bem como aquelas características de ambientes úmidos. Segundo a SEMAR (2005) também podem ser encontradas espécies como babaçu, pente de macaco, angico-branco, aguapé, pau-d'água e taboa. Devido a predominância da espécie taboa (*Typha sp.*), a lagoa também passou a ser conhecida como Lagoa das Taboas.

Cabe destacar que todas as imagens são referentes ao período de estiagem, o que favorece o processo de eutrofização, que além de prejudicar o aspecto paisagístico do

local e a vida aquática existente, dificulta a prática de qualquer tipo de atividade recreativa, impossibilitando a sua utilização como área de lazer.

A lagoa também vem sofrendo com processos erosivos, assoreamento e redução da qualidade de suas águas. A erosão pode ser observada nas margens da lagoa, sendo mais visível em um de seus exutórios, cuja velocidade da água e desmatamento das margens do rio Poti, contribuem para sua intensificação, como demonstrado na figura 19A, referente ao ponto de monitoramento P5.

O mesmo problema foi identificado pela SEMAR (2005), com a elaboração do plano diretor do Parque Zoobotânico, cujo desmatamento, queimadas e pisoteio de animais contribuíram para a erosão no sangradouro da lagoa, demonstrado na figura 19B.

Figura 19 - Processos erosivos nos sangradores da lagoa dos Morros.
A: Sangradouro da lagoa referente ao P5. B: Sangradouro da lagoa referente ao P6.



Fonte: SEMAR (2005); Autor, 2021.

Esse sangradouro é referente ao ponto de monitoramento P6, cujo processo erosivo era mais intenso no ano de 2005, porém, com o intuito de minimizar a erosão foi construído um dique (figura 20), que também é utilizado para a transposição de peixes.

Vale ressaltar que havia uma diversidade de peixes dentro da lagoa, segundo a SEMAR (2002), existiam Branquinha (*Acuticarinata macrops*), Curimatá (*I*), Mandi (*Pimelodus sp.*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Tilápia (*Tilapia sp.*), Tucunaré

(*Hoplias Melabaricus*), Traíra (*Cichla Ocellaris*), dentre outras espécies que eram frequentes o ano inteiro.

Figura 20 - Dique construído no sangradouro da lagoa dos Morros.



Fonte: Autor, 2021.

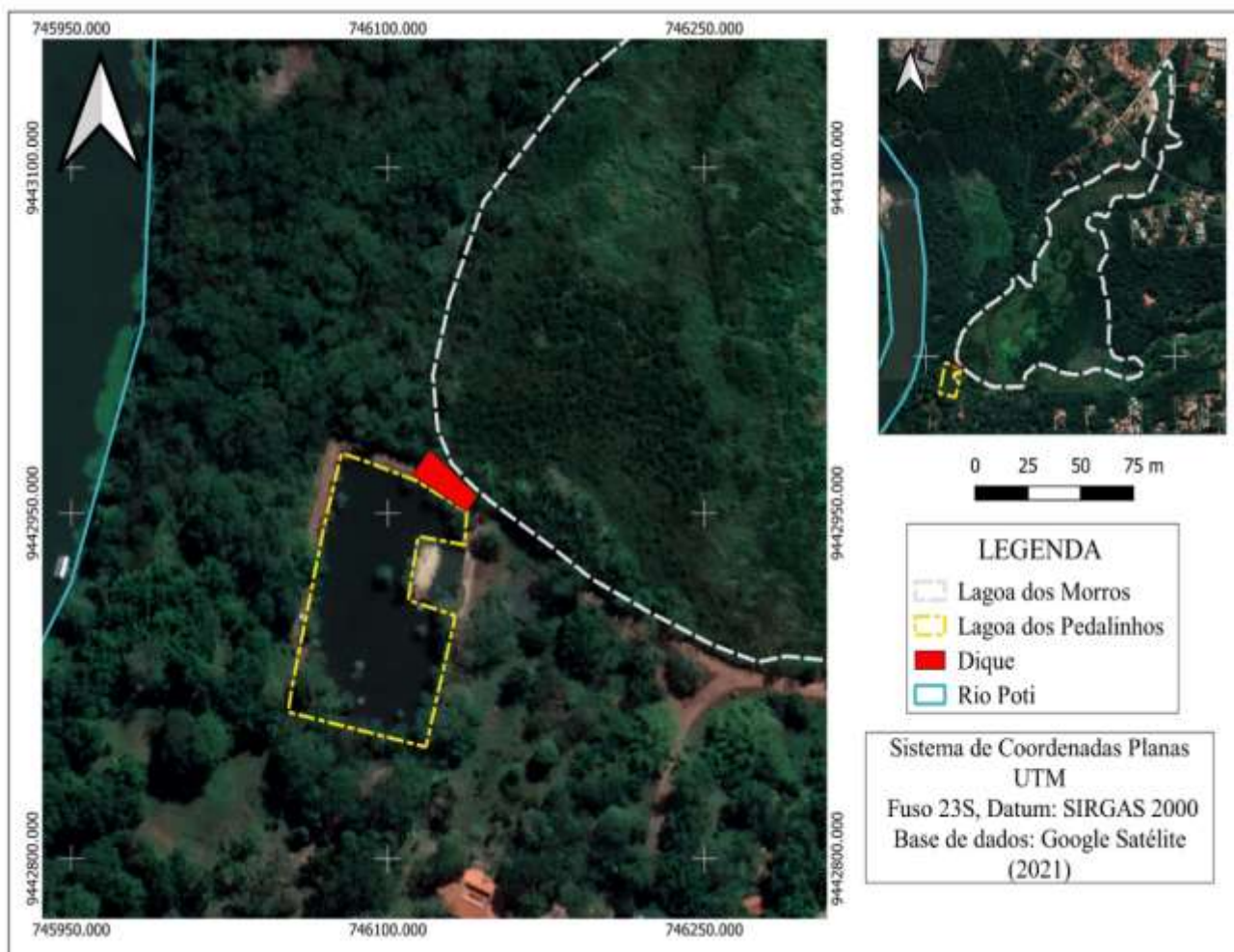
Devido a lagoa estar inserida no espaço urbano, ela sofre inúmeras transformações e impactos advindos de obras de engenharia, exploração de recursos naturais e poluição (SILVA; SANTOS; LIMA, 2018). Salienta-se que os condomínios horizontais Kennedy Park e Mansão dos Morros, presentes nas proximidades da lagoa, também causam impactos ambientais, pois estão localizados em áreas susceptíveis a inundações e iminentes riscos ambientais gerados pelo desmatamento, pela compactação do solo e pelo avanço da urbanização, além de provocarem a destruição de habitats, alterações na paisagem e processos erosivos (REIS; VIANA, 2019).

Tais impactos impossibilitam os diversos usos da lagoa dos Morros, antes utilizada para atividades recreativas, atrativo turístico, contemplação paisagística, passeios de barco, pesca e natação. O uso das áreas marginais para atividades como piquenique era um dos principais atrativos turísticos do parque (SEMAR, 2002), bem como o uso dos pedalinhos.

A “lagoa dos pedalinhos”, como era conhecida, é uma extensão da lagoa dos Morros, que segundo Silva, Santos e Lima (2018) foi barrada, por meio de um dique,

para a construção de uma via de acesso no parque. A figura 21 demonstra a localização da lagoa dos pedalinhos e do dique construído dentro do Parque Zoobotânico.

Figura 21 - Mapa de localização da Lagoa dos Pedalinhos e do dique construído no Parque Zoobotânico.



Fonte: Autor, 2021.

Com a criação do plano de manejo do parque, o novo zoneamento ambiental sugeria a desativação da atividade, pois encontrava-se na APP do rio Poti, cujas atividades antrópicas deveriam ser suspensas, recomendando a realocação dos pedalinhos para a Lagoa dos Morros (SEMAR, 2002). A figura 22 demonstra a lagoa dos pedalinhos depois de sua desativação e a atual situação da lagoa, a qual não é mais utilizada para nenhum tipo de atividade dentro do Parque Zoobotânico.

