

JEFERSON MAIKO DE ALMEIDA

**Determinação do Grau de Trofia no Baixo Tietê, região de
Araçatuba, SP, por meio da comparação de dois diferentes
Índices de Estado Trófico**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia - UNESP –
Campus de Ilha Solteira, como requisito para
obtenção do título de mestre em Engenharia
Civil. Área de Conhecimento: Recursos
Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Prof. Dr. Sérgio Luis de Carvalho
Orientador

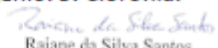
FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A447d Almeida, Jeferson Maiko de.
Determinação do grau de trofia no Baixo Tietê, região de Araçatuba, SP, por meio da comparação de dois diferentes índices de estado trófico / Jeferson Maiko de Almeida. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
58 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2020

Orientador: Sérgio Luis de Carvalho
Inclui bibliografia

1. Eutrofização. 2. Qualidade hídrica. 3. Fósforo. 4. Nitrogênio. 5. Clorofila.

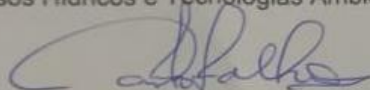

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Serviço
Serviço Técnico de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB3 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

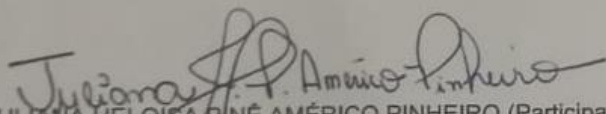
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Determinação do Grau de Trofia no Baixo Tietê por meio da comparação de dois diferentes Índices de Estado Trófico

AUTOR: JEFERSON MAIKO DE ALMEIDA **ORIENTADOR:** SERGIO LUIS DE CARVALHO

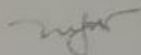
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO LUIS DE CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP



Dra. JULIANA HELOISA PINÉ AMÉRICO PINHEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP



Prof.ª, Dr.ª. MARIA JOSÉ ALENCAR VILELA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências Naturais / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Ilha Solteira, 29 de janeiro de 2021

Dedico esse trabalho à minha esposa
Camila e minhas filhas Gabrielly e
Isabelly, pois são a razão do meu viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todos os livramentos e por Ele ser sempre a luz que me ilumina nas horas mais difíceis.

Ao meu orientador Professor Sérgio Luis de Carvalho, por todos os ensinamentos e suporte prestado na realização deste trabalho, sobretudo pela confiança em mim depositada.

Às professoras Dr.^a Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro e Dr.^a Denise Gallo Pizella por terem aceitado participar do Exame Geral de Qualificação e pelas contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

À Professora Dr.^a Natália Felix Negreiros, por ceder instrumentos necessários para a realização deste trabalho.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação que tive contato, pelo convívio, troca de experiências, momentos de descontração e colaboração.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP) que encontrei neste período de estudos.

Aos amigos Amanda e Léo, pela amizade e por auxiliar na execução deste trabalho.

A toda minha família, por me apoiarem nesta etapa tão especial, dando as forças necessárias para conquistar os objetivos.

A todos que ajudaram direta ou indiretamente essa pesquisa.

“Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

Steve Jobs

RESUMO

Este trabalho trata de um estudo realizado no baixo rio Tietê, localizado no Oeste Paulista, inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 19, município de Araçatuba, com o objetivo de obter o grau de trofia da água por meio do cálculo do índice de estado trófico (IET). Foram previamente estabelecidos dois pontos de coletas, que contemplavam o ponto de captação de água para a Estação de Tratamento de Água Tietê em Araçatuba/SP e um segundo ponto a aproximadamente 1km do ponto de captação da mesma estação, próximo à praia municipal. As amostras foram coletadas na superfície, em meia água e a aproximadamente 1m acima do fundo, nos meses de maio, junho, outubro e novembro de 2020, totalizando quatro coletas. As amostras foram encaminhadas ao laboratório para determinação de clorofila-a, concentração do fósforo total e concentração do ortofosfato; transparência da água foi determinada no local da coleta por meio do disco de Secchi. Após a determinação dos parâmetros foram estabelecidos os índices do estado trófico (IET), utilizando-se os métodos de Carlson modificado por Toledo Jr e de Lamparelli. Os resultados obtidos demonstram que os pontos estudados se encontravam predominantemente em estado eutrófico; em alguns pontos de superfície a classificação trófica foi determinada como mesotrófica. Esta condição infere sobre os riscos de degradação do ambiente, em suas aplicações nos seus usos múltiplos, bem como a saúde ambiental. O estudo permitiu observar que os dois métodos aplicados para determinação do índice de estado trófico obtiveram resultados muito semelhantes, não sendo possível avaliar um método como mais eficiente do que o outro. Sendo assim, a utilização do IET é uma forma interessante de avaliar a qualidade de corpos hídricos, facilitando a interpretação e divulgação dos resultados obtidos e, quando aplicado a corpos aquáticos de uma mesma região, permite a rápida avaliação comparativa do estado trófico dos mesmos.

Palavras-chave: Eutrofização. Qualidade Hídrica. Fósforo. Nitrogênio. Clorofila.

ABSTRACT

This work deals with a study carried out in the lower Tietê River, located in the West of São Paulo, inserted in the Water Resources Management Unit (UGRHI) 19, a municipality of Araçatuba, with the objective of obtaining the degree of water treble by calculating the trophic state index (TeE). Two collection points were previously established, which included the water collection point for the Tietê Water Treatment Station in Araçatuba/SP and a second point approximately 1 km from the capture point of the same station, near the municipal beach. The samples were collected on the surface, in half water and approximately 1 m above the bottom, in the months of May, June, October, and November 2020, totaling four collections. The samples were sent to the laboratory for chlorophyll-a determination, total phosphorus concentration, and orthophosphate concentration; transparency of water was determined at the collection site using the Secchi disc. After the determination of the parameters, the trophic state indexes (TSI) were established, using the Carlson methods modified by Toledo Jr and Lamparelli. The results obtained show that the studied points were predominantly in a eutrophic state; at some surface points, the trophic classification was determined as mesotrophic. This condition infers about the risks of environmental degradation, in its applications in its multiple uses, as well as environmental health. The study allowed us to observe that the two methods applied to determine the trophic state index obtained very similar results, and it was not possible to evaluate one method as more efficient than the other. Thus, the use of The EIT is an interesting way to evaluate the quality of water bodies, facilitating the interpretation and dissemination of the results obtained and, when applied to aquatic bodies of the same region, allows the rapid comparative evaluation of their trophic state.