Salienta-se que, segundo a SEMAR (2002), a água da Lagoa dos Morros estava dentro dos padrões estabelecidos para classe II, no entanto, durante o período de estudo constatamos que a água da lagoa não está dentro dos padrões exigidos para esta classe,

possuindo uma qualidade inferior ao apresentado anteriormente. Atualmente a Lagoa dos Morros é utilizada somente para bombear água para as lagoas existentes no interior do parque.

Figura 22 - Lagoa dos pedalinhos do Parque Zoobotânico de Teresina.
A: Lagoa dos Pedalinhos depois de sua desativação. B: Lagoa dos Pedalinhos atualmente.



Fonte: SEMAR (2005); Autor, 2021.

Tanto o plano de manejo e diretor do Parque Zoobotânico elaborados em 2002 e 2005, respectivamente, previam a revitalização e reutilização da Lagoa dos Morros para atividades recreativas, como a implantação dos pedalinhos, passeios de barco e arrecadação econômica para o parque, através de pontos de vendas em suas margens. O projeto para a concessão do parque segue o estabelecido nos referidos planos supracitados, visando um gasto inicial de mais de três milhões de reais para a revitalização das lagoas.

O estudo técnico e modelagem operacional realizado pela Superintendência de Parcerias e Concessões - SUPARC (2021) para a concessão do parque, prevê o uso da Lagoa dos Morros para diversas finalidades, entre elas a implantação de recintos para alguns tipos de animais em suas margens e a interligação da Lagoa dos Morros com as demais lagoas existentes no parque, possibilitando um trecho navegável denominado Riacho Atlantis, como demonstrado na figura 23.

O Riacho Atlantis compreende a captação, adução, tratamento e implantação de um projeto de via navegável por embarcações tematizadas utilizando a água da Lagoa dos Morros, onde servira de orientação para separar setores diferentes do Parque, com

orientação paisagística, ornamental e infraestrutura adequada para a navegação (SUPARC, 2021). A SUPARC também prevê a retomada dos pedalinhos na Lagoa dos Morros após sua limpeza e revitalização.

Figura 23 – Projeto de interligação das lagoas para a implantação do Riacho Atlantis no Parque Zoobotânico.



Fonte: SUPARC (2021).

No plano diretor do parque há em detalhamento o plano de revitalização da Lagoa dos Morros, que visa a remoção de 70% das macrófitas aquáticas, oxigenação mecânica da água, a implantação de mecanismos artificiais de reequilíbrio do ecossistema e o tratamento paisagístico, tornando-a atrativa para o público (SEMAR, 2005). Este deve ser seguido ou utilizado de base pela empresa concessionária que assumiu a administração do parque através de Parceria Público Privada (PPP) no ano de 2022.

Almada (2018) destaca que a Lagoa do Vigário, localizada na área urbana de Campos dos Goytacazes no Rio de Janeiro, é um exemplo de ecossistema visivelmente eutrofizado e intensamente colonizado por macrófitas aquáticas, cuja sua remoção é essencial para o ecossistema aquático, visto que a mesma recebe esgoto *in natura*. No entanto, a autora ressalta que o manejo deve ocorrer de forma a manter a função

despoluidora da planta no ecossistema, além da sua função ecológica, deixando sempre uma parcela da mesma na superfície da água.

Contudo, a simples remoção e manutenção periódica das macrófitas e o uso de alguns mecanismos de reequilíbrio do ecossistema aquático, não serão suficientes para recuperar a qualidade da água da Lagoa dos Morros. A SUPARC (2021) prevê a instalação de sistemas de filtração biológica, formado por chicanas de fluxo vertical intercalando meios filtrantes de materiais e granulometria diversas, específicos para correção das impurezas da água e controle do processo de eutrofização e limpeza da Lagoa dos Morros, instalados na saída da lagoa e no final do canal navegável do Riacho Atlantis.

Além dos sistemas de filtração, recomenda-se o monitoramento da qualidade da água da lagoa e do trecho navegável, possibilitando a criação de um banco de dados que servira de subsídio para a tomada de decisão e implantações de medidas de controle por parte dos responsáveis pelo parque.

Cabe ressaltar que somente as medidas de revitalização da lagoa propostos pelo plano diretor e previstas pela SUPARC, não serão suficientes para sanar a problemática existente atualmente na lagoa, visto que a mesma é acometida por diversas fontes de poluição, advindas principalmente dos bairros localizados a montante da sub-bacia. Para isso, seria necessário o investimento do poder público na implantação e ampliação da rede coletora de esgoto sanitário nos bairros que a compõe.

Além da implantação das medidas de infraestrutura sanitárias, é imprescindível a realização de campanhas periódicas de educação ambiental com a população local, especialmente as que residem nos bairros mais próximos da Lagoa dos Morros. Essas campanhas são necessárias para conscientizar a população do correto manejo de seus resíduos e da importância de descartá-lo corretamente, visto que há a coleta de resíduos pela prefeitura três vezes na semana, e mesmo assim foram constatados vários focos de descarte irregular em vias públicas, córregos e dentro da Lagoa dos Morros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sub-bacia em estudo apresenta um intenso e crescente processo de urbanização, cuja falta de planejamento e o déficit de esgotamento sanitário contribuem diretamente para a degradação da qualidade dos recursos hídricos existentes, especialmente no período chuvoso.

Os focos de poluição existentes na Lagoa dos Morros e em suas proximidades, bem como as águas poluídas provenientes de seus afluentes, são os principais responsáveis pela intensificação da proliferação das macrófitas aquáticas e da redução da qualidade da água na lagoa. Visto que, os bairros que apresentam as maiores densidades populacionais são os que possuem as menores ou nenhuma taxa de esgotamento sanitário, cujos efluentes são destinados direta ou indiretamente para os corpos hídricos.

Os parâmetros que mais influenciaram na qualidade da água dos pontos analisados e apresentaram concentrações fora do estabelecido na resolução CONAMA nº357/2005, foram: E.Coli, DBO, fósforo e nitrato. Entretanto, apesar das elevadas concentrações, o IQA dos referidos pontos foram de boa qualidade, exceto o P4, cujo elevados índices de nitrato contribuíram para a qualidade regular do córrego.

Quanto ao IET, os ambientes lênticos (P1, P3, P5 e P6) apresentaram estados ultraoligotróficos em ambos os períodos de análise, e os ambientes lóticos (P2 e P4) estados supereutrófico e eutrófico, respectivamente. O que indica que as lagoas são ambientes menos eutrofizados, possivelmente devido a ação despoluidora das macrófitas aquáticas existentes.

Todavia, com sua intensa proliferação na Lagoa dos Morros, a lâmina d'água fica cada vez menor, o que prejudica a vida aquática existente e inviabiliza qualquer tipo de uso. Devido a isso, é necessário a implantação de um plano de revitalização da lagoa, com o intuito de restabelecer o equilíbrio ecológico e possibilitar o uso para atividades recreativas.

Para isso, também é necessário a participação do poder público, com a implantação e ampliação da rede coletora de esgotamento sanitário na sub-bacia, e da comunidade com campanhas de educação ambiental, bem como estudos específicos que visem identificar quais os tipos de macrófitas existentes, para assim utilizar o método de remoção e/ou controle adequado.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, B. A. S et al. Guia didático de árvores do parque zoobotânico de Teresina: uma proposta educativa para conhecimento e preservação da flora do Piauí. **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**, p. 198-210, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331547613_GUIA_DIDATICO_DE_ARVORES_DO_PARQUE_ZOOBOTANICO_DE_TERESINA_UMA_PROPOSTA_EDUCATIVA_PARA_CONHECIMENTO_E_PRESERVACAO_DA_FLORA_DO_PIAUI. Acesso em: 02 set. 2021.