Keywords: Eutrophication. Water quality. Phosphorus. Nitrogen. Chlorophyll.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da UGRHI 19 no Estado de São Paulo.....	17
Figura 2- Mapa da UGRHI 19.....	18
Figura 3- Evolução do processo de eutrofização em um lago ou represa.....	21
Figura 4- Subdivisão de Regiões da UGRHI 19.....	26
Figura 5- Pontos de captação de amostras.....	28
Figura 6- Ponto de captação de amostra P1.....	28
Figura 7- Valores obtidos de fósforo total nas coletas do estudo.....	32
Figura 8- Valores médio de fósforo total.....	33
Figura 9- Valores obtidos de ortofosfato nas coletas do estudo.....	36
Figura 10- Valores médios de ortofosfato.....	37
Figura 11- Valores obtidos de clorofila-a nas coletas do estudo.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Descrição dos pontos de coleta no Rio Tietê.....	27
Quadro 2- Critérios de Classificação adotados pelos Índices de Estado Trófico de Toledo Jr. <i>et al.</i> (1983) e Lamparelli (2004).....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores de temperatura média e pluviosidade para o período de estudo.....	31
Tabela 2- Valores de Temperatura Média e Pluviosidade para os dias de coleta.....	31
Tabela 3- Classificação do Fósforo por meio do Índice de Toledo Jr <i>et al</i> (1983).....	34
Tabela 4- Classificação do Fósforo por meio do Índice de Lamparelli (2004).....	35
Tabela 5- Classificação do ortofosfato por meio do Índice de Toledo Jr <i>et al</i> (1983).....	38
Tabela 6- Valores médio de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) para cada ponto de coleta e Profundidade.....	40
Tabela 7- Classificação da clorofila-a por meio de Lamparelli (2004).....	41
Tabela 8- Valores de transparência obtidos nas coletas realizadas.....	42
Tabela 9- Classificação do IET da transparência por meio do Índice de Toledo Jr <i>et al</i> (1983).....	43
Tabela 10- Classificação do IETm por meio do Índice de Toledo Jr <i>et al</i> (1983).....	44
Tabela 11- Classificação do IETm por meio do Índice de Lamparelli (2004).....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1	RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS	17
4.2	QUALIDADE DA ÁGUA	18
4.3	UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (UGRHI)	18
4.4	UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS 19	19
4.5	CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA	21
4.6	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA UGRHI 19	22
4.7	EUTROFIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	23
4.8	SURGIMENTO DE MACRÓFITAS EM RESERVATÓRIOS	26
4.9	PARÂMETROS DE QUALIDADE HÍDRICA PARA A DETERMINAÇÃO DE NÍVEL DE TROFIA NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	27
4.9.1	Fósforo	27
4.9.2	Clorofila-a (Chla)	27
4.9.3	Índice de Estado Trófico (IET)	28
4.9.4	Transparência da Água	29
5	MATERIAL E MÉTODOS	30
5.1	ÁREA DE ESTUDO	30
5.2	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	31
5.3	AMOSTRAGEM DA ÁGUA	31
5.4	MÉTODOS DE ANÁLISE DOS ENSAIOS	34
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	36

6.2	FÓSFORO	37
6.3	ORTOFOSFATO	41
6.4	CLOROFILA-A.....	44
6.5	TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA	48
6.6	CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO	49
7	CONCLUSÃO	53
	 REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A água constitui uma grande porção do planeta Terra, sendo o mais crítico e importante elemento para a vida humana e de fundamental importância para todos os seres vivos. É um recurso natural, finito e responsável pelo equilíbrio do meio ambiente. O aumento da população mundial gerou um maior consumo, levando à falta do recurso, sobretudo em regiões com escassez natural de água (MAIA, 2011).

O aproveitamento da água nas diversas atividades humanas, desde o despejo de esgotos até a recreação, traz diversas consequências à qualidade dos corpos hídricos. Como cada atividade que faz uso da água tem seus próprios requisitos de qualidade (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2007), as interferências necessárias variam desde as mais simples até as mais complexas.

O crescimento populacional e o aumento na produção agrícola e industrial nas últimas décadas têm tornado os corpos d'água cada vez mais eutrofizados, problema este ocasionado pelos lançamentos de esgotos domésticos, efluentes líquidos industriais em conjunto ao carreamento de fertilizantes utilizados na agricultura e dejetos provenientes da criação de animais domésticos próximos aos cursos d'água. Devido a eutrofização, as águas apresentam condições que beneficiam a proliferação de macrófitas, algas e cianobactérias (TANGERINO, 2005).

Nos corpos hídricos brasileiros tem-se observado um crescimento de proliferação de plantas aquáticas nas últimas décadas (MARCHI, 2005). A utilização de herbicidas em ambientes aquáticos era restrita até 2015, porém com a resolução nº 467, de 16 de julho de 2015, publicada na DOU nº 137, de 17 de julho de 2015, que dispõe sobre o uso de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA, 2015), tornou-se possível sua utilização.

Segundo Cerveira Júnior (2017), o diquat é um herbicida de potencial para ser utilizado no ambiente aquático visando o controle tanto de plantas submersas como flutuantes, sendo que a meia vida do diquat no ambiente aquático é inferior a 48 horas e é absorvido pelas plantas aquáticas.