AGUIAR, B. N. G. A et al. Parques urbanos em Teresina-PI: o ócio criativo como função urbana. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 6353-6373, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/6740/5942>. Acesso em: 05 set. 2021.

ALBUQUERQUE, M. V. C. *et al.* Influência da comunidade fitoplanctônica no desempenho de lagoas de polimento. in: Congresso brasileiro de gestão ambiental e sustentabilidade, 4., 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: [S.N], 2016. p. 602-610. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2016/trabalhos/pdf/congestas2016-et-02-003.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2022.

ALENCAR, G. S. Análise comparativa da delimitação manual e automática de bacias hidrográficas na região Bragantina. *In*: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 30, Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 30, 2019. **Anais [...]**. s.l:[s.n], 2019. p. 1-9. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/11/delimitacao-bacias-hidrograficas-bragantina-sp.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

ALMADA, E. V. C. **Proposta de mitigação da eutrofização na Lagoa do Vigário-RJ através da macrófita *eichhornia crassipes*: de praga a fitorremediadora**. 2018. Tese (Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2019/02/Tese-Doutorado-Eliliane-FINAL.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2022.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005, 1083p.

ARAÚJO, D. R; MENDONÇA, A. S. F; REIS, J. A. T. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de rio bonito e suçã. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 55-62, fev. 2018. Disponível em: scielo.br/j/esa/a/9DxjB46TRhYbSfCj9cGWXkG/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 07 fev. 2022.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 12 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.

BORGES, J.C S. *et al.* Efeitos dos níveis tróficos (clorofila e teor de aquicultura) fósforo) em três corpos d'água diferentes (lago urbano, reservatório e instalação de aquicultura) na morfologia da brânquia da titápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Journal Of Applied Ichthyology**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 573-578, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 20 ago. 2020.

_____. **Lei n° 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília – DF, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 7 jul. 2020.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 130-148, mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/PJGrF4FXCm77PxdqQjdCNpj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jan. 2022.

BUENO, P. H. C.; LIMA, A. J. (Re)estruturação urbana de Teresina (PI): uma análise de suas dinâmicas recentes. **Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas**, [s.l.], v. 16, n. 109, p. 96-118, 25 abr. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1984-8951.2015v16n109p96>. Acesso em: 21 mar. 2021.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, [s. l.], v. 8, n.1, p. 186-205, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/14.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (São Paulo). **Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo, [2018a]. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Ap%C3%AAndice-D_-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

_____. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, [2018b]. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/12/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

CORNELLI, R. et al. Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do Município de Caxias do Sul. **Scientia Cum Industria**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016.

COSTA, D. A. T. *et al.* Qualidade ambiental de sub-bacia hidrográfica urbana: um estudo de caso de Alfenas – MG. **Ciência e Natura**, v.40, n. 20, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324069187_QUALIDADE_AMBIENTAL_D_E_SUB-BACIA_HIDROGRAFICA_URBANA_UM_ESTUDO_DE_CASO_DE_ALFENAS-MG. Acesso em: 10 de mar. 2022.

COSTA, G. J. A. **Geotecnologias para análise da vulnerabilidade ambiental urbana da microbacia do Riacho do Gavião, Teresina (PI)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2018.

CUNHA, R. W. *et al.* Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 770-779, abr. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6gH9dCzmQnw5pHJpHmKrhwJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2022.

DIAS, A. A.; AQUINO, C. M. S.; SANTOS, F. A. Caracterização ambiental e análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itaueira, Piauí, Brasil. **Geosaberes**, v. 11, p. 265-276, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/53549/1/2020_art_aadias.pdf. Acesso em: 10 de mar. 2022.

ESTEVEZ, F. A. (Org.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FIA, R et al. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, mar. 2015. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/176/a518ebf915d3626ea0c99dc58588458d_253590a790b7e076754148c3394d59b5.pdf. Acesso em: 15 jan. 2022.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE – FUNASA (Brasil). **Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares**. Brasília: [s.n.], 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_msd3_2.pdf. Acesso em: 05 ago. 2021.

_____. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. 1 ed. Brasília: Printed In Brazil, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GUPTA, N.; PANDEY, P.; HUSSAIN, J. Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. **Water**

Science, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 11-23, abr. 2017. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez17.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1016/j.wsj.2017.03.002?frbrVersion=2>. Acesso em: 21 mar. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/teresina/panorama>. Acesso em: 25 mai. 2021.

_____. **Portal de mapas**. 2020. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 17 nov. 2020.

_____. **Sinopse por setores**. 2010b. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>. Acesso em: 20 mai. 2021.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapas de precipitação**. 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/>. Acesso em: 22 mai. 2021.

INMET. **Geração de Imagens**. 2011. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 12 set. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (Brasil). **Geração de Imagens**. 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 29 mai. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL (org.). **Ranking do saneamento Instituto Trata Brasil 2021 (SNIS 2019)**. São Paulo: [S.N], 2021. 2 v. Disponível em: http://www.tratabrasil.com.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

JAKOVLJEVIC, D. Assessment of water quality during the floods in may 2014, Serbia. **Journal Of The Geographical Institute Jovan Cvijic**, Sasa, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 215-226, dez. 2020. Disponível em: <https://doaj.org/article/6b62e5619b3d4878860be03e018641b9>. Acesso em: 21 mar. 2021.

JOIA, P. R.; ANUNCIACÃO, V. S.; PAIXÃO, A. A. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 343-358, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v19n2/1518-7012-inter-19-02-0343.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

JONES, J. G. A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh water. **Freshwater Biological Assoc**. 1979.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em ciências na área de ecossistemas terrestres aquáticos) - Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2020.

LIMA, I. M. M. F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. In: Encontro nacional da associação nacional de pós-graduação e pesquisa em geografia, 9., 2011, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: [S.N.], 2011. p. 1-8. Disponível em: https://iracildefelima.webnode.com/_files/200000034-8785d887e3/GT22%20-%20O%20RELEVO%20DE%20TERESINA.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

LIMA, S. M. S. A., LOPES, W. G. R., FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/55dJtxNQzWQggjYmJSbKf5F/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 jan. 2022.

MACÊDO, I. M. E *et al.* Qualidade Microbiológica da Água e do Camurupim (*Megalops atlanticus* - Valenciennes, 1847) em Lagoa Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 391-396, jan. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/239789/32299>. Acesso em: 26 jan. 2022.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v.24, n.2, p. 261-269, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v24n2/1809-4457-esa-24-02-261.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

MAIA, K. P.; SILVA, G. A.; LIBÂNIO, M. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v.24, n.5, p. 1013-1025, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v24n5/1809-4457-esa-24-05-1013.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

MELO, M. T *et al.* VARIABILIDADE DAS CLASSES DE ÁGUA E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DO RIACHO QUEIMA PÉ. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 68-79, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/845/pdf>. Acesso em: 19 fev. 2022.

MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. Caracterização morfométrica e de intervenções urbanas na bacia hidrográfica do Rio Imboaçú (São Gonçalo, RJ): contribuição ao estudo de inundações. **Revista Formação**, v. 25, n. 44, p. 279-299, 2018.

MENEZES, J.M. *et al.* Comparison Between the Water Quality Indexes Cetesb and Bascarán Applied to the Hydrographic Basin of the São Domingos River, Northwest of Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 194-202, 2018. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2018_01/2018_1_194_202.pdf. Acesso em: 16 ago. 2020.

MISAGHI, F *et al.* Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: a case study of the ghezal ozan river. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 589, p. 107-116, jul. 2017. Disponível em: <https://www->

sciencedirect.ez17.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969717304916?via%3Dihub. Acesso em: 21 mar. 2021.

MORAES, M. E. B. Por que estudar bacias hidrográficas? In: MORAES, Maria Eugênia Bruck de; LORANDI, Reinaldo (org.). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, Ba: Editus, 2016. p. 9-14. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/4wbr2/pdf/moraes-9788574554433.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2022.

OLIVEIRA FILHO, A. A.; LIMA NETO, I. E. Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 23, n. 1, p.3-14, jul. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522018000100003&script=sci_arttext. Acesso em: 09 abr. 2020.

OLIVEIRA, C. E.; AQUINO, C. M. S. Crescimento urbano e impactos sobre a cobertura vegetal no bairro Vale do Gavião - Teresina – PI - BR. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral-CE, v. 17, n. 2, p. 68-84, 2015. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/176>. Acesso em: 02 jul. 2021.

OLIVEIRA, R. M. M.; SANTOS, E. V.; LIMA, K. C. Avaliação da qualidade da água do riacho São Caetano, de Balsas (MA), com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 523-530, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n3/1809-4457-esa-22-03-00523.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2020.

OLIVER, Sofia; CORBURN, Jason; RIBEIRO, Helena. Challenges Regarding Water Quality of Eutrophic Reservoirs in Urban Landscapes: a mapping literature review. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 1-18, 24 dez. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/1/40/htm>. Acesso em: 21 mar. 2021.

PEREIRA, E. S *et al.* Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do rio Urupá, Amazônia brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 557-568, 2020. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.007.0043/2403>. Acesso em: 19 fev. 2022.

PIAUI. Governo do Estado. **Projeto de concessão de uso para revitalização, modernização, operação e manutenção do parque zoobotânico**. Teresina, 2019. Disponível em: <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/wp-content/uploads/2019/01/ZOOBOT%C3%82NICO-1.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

PIRES, D. A. *et al.* Qualidade das águas de quatro reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 370-380, jan. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/f97KmY3TNhL7P8fjmyhCZYB/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 26 jan. 2022.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo - Contagem. **Ambiente**

e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 185-194, jan. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/6GHv8VYSLbfKNnqGjXhG83c/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

REIS, E. B.; VIANA, B. A. S. Vulnerabilidade socioambiental: os condomínios horizontais em Teresina-pi. In: ENANPEGE, a geografia brasileira na ciência-mundo: produção, circulação e apropriação do conhecimento, 13. 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: [S.N], 2019. p. 1-14. Disponível em: http://www.enanpege.ggf.br/2019/resources/anais/8/1562026058_ARQUIVO_VULNERABILIDADESOCIOAMBIENTALversaofinalizada-30-06.pdf. Acesso em: 07 set. 2021.

RODRIGUES, D. B. B.; MENDIONDO, E. M. Bacias Hidrográficas: caracterização e manejo sustentável. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (ed.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 47-74.

ROSANOVA, C. et al. Utilização do índice de estado trófico para análise do grau de trofia do parque aquícola sucupira (lago de Palmas, TO) na estação seca. **Revista Ouricuri**, Juazeiro- BA, v.8, n.1, p.023-036, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1106397/utilizacao-do-indice-de-estado-trofico-para-analise-do-grau-de-trofia-do-parque-aquicola-sucupira-lago-de-palmas-to-na-estacao-seca>. Acesso em: 01 out. 2020.

ROVERI, V. et al. Aplicação do Índice de Qualidade de Bascarán (IQAB) para a avaliação da qualidade da água do canal de drenagem urbana da avenida Abílio dos Santos Branco, Praia da Enseada, Guarujá/SP, Brasil. In: Encontro Nacional de Pós-Graduação – ENPG, 6, 2017, [s. l.]. **Anais [...]**. [s. l.: s. n.], 2017. p. 280-285. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/ENPG/article/view/1113/1043>. Acesso em: 27 ago.

SAAD, A. R. et al. Índice de estado trófico da bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise comparativa entre as zonas rural e urbana. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 4, p.611-624, 2013. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7276>. Acesso em: 16 ago. 2020.

SÁNCHEZ, A. J. et al. Calidad ambiental de la laguna urbana. La Pólvara en la cuenca del río Grijalva. **Tecnología y Ciencias del Agua**, México, v. 3, n. 3, p. 1-8, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000300010. Acesso em: 26 ago. 2021.

SANTI, G. M. *et al.* Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, [S.L], v. 11, n. 1, p. 23-31, ago. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v11n1/a03v11n1.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SANTOS, A. S. R. M *et al.* Métodos de classificação supervisionada aplicados no uso e ocupação do solo no município de Presidente Médice – RO. **Biodiversidade**, [S.L], v.

18, n. 1, p. 150-159, jan. 2019. Disponível em:
<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/8242>.
 Acesso em: 05 fev. 2022.

SANTOS, R. C. L. *et al.* Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v.23, n.1, P.33-46, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v23n1/1809-4457-esa-s1413-41522017159832.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

SARDINHA, D. S *et al.* Índice de estado trófico para fósforo total (IET-PT) aplicado em afluente da Represa Bortolan em Poços de Caldas (MG). **Revista Dae**, [S.L.], v. 67, n. 216, p. 95-108, 2019. Disponível em:
http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_216_n_1770.pdf. Acesso em: 07 fev. 2022.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 137-152, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n3/1809-4422-asoc-18-03-00137.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2020.

SEMAR - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí. **Plano de manejo do Parque Zoobotânico de Teresina**. Teresina: [s.n], 2002. 333 p.
 Disponível em: <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/wp-content/uploads/2021/07/Parque-Zoobot%C3%A2nico-Plano-de-Manejo-2002.pdf>. Acesso em: 07 set. 2021.

_____. **Plano diretor Parque Zoobotânico de Teresina**. Teresina: [s.n], 2005. 425 p.

SEMPPLAN- Secretária Municipal de Planejamento. Prefeitura Municipal de Teresina. **SAAD Leste**. 2018. Disponível em: <https://semplan.pmt.pi.gov.br/sdu-leste/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SILVA, A. C. M. *et al.* Variabilidade sazonal da qualidade de água em lagoas urbanas no nordeste do Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 207-220, 2021. Disponível em:
<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14865/12017>. Acesso em: 01 set. 2021.

SILVA, G. C. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v.15 n.28; p. 244 – 258, 2018. Disponível em:
<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/caracterizacao%20morfometrica.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2022.

SILVA, H. B.; SILVA, C. E. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, S.L, v. 13, n. 5, p. 2371-2387, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244491>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SILVA, R. E.; SANTOS, V. T.; LIMA, I. M. M. F. A Lagoa dos Morros e sua relação com a expansão de Teresina, Piauí. In: **Ciclo de Estudos em Geografia, Análise**

Ambiental e Educação. E-book. Teresina, 2018, p. 24-31. Disponível em: <https://docplayer.com.br/149852912-Elaborado-por-ana-cristina-guimaraes-carvalho-crb-3-1087.html>. Acesso em: 02 set. 2021.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul**, [s.l.], v. 34, n. 72, p. 01-27, 25 jul. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2019v34n72p01/40322>. Acesso em: 02 de fev. 2022.

SOARES, R. D. B.; SILVA, C. E.; BATISTA, M. G. S. Avaliação qualitativa da segurança hídrica do Rio Poti no município de Teresina – PI. **Revista Educação Ambiental em Ação**, nº 69, 2019. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3845#:~:text=No%20rio%20Poti%2C%20as%20cianobact%C3%A9rias,no%20per%C3%ADodo%20seco>. Acesso em: 05 de fev. 2022.

SOARES, R. D. B.; SILVA, C. E.; CRUZ, R. W. L. Qualidade das águas do parque lagoas do norte, Teresina-PI. In: SILVA, H. C. (org.). **Engenharia ambiental e sanitária: interfaces do conhecimento 2**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. p. 131 – 140.