Diversos corpos d'água apresentam-se com médio ou elevado grau de trofia no Brasil, problema mais concentrado em áreas urbanas intensamente povoadas ou em bacias hidrográficas com uso e ocupação desordenados do solo, comprometendo a qualidade de água para todos os fins, inclusive para utilização na geração de energia elétrica (INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE- IETC- UNEP 2001).

De acordo com Toledo Junior *et al.* (1983), este é um índice dinâmico, sendo que os lagos podem mudar de classificação ao longo do tempo, tanto para classes de maior trofia, como para classes de menor trofia. Já, segundo Lamparelli (2004) a aplicação de seu método é recomendada para utilizar em reservatórios em geral. Portanto é interessante a comparação entre os índices para verificar suas diferenças.

A determinação do IET permitirá diagnosticar a trofia do trecho analisado do Rio Tietê, possibilitando a avaliação da qualidade da água em relação ao enriquecimento por nutrientes e as possíveis consequências relacionadas às algas e às macrófitas aquáticas.

2 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar o grau de trofia em um trecho do Rio Tietê (UGRHI 19) na cidade de Araçatuba, por meio da comparação entre dois Índices de Estado Trófico, de Toledo Junior *et al.* (1983) e Lamparelli (2004).

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Determinar o grau de trofia pelos métodos de Toledo Junior *et al.* (1983) e Lamparelli (2004);

II. Comparar os graus de trofia com base nos métodos de Toledo Junior *et al.* (1983) e Lamparelli (2004);

III. Analisar se as alterações presentes no corpo d'água estudado estão de acordo com as classificações de trofia estabelecidas pelos Índices utilizados.

3 JUSTIFICATIVA

O Baixo Tietê é caracterizado pelos seus usos múltiplos das águas, como, abastecimento público e industrial, geração de energia elétrica, recepção de efluentes domésticos e irrigação de plantações, tendo como atividades industriais principais as usinas de açúcar e álcool, além de mineração e produção de curtumes (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ - CBH-BT, 2009).

O trecho em análise é de suma importância para a cidade de Araçatuba, pois no mesmo ficam localizadas à praia municipal, que é o local de recreação da cidade, frequentado por banhistas e turistas da região, bem como está presente à adutora que capta água para a estação de tratamento de água (ETA Tietê), que abastece uma boa parcela da população da cidade.

A escolha pontual do estudo na cidade de Araçatuba é devido ao fato de que no começo de 2019 a água do Tietê na cidade começou apresentar coloração esverdeada, dando aspecto desagradável, o que resultou na interdição da praia municipal por alguns meses, até voltar com aspecto visual melhor.

Sendo assim é interessante um estudo para analisar o grau de trofia deste local para verificar os possíveis impactos dos problemas ocorridos e também verificar o estado atual do trecho em análise.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

Os reservatórios artificiais são lagos criados pelo homem para atender finalidades específicas, como geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento d'água ou outro fim (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000). Segundo Tundisi (1999), a construção de reservatórios para diferentes propósitos é uma das intervenções humanas mais antigas e importantes nos sistemas naturais.

Na década de 1970 eles foram construídos para os principais usos, como armazenamento de água, irrigação, pesca, controle de enchentes e produção de energia; na atualidade, necessitam atender usos múltiplos, de acordo com a Lei 9433/97 da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Os reservatórios são um sistema intermediário entre rios e lagos e com isso possuem características diferentes, como a formação de três regiões distintas (lacustre, intermediária e fluvial), que estão relacionadas às características temporal (decorrente de variações climatológicas) e espacial (horizontal, vertical e longitudinal), às características morfométricas e geológica, aos usos da bacia hidrográfica e os mecanismos operacionais da barragem, os quais influenciam diretamente a sua dinâmica (DELELLO, 2008). Apresentam também taxas mais baixas de renovação de água em relação aos rios e mais rápidas em relação aos lagos.