SUPARC - Superintendência de Parcerias e Concessões. **Estudo técnico e modelagem operacional**. Teresina: [s.n], 2021. 50 p. Disponível em: http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/wp-content/uploads/2021/05/1620232216175_ANEXO-1-DO-CONTRATO-Produto-I-Estudo-de-Viabilidade-T%C3%A9cnica-e-Operacional-.pdf. Acesso em: 07 set. 2021.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN). **Teresina Geo: infraestrutura**. Teresina, 2020. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?hl=pt-BR&hl=pt-BR&ll=-5.087830054688235%2C-42.63969885655816&z=11&mid=1R3WKU9SEytPSQ3N0XtxE4KLhuyok43W7>. Acesso em: 26 jul. 2020.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Definição de unidades fisiográficas do relevo para a bacia hidrográfica do rio itu – oeste do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 57-76, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/36377>. Acesso em: 02 jan. 2022.

UTETE, B.; TSAMBA, J. Trophic state categorisation and assessment of water quality in Manjirenji Dam, Zimbabwe, a shallow reservoir with designated multi-purpose water uses. **Water Sa**, [s.l.], v. 43, n. 2, p. 192-199, 21 abr. 2017. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/155164>. Acesso em: 19 mar. 2021.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Apeú, Amazônia oriental. **Revista Formação**, v. 27, n. 51, p. 313-335, 2020. Disponível em:

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/6026/5781>. Acesso em: 10 de fev. 2022.

VARGAS, R. R. *et al.* A influência do uso e ocupação da terra na qualidade das águas da Bacia Hidrográfica Pedrinhas, Guarulhos (SP). **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 41, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/35493/html>. Acesso em: 25 ago. 2020.

APÊNDICE A – Tabela de caracterização dos setores censitários da sub-bacia.

| BAIRROS | SETORES CENSITÁRIOS | ÁREA (km ²) | | | POPULAÇÃO | |
|----------------|------------------------|-------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | | TOTAL | SUB-BACIA | DENSIDADE (hab/km ²) | TOTAL | SUB-BACIA |
| PEDRA MOLE | 1 | 1,48 | 0,42 | 37,89 | 56 | 16 |
| | 2 | 0,05 | 0,05 | 5415 | 293 | 293 |
| | 3 | 0,20 | 0,09 | 4968,97 | 984 | 442 |
| | 4 | 0,12 | 0,02 | 5497,37 | 633 | 127 |
| | 5 | 0,07 | 0,06 | 7425,85 | 528 | 416 |
| | 6 | 1,11 | 0,17 | 1281,92 | 1426 | 223 |
| | 7 | 0,14 | 0,12 | 5323,06 | 768 | 629 |
| | 8 | 0,45 | 0,45 | 3034,04 | 1359 | 1359 |
| | 9 | 0,03 | 0,03 | 9281,18 | 298 | 298 |
| | 10 | 0,10 | 0,10 | 9509,29 | 992 | 992 |
| | 11 | 0,09 | 0,09 | 11160,46 | 995 | 995 |
| | 12 | 0,05 | 0,02 | 11197,26 | 556 | 170 |
| | | 3,90 | 1,62 | 2281,31 | 8888 | 5961 |
| TABAJARAS | 13 | 1,48 | 0,91 | 37,89 | 56 | 34 |
| | 14 | 1,14 | 1,14 | 640,16 | 733 | 733 |
| | | 2,62 | 2,05 | 300,69 | 789 | 767 |
| CIDADE JARDIM | 15 | 0,04 | 0,04 | 3034,04 | 128 | 128 |
| | 16 | 0,08 | 0,08 | 7735,23 | 639 | 639 |
| | 17 | 0,07 | 0,07 | 10479,54 | 698 | 698 |
| | 18 | 0,27 | 0,27 | 4681,68 | 1251 | 1251 |
| | 19 | 0,22 | 0,17 | 3285,11 | 715 | 557 |
| | 20 | 0,68 | 0,68 | 1036,88 | 661 | 661 |
| | 21 | 0,04 | 0,04 | 5658,87 | 213 | 213 |
| | 22 | 2,65 | 0,29 | 358,13 | 947 | 102 |
| | | 4,04 | 1,63 | 1301,29 | 5252 | 4249 |
| SOCOPO | 23 | 0,19 | 0,19 | 122,21 | 23 | 23 |
| | 24 | 0,13 | 0,13 | 4338,43 | 560 | 560 |
| | 25 | 0,57 | 0,57 | 1466,6 | 835 | 835 |
| | 26 | 0,47 | 0,47 | 55,3 | 26 | 26 |
| | 27 | 2,31 | 2,31 | 205 | 474 | 474 |
| | | 3,67 | 3,67 | 522,76 | 1918 | 1918 |
| VALE DO GAVIÃO | 28 | 3,16 | 3,07 | 225,07 | 712 | 691 |
| | 29 | 0,19 | 0,19 | 4151,31 | 795 | 795 |
| | | 3,36 | 3,26 | 449,18 | 1507 | 1486 |
| MORROS | 30 | 2,96 | 2,96 | 156,58 | 462 | 462 |
| | 31 | 0,05 | 0,05 | 4516,87 | 204 | 204 |
| | 32 | 0,33 | 0,33 | 1526,39 | 500 | 500 |
| | | 3,33 | 3,33 | 350,36 | 1166 | 1166 |
| ZOOBOTÂNICO | 33 | 2,65 | 1,06 | 358,13 | 947 | 379 |
| | 34 | 3,91 | 0,76 | 66 | 257 | 50 |
| | 35 | 0,02 | 0,01 | 3253,2 | 59 | 26 |