A construção de reservatórios modifica o curso natural dos rios e cria ambientes com propriedades diferentes do ambiente original, provocando mudanças substanciais no sistema, devido ao impacto direto da alteração do fluxo de água, ou efeito indireto da mudança física, que insere condições peculiares ao novo sistema, como o aumento da área superficial, da zona costeira, além da inclusão de áreas adjacentes, ocasionando a constante entrada de materiais no sistema, entre eles os nutrientes, sedimentos, material orgânico, entre outros (PEREIRA, 2003).

Na construção de reservatórios, não há dúvida de que é desejada a compatibilidade entre os mecanismos funcionais do reservatório e os processos de funcionamento ecológico, o que permite que o mesmo seja utilizado e manejado para diversos fins adequadamente e reduzindo os custos de sua operação (TUNDISI, 1988).

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água pode ser definida como o conjunto das características químicas, físicas e biológicas de uma determinada amostra de água. As características a serem consideradas importantes variam dependendo do tipo de uso a que as águas se destinam (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000).

De forma direta, a poluição dos corpos hídricos decorre da incorporação de substâncias que alteram suas características físicas e químicas prejudicando a sua utilização pelos seres humanos (MAIA, 2011).

Têm sido constatados por vários pesquisadores uma diminuição na qualidade dos recursos hídricos em termos globais, principalmente quando há interferência do homem nos mesmos, bem como verificou-se também conflitos proporcionados a seus usos diversos (PRADO, 2002).

Segundo Tundisi (2003), devido às suas diversas finalidades, os usos das águas geram conflitos, pois demandam quantidades e qualidades diferentes.

A poluição doméstica, industrial e agrícola, bem como desequilíbrios ambientais resultantes do desmatamento e do uso indevido do solo nas bacias hidrográficas, tem comprometido grande parte dos recursos hídricos (SETTI, 2000).

Os tipos de alteração na qualidade hídrica de um reservatório não são diferentes daqueles de outras fontes de águas superficiais, porém, as causas e as consequências desta poluição poderão diferir entre reservatórios, rios e lagos (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000).

Esses problemas podem ser classificados de acordo com as fontes e causas de poluição, sendo os principais encontrados: a poluição orgânica, eutrofização, acidificação, alteração da turbidez, salinização (em regiões áridas e semiáridas), grande concentração de nutrientes, entre outros, e podem ser causados principalmente pelas ações antrópicas do lançamento de esgoto doméstico, carreamento de solo com agrotóxicos entre outros (MAIA, 2011).

Em relação ao abastecimento de água, bem como em vários campos da engenharia e das políticas públicas, dificilmente há apenas uma solução para um determinado problema. A implementação de serviços sanitários sempre resulta na melhoria dos indicadores de saúde da população (HELLER; PÁDUA, 2006).