| | | | | | | |
|-----------------|----|------|------|----------|-------|--------|
| | | 6,58 | 1,83 | 192,03 | 1263 | 455 |
| | 36 | 0,72 | 0,72 | 957,37 | 690 | 690 |
| | 37 | 0,21 | 0,21 | 3949,03 | 808 | 808 |
| | 38 | 0,35 | 0,35 | 2406,13 | 836 | 836 |
| | 39 | 0,18 | 0,18 | 3929,68 | 703 | 703 |
| | 40 | 0,04 | 0,04 | 3128,06 | 131 | 131 |
| | 41 | 0,09 | 0,09 | 7487,31 | 674 | 674 |
| PORTO DO CENTRO | 42 | 0,07 | 0,07 | 7788,12 | 569 | 569 |
| | 43 | 0,05 | 0,05 | 15690,4 | 791 | 791 |
| | 44 | 0,09 | 0,09 | 12401,94 | 1094 | 1094 |
| | 45 | 0,10 | 0,10 | 10192,95 | 972 | 972 |
| | 46 | 0,11 | 0,11 | 9992,38 | 1076 | 1076 |
| | 47 | 0,11 | 0,04 | 8224,82 | 902 | 353 |
| | 48 | 0,08 | 0,02 | 9677,34 | 766 | 172 |
| | | 2,19 | 2,06 | 4571,69 | 10012 | 8869 |
| | 49 | 0,09 | 0,09 | 8658,65 | 759 | 759 |
| | 50 | 0,07 | 0,07 | 14505,73 | 1021 | 1021 |
| VERDE LAR | 51 | 0,15 | 0,15 | 7035,17 | 1028 | 1028 |
| | 52 | 0,07 | 0,07 | 7825,2 | 515 | 515 |
| | 53 | 0,67 | 0,29 | 655,5 | 437 | 188 |
| | | 1,04 | 0,66 | 3618,86 | 3760 | 3511 |
| | 54 | 0,54 | 0,38 | 2115,37 | 1145 | 794 |
| | 55 | 0,15 | 0,15 | 6789,06 | 1014 | 1014 |
| | 56 | 0,06 | 0,06 | 11713,9 | 727 | 727 |
| | 57 | 0,08 | 0,08 | 10777,51 | 845 | 845 |
| VALE QUEM TEM | 58 | 0,05 | 0,05 | 14864,52 | 762 | 762 |
| | 59 | 0,08 | 0,07 | 9317,63 | 776 | 645 |
| | 60 | 0,56 | 0,08 | 2022,77 | 1140 | 158 |
| | 61 | 0,13 | 0,13 | 4021,46 | 521 | 521 |
| | 62 | 0,10 | 0,03 | 7291,89 | 700 | 180 |
| | 63 | 0,09 | 0,01 | 7898,5 | 734 | 71 |
| | | 1,85 | 1,03 | 4518,64 | 8364 | 5718 |
| | 64 | 0,11 | 0,07 | 8224,82 | 902 | 547 |
| | 65 | 0,08 | 0,06 | 9677,34 | 766 | 587 |
| | 66 | 0,08 | 0,08 | 10038,19 | 778 | 7,800 |
| | 67 | 0,10 | 0,10 | 8217,69 | 803 | 9,800 |
| | 68 | 0,08 | 0,08 | 9429,03 | 739 | 7,800 |
| | 69 | 0,06 | 0,06 | 11506,66 | 714 | 6,300 |
| | 70 | 0,12 | 0,12 | 8833,33 | 1036 | 11,800 |
| SATÉLITE | 71 | 0,09 | 0,09 | 10568,58 | 937 | 9,000 |
| | 72 | 0,10 | 0,10 | 9801,23 | 1000 | 10,200 |
| | 73 | 0,13 | 0,13 | 8066,41 | 1063 | 13,200 |
| | 74 | 0,27 | 0,27 | 4574,2 | 1242 | 27,100 |
| | 75 | 0,32 | 0,32 | 3517,75 | 1121 | 32,000 |
| | 76 | 0,01 | 0,01 | 16825,92 | 162 | 0,900 |
| | 77 | 0,02 | 0,02 | 17604,19 | 343 | 1,900 |
| | 78 | 0,10 | 0,10 | 1333,39 | 129 | 9,700 |
| | | 1,67 | 1,60 | 7048,05 | 11735 | 1281 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|---------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| | 79 | 0,09 | 0,09 | 11223,7 | 1050 | 9,400 |
| | 80 | 0,07 | 0,07 | 7203,57 | 517 | 7,2000 |
| | 81 | 0,16 | 0,13 | 9019,5 | 1410 | 1175 |
| | 82 | 0,12 | 0,12 | 7856,58 | 905 | 11,500 |
| | 83 | 0,06 | 0,06 | 10437,8 | 638 | 6,100 |
| SAMAPI | 84 | 0,09 | 0,09 | 11002,07 | 1009 | 9,100 |
| | 85 | 0,09 | 0,05 | 7937,22 | 703 | 427 |
| | 86 | 0,08 | 0,08 | 12193,6 | 980 | 8,100 |
| | 87 | 0,44 | 0,44 | 3197,11 | 1391 | 43,500 |
| | 88 | 0,10 | 0,10 | 10215,5 | 1004 | 9,800 |
| | 89 | 0,07 | 0,07 | 14286,11 | 1036 | 7,200 |
| | | 1,36 | 1,30 | 7802,79 | 10643 | 1713 |
| | 90 | 0,08 | 0,08 | 11432,86 | 914 | 846 |
| SANTA LIA | 91 | 0,09 | 0,08 | 13969,68 | 1208 | 1096 |
| | 92 | 0,01 | 0,01 | 19607,84 | 284 | 284 |
| | 93 | 0,44 | 0,34 | 2045,22 | 893 | 697 |
| | | 0,62 | 0,51 | 5338,19 | 3299 | 2923 |
| | 94 | 0,20 | 0,20 | 5019,53 | 978 | 978 |
| | 95 | 0,06 | 0,06 | 13857,23 | 851 | 851 |
| | 96 | 0,05 | 0,05 | 12484,16 | 611 | 611 |
| | 97 | 0,08 | 0,05 | 8319,36 | 660 | 446 |
| PIÇARREIRA | 98 | 0,07 | 0,07 | 11946,91 | 820 | 820 |
| | 99 | 0,09 | 0,04 | 7937,22 | 703 | 276 |
| | 100 | 0,28 | 0,15 | 4332,07 | 1205 | 659 |
| | 101 | 0,12 | 0,07 | 10207,46 | 1204 | 684 |
| | 102 | 0,06 | 0,04 | 5609,34 | 343 | 225 |
| | 103 | 0,20 | 0,06 | 3511 | 709 | 214 |
| | | 1,20 | 0,78 | 6725,46 | 8084 | 5763 |
| CAMPESTRE | 104 | 0,09 | 0,02 | 14150,73 | 1273 | 254,6 |
| ZONA URBANA | | 37,50 | 25,35 | 2078,52 | 77953 | 46035 |
| | 105 | 17,54 | 5,72 | 18,77 | 329 | 107 |
| | 106 | 17,97 | 9,12 | 34,59 | 622 | 316 |
| ZONA RURAL | 107 | 16,79 | 13,59 | 26,09 | 409 | 331 |
| | 108 | 0,63 | 0,63 | 1585,11 | 1019 | 1019 |
| | 109 | 17,82 | 4,72 | 52,9 | 932 | 247 |
| | | 70,74 | 33,77 | 46,80 | 3311 | 2020 |
| TOTAL | 109 | 108,25 | 59,12 | 750,73 | 81264 | 48055 |

APÊNDICE B: Resultados das análises referentes aos meses de monitoramento.

| PONTO 01 | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| PARÂMETRO | Nov/ 2020 | Dez/ 2020 | Jan/ 2021 | Fev/ 2021 | Mar/ 2021 | Abr/ 2021 | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 29,4 | 27,3 | 26,3 | 26,6 | 26,4 | 25,6 | 26,9 | 27,6 | 23,6 | 23,5 | 28 | 27,6 |
| OD | 5,95 | 6,2 | 7,06 | 7,89 | 7,57 | 7,18 | 7,85 | 7,43 | 7,59 | 8,36 | 6,35 | 6,85 |
| E.coli | 1.965 | 538 | 253 | 5172 | 2.613 | >24.196 | 420 | 216 | 109 | 31 | 30 | 1106 |
| pH | 8,05 | 8,23 | 8,09 | 7,81 | 7,74 | 7,65 | 7,92 | 8,23 | 7,88 | 8,05 | 8,06 | 7,72 |
| Turbidez | 39 | 29,75 | 27,58 | 80,17 | 47,75 | 644,92 | 38,42 | 22,52 | 23,08 | 17,42 | 32,83 | 47,42 |
| DBO | 9,73 | 9,4 | 3,7 | 9,2 | 10,73 | 14 | 9,78 | 19,93 | 8,59 | 4,60 | 3,63 | 3,58 |
| Sólidos Totais | 380 | 600 | 620 | 990 | 800 | 1020 | 920 | 1040 | 1020 | 900 | 520 | 340 |
| Nitrato | 1,46 | 0,74 | 7,42 | 5,75 | 1,55 | 4,48 | 0,63 | 0,76 | 1,05 | 3,39 | 0,59 | 1,37 |
| Fósforo | 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 0,15 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,03 |
| Condutividade | 654 | 956 | 409 | 586 | 723 | 331 | 810 | 895 | 827 | 867 | 489 | 241 |
| Clorofila a | 6,37 | 7,28 | 7,28 | 10,92 | 3,64 | 56,42 | 94,64 | 268,45 | 9,1 | 54,6 | 157,43 | 103,74 |

| PONTO 02 | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| PARÂMETRO | Nov/ 2020 | Dez/ 2020 | Jan/ 2021 | Fev/ 2021 | Mar/ 2021 | Abr/ 2021 | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 28 | 27,5 | 27,2 | 26,1 | 26,3 | 27,3 | 27,5 | 27,6 | 24,2 | 24,8 | 26,5 | 26,9 |
| OD | 4,4 | 5,46 | 5,82 | 4,86 | 6,71 | 5,82 | 5,36 | 4,42 | 7,01 | 6,3 | 6,56 | 6,17 |
| E.coli | >120.980 | 5.630 | 2.260 | 11.780 | 57.940 | 22.470 | 6.500 | 6.500 | 740 | 730 | 430 | 3250 |
| pH | 7,28 | 7,28 | 7,3 | 7,35 | 7,47 | 7,55 | 7,68 | 7,71 | 7,61 | 7,45 | 7,62 | 7,54 |
| Turbidez | 59,58 | 99,42 | 66,58 | 49,25 | 65,08 | 75,17 | 53,08 | 40,92 | 95,92 | 41 | 57,5 | 118,5 |
| DBO | 12,43 | 9,5 | 18,48 | 7,3 | 10,05 | 9,8 | 9,05 | 15,45 | 2,7 | 2,88 | 1,83 | 2,08 |
| Sólidos Totais | 300 | 470 | 720 | 710 | 880 | 780 | 440 | 840 | 800 | 500 | 840 | 1320 |
| Nitrato | 1,03 | 1,11 | 2,56 | 1,99 | 1,16 | 2,14 | 0,3 | 0,72 | 2,72 | 2,97 | 1,9 | 1,59 |
| Fósforo | 0,1 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 0,5 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,09 |
| Condutividade | 466 | 525 | 542 | 410 | 300 | 521 | 334 | 575 | 518 | 498 | 552 | 341 |
| Clorofila a | 3,64 | 5,46 | 2,73 | 3,64 | 9,1 | 30,03 | 13,65 | 115,57 | 4,6 | 8,19 | 17,29 | 19,11 |

| PONTO 03 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PARÂMETRO | Nov/ 2020 | Dez/ 2020 | Jan/ 2021 | Fev/ 2021 | Mar/ 2021 | Abr/ 2021 | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 28,5 | 27,4 | 26,4 | 25,3 | 26,4 | 26,1 | 26,2 | 28 | 24,9 | 25,3 | 27,9 | 28 |
| OD | - | 5,5 | 5,43 | 4,15 | 6,57 | 4,89 | 5,43 | 4,88 | 6,36 | 5,9 | 5,77 | 6,51 |
| E.coli | 15.531 | 16.275 | 28.970 | 5.200 | 22.820 | 129.970 | 21.870 | 12.460 | 3360 | 2110 | 865 | 5460 |
| pH | 7,47 | 7,19 | 7,31 | 7,51 | 7,51 | 7,51 | 7,48 | 7,61 | 7,54 | 7,46 | 7,54 | 7,52 |
| Turbidez | 59 | 49,75 | 43,25 | 31,67 | 35 | 480,67 | 40,83 | 65,17 | 48,75 | 45,17 | 55 | 64 |
| DBO | 13,45 | 10,2 | 14,75 | 6,78 | 9,33 | 9,6 | 7,43 | 10,18 | 2,68 | 1,93 | 6,05 | 2,6 |
| Sólidos Totais | 340 | 370 | 570 | 680 | 440 | 580 | 580 | 480 | 1500 | 600 | 600 | 660 |
| Nitrato | 1,09 | 0,6 | 2,68 | 4,77 | 0,95 | 4,74 | 0,89 | 0,72 | 0,02 | 0,92 | 0,75 | 0,54 |
| Fósforo | 0,15 | 0,23 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,17 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,11 | 0,09 |
| Condutividade | 531 | 566 | 538 | 450 | 415 | 323 | 456 | 577 | 537 | 534 | 566 | 506 |
| Clorofila a | 5,46 | 10,01 | 5,46 | 0,91 | 2,73 | 8,19 | 8,19 | 19,11 | 10,01 | 13,65 | 24,57 | 9,1 |

| PONTO 04 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PARÂMETRO | Nov/ 2020 | Dez/ 2020 | Jan/ 2021 | Fev/ 2021 | Mar/ 2021 | Abr/ 2021 | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 30,4 | 28 | 27,4 | 25,9 | 26,8 | 26,6 | 27,8 | 28,4 | 25,5 | 26,3 | 28,4 | 28,1 |
| OD | 6,74 | 6,35 | 1,55 | 5,79 | 5,27 | 5,06 | 5,88 | 4,96 | 6,8 | 6,41 | 6,65 | 6,49 |
| E.coli | >120.980 | >120.980 | >120.980 | 61.310 | 24.890 | 92.080 | 48.840 | 104.620 | 38.730 | 141.360 | 34.480 | 77010 |
| pH | 7,5 | 7,57 | 7,54 | 7,54 | 7,63 | 7,53 | 7,44 | 7,66 | 7,54 | 7,36 | 7,9 | 7,64 |
| Turbidez | 17,66 | 26,33 | 20,16 | 12,42 | 19 | 31,75 | 11,75 | 11,92 | 14,58 | 12,42 | 8,83 | 16,08 |
| DBO | 18,88 | 33,15 | 34,28 | 10,88 | 9,55 | 14,3 | 13,03 | 17,57 | 8,69 | 6,8 | 5,88 | 5,18 |
| Sólidos Totais | 280 | 300 | 600 | 430 | 1400 | 460 | 780 | 1400 | 380 | 420 | 420 | 500 |
| Nitrato | 36,33 | 32,29 | 28,09 | 57,32 | 56,63 | 44,66 | 62,05 | 59,27 | 56,27 | 60,35 | 53,19 | 52,97 |
| Fósforo | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,3 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,11 |
| Condutividade | 364 | 357 | 319 | 377 | 411 | 366 | 374 | 366 | 331 | 345 | 344 | 342 |
| Clorofila a | 2,73 | 3,64 | 3,64 | 0 | 2,73 | 10,92 | 3,64 | 5,46 | 0,91 | 9,1 | 1,82 | 10,01 |

| PONTO 05 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PARÂMETRO | Nov/ 2020 | Dez/ 2020 | Jan/ 2021 | Fev/ 2021 | Mar/ 2021 | Abr/ 2021 | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 29,7 | 29,4 | - | 25,8 | 26,3 | 27 | 29,2 | 29,7 | 27,4 | 29,8 | 28,8 | 28,9 |
| OD | 5,75 | 5,81 | - | 4,52 | 5,21 | 4,56 | 5,7 | 4,81 | 5,96 | 5,78 | 6,98 | 7,05 |
| E.coli | 1.968 | 878 | - | 17.329 | >24.196 | 17.250 | 1.414 | 1.872 | 1785 | 420 | 910 | 4106 |
| pH | 7,48 | 7,14 | - | 7,14 | 7,61 | 7,21 | 7,36 | 7,41 | 7,27 | 7,23 | 7,8 | 7,64 |
| Turbidez | 50,83 | 49,92 | - | 39,33 | 57 | 51,83 | 11,58 | 10,83 | 11,42 | 18,33 | 5,67 | 26,92 |
| DBO | 9,18 | 13,7 | - | 7,37 | 6,3 | 8,83 | 6,45 | 7,6 | 4,23 | 4,78 | 3,95 | 4,95 |
| Sólidos Totais | 200 | 300 | - | 390 | 400 | 540 | 680 | 840 | 460 | 440 | 460 | 480 |
| Nitrato | 1,05 | 0,46 | - | 5,24 | 2,97 | 2,21 | 0,21 | 0,35 | 0,15 | 0,53 | 0,42 | 0,58 |
| Fósforo | 0,04 | 0,18 | - | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,34 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| Condutividade | 392 | 388 | - | 356 | 275 | 319 | 338 | 369 | 392 | 379 | 382 | 396 |
| Clorofila a | 0,91 | 0,91 | - | 0 | 0,91 | 8,19 | 7,28 | 0,91 | 4,6 | 11,83 | 0 | 4,55 |

| PONTO 6 | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PARÂMETRO | Mai/ 2021 | Jun/ 2021 | Jul/ 2021 | Ago/ 2021 | Set/ 2021 | Out/ 2021 |
| Temperatura | 28,3 | - | 26,8 | 27,6 | 29 | 29,8 |
| OD | 7,91 | - | 7,67 | 7,85 | 6,17 | 6,61 |
| E.coli | 3.076 | - | 2143 | 594 | 3.448 | 1553 |
| pH | 7,25 | - | 7,47 | 7,39 | 7,7 | 7,39 |
| Turbidez | 8,33 | - | 8,92 | 6,08 | 6,83 | 8,08 |
| DBO | 9,28 | - | 12,94 | 5,85 | 2,65 | 2,6 |
| Sólidos Totais | 1500 | - | 540 | 400 | 420 | 860 |
| Nitrato | 0,11 | - | 0,35 | 0,47 | 0,46 | 0,27 |
| Fósforo | 0,17 | - | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Condutividade | 348 | - | 382 | 364 | 352 | 346 |
| Clorofila a | 2,73 | - | 4,6 | 13,65 | 34,58 | 10,01 |

APÊNDICE C: Tabela de resultados dos IET dos pontos de monitoramento.

| Pontos | Mês | IET | IET Fósforo | IET | Estado |
|--------|--------|--------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|
| | | Clorofia-a ($\mu\text{g/L}$) | Total (mg/L) | Médio | Trófico |
| P1 | Nov/20 | 59,88 | 24,15 | 42,02 | Ultraoligotrófico |
| | Dez/20 | 60,54 | 27,71 | 44,12 | Ultraoligotrófico |
| | Jan/21 | 60,54 | 21,05 | 40,80 | Ultraoligotrófico |
| | Fev/21 | 62,53 | 28,93 | 45,73 | Ultraoligotrófico |
| | Mar/21 | 57,14 | 27,71 | 42,42 | Ultraoligotrófico |
| | Abr/21 | 70,58 | 30,80 | 50,69 | Oligotrófico |
| | Mai/21 | 73,12 | 21,05 | 47,09 | Oligotrófico |
| | Jun/21 | 78,23 | 22,80 | 50,51 | Oligotrófico |
| | Jul/21 | 61,63 | 18,60 | 40,11 | Ultraoligotrófico |
| | Ago/21 | 70,42 | 24,15 | 47,28 | Oligotrófico |
| | Set/21 | 75,62 | 18,60 | 47,11 | Oligotrófico |
| Out/21 | 73,57 | 21,05 | 47,31 | Oligotrófico | |
| P2 | Nov/20 | 78,18 | 43,84 | 61,01 | Eutrófico |
| | Dez/20 | 81,69 | 44,34 | 63,01 | Supereutrófico |
| | Jan/21 | 75,69 | 41,19 | 58,44 | Mesotrófico |
| | Fev/21 | 78,18 | 40,24 | 59,21 | Eutrófico |
| | Mar/21 | 86,12 | 42,68 | 64,40 | Supereutrófico |
| | Abr/21 | 96,45 | 35,48 | 65,97 | Supereutrófico |
| | Mai/21 | 89,62 | 52,20 | 70,91 | Hipereutrófico |
| | Jun/21 | 108,12 | 39,08 | 73,60 | Hipereutrófico |
| | Jul/21 | 80,12 | 37,59 | 58,85 | Mesotrófico |
| | Ago/21 | 85,20 | 35,48 | 60,34 | Eutrófico |
| | Set/21 | 91,67 | 35,48 | 63,58 | Supereutrófico |
| Out/21 | 92,54 | 43,29 | 67,92 | Hipereutrófico | |
| P3 | Nov/20 | 59,13 | 30,80 | 44,97 | Ultraoligotrófico |
| | Dez/20 | 62,10 | 33,39 | 47,75 | Oligotrófico |
| | Jan/21 | 59,13 | 25,25 | 42,19 | Ultraoligotrófico |
| | Fev/21 | 50,34 | 24,15 | 37,24 | Ultraoligotrófico |
| | Mar/21 | 55,73 | 24,15 | 39,94 | Ultraoligotrófico |
| | Abr/21 | 61,12 | 24,15 | 42,63 | Ultraoligotrófico |
| | Mai/21 | 61,12 | 31,56 | 46,34 | Ultraoligotrófico |
| | Jun/21 | 65,27 | 26,19 | 45,73 | Ultraoligotrófico |
| | Jul/21 | 62,10 | 26,19 | 44,14 | Ultraoligotrófico |
| | Ago/21 | 63,62 | 25,25 | 44,44 | Ultraoligotrófico |

| | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|-------|-------|-------------------|
| | Set/21 | 66,50 | 28,93 | 47,71 | Oligotrófico |
| | Out/21 | 61,63 | 27,71 | 44,67 | Ultraoligotrófico |
| P4 | Nov/20 | 75,69 | 45,20 | 60,45 | Eutrófico |
| | Dez/20 | 78,18 | 45,95 | 62,07 | Eutrófico |
| | Jan/21 | 78,18 | 45,95 | 62,07 | Eutrófico |
| | Fev/21 | * | 40,24 | * | Ultraoligotrófico |
| | Mar/21 | 75,69 | 41,99 | 58,84 | Mesotrófico |
| | Abr/21 | 87,69 | 40,24 | 63,97 | Supereutrófico |
| | Mai/21 | 78,18 | 49,55 | 63,87 | Supereutrófico |
| | Jun/21 | 81,69 | 43,29 | 62,49 | Eutrófico |
| | Jul/21 | 66,18 | 42,68 | 54,43 | Mesotrófico |
| | Ago/21 | 86,12 | 42,68 | 64,40 | Supereutrófico |
| | Set/21 | 72,18 | 43,29 | 57,74 | Mesotrófico |
| | Out/21 | 86,94 | 44,34 | 65,64 | Supereutrófico |
| | P5 | Nov/20 | 50,34 | 22,80 | 36,57 |
| Dez/20 | | 50,34 | 31,91 | 41,12 | Ultraoligotrófico |
| Jan/21 | | | | | |
| Fev/21 | | * | 24,15 | * | Ultraoligotrófico |
| Mar/21 | | 50,34 | 24,15 | 37,24 | Ultraoligotrófico |
| Abr/21 | | 61,12 | 21,05 | 41,08 | Ultraoligotrófico |
| Mai/21 | | 60,54 | 35,76 | 48,15 | Oligotrófico |
| Jun/21 | | 50,34 | 22,80 | 36,57 | Ultraoligotrófico |
| Jul/21 | | 58,23 | 24,15 | 41,19 | Ultraoligotrófico |
| Ago/21 | | 62,92 | 22,80 | 42,86 | Ultraoligotrófico |
| | Set/21 | * | 21,05 | * | Ultraoligotrófico |
| | Out/21 | 80,12 | 24,15 | 52,13 | Mesotrófico |
| P6 | Nov/20 | | | | |
| | Dez/20 | | | | |
| | Jan/21 | | | | |
| | Fev/21 | | | | |
| | Mar/21 | | | | |
| | Abr/21 | | | | |
| | Mai/21 | 55,73 | 31,56 | 43,64 | Ultraoligotrófico |
| | Jun/21 | | | | |
| | Jul/21 | 58,23 | 22,80 | 40,51 | Ultraoligotrófico |
| | Ago/21 | 63,62 | 18,60 | 41,11 | Ultraoligotrófico |
| | Set/21 | 68,18 | 18,60 | 43,39 | Ultraoligotrófico |
| | Out/21 | 62,10 | 14,40 | 38,25 | Ultraoligotrófico |

*clorofila-a foi igual a zero.