4.3 UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (UGRHI)

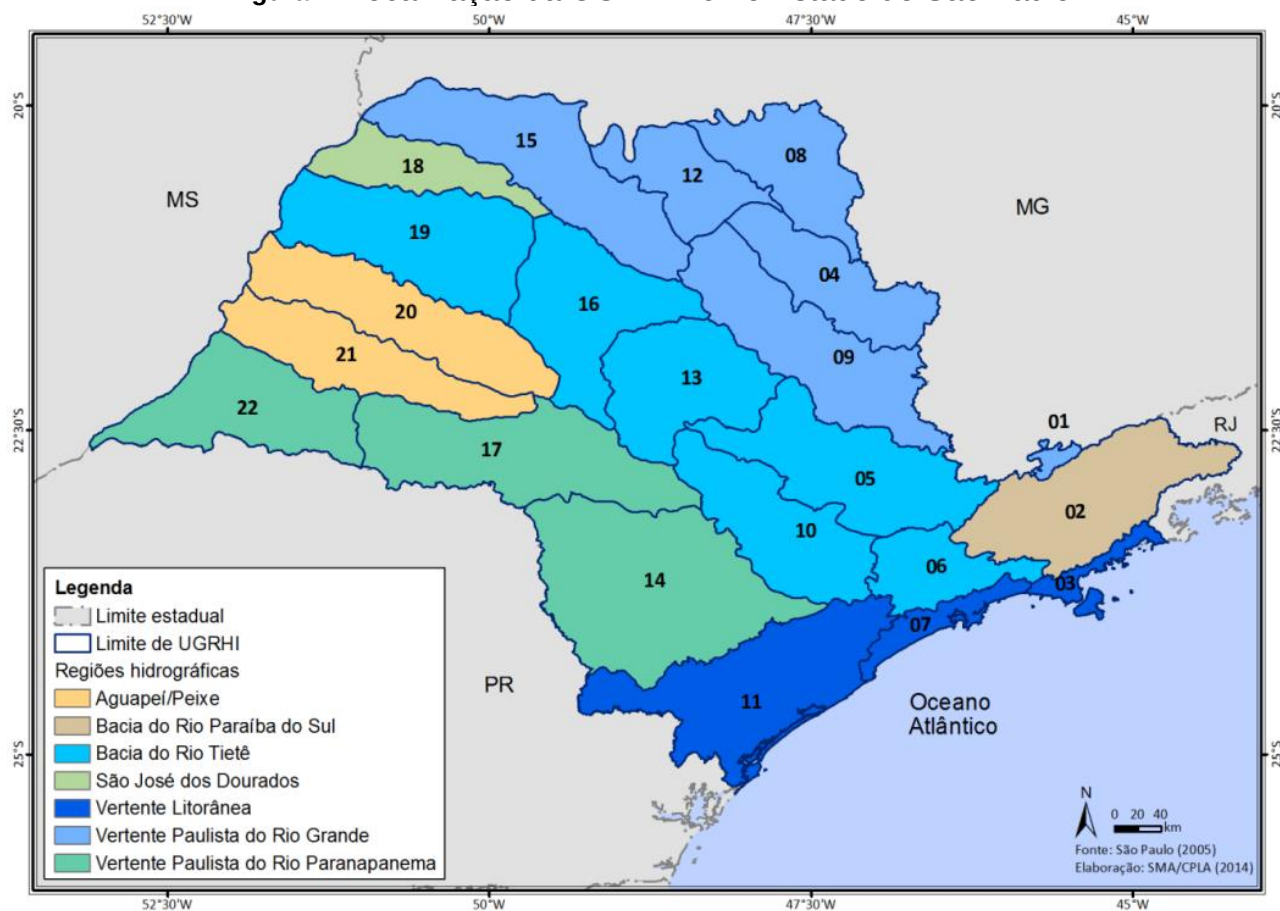
As UGRHIs constituem unidades territoriais com dimensões e características que permitam e justifiquem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos e, em geral, são formadas por partes de bacias hidrográficas ou por um conjunto delas (SÃO PAULO, 2005).

Em 1974 a CETESB iniciou a operação da Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Dessa forma as informações obtidas por meio do monitoramento têm possibilitado o conhecimento das condições de qualidade hídrica nos principais rios e reservatórios situados nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), em que se divide o Estado de São Paulo de acordo com a Lei Estadual n.º 9.034 de 27 de dezembro de 1994. A UGRHI está estruturada no conceito de bacia hidrográfica, onde os tais recursos hídricos convergem para um corpo d'água principal (CETESB, 2001).

4.4 UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS 19

A Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê possui uma área de drenagem de 15.471,81 km², limitando-se a norte e oeste com a UGRHI São José dos Dourados, a leste e sudeste com a UGRHI Tietê Batalha, a sul com as UGRHI Aguapei-Peixe e a oeste com o Rio Paraná. Pertencente a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 19 localizado na região oeste do Estado de São Paulo, é composta por 42 municípios e abriga cerca de 2% da população do estado de São Paulo, onde estima-se que 95% de sua população viva em áreas urbanas (CBH-BT, 2009) figuras 1 e 2.

Figura 1- Localização da UGRHI 19 no Estado de São Paulo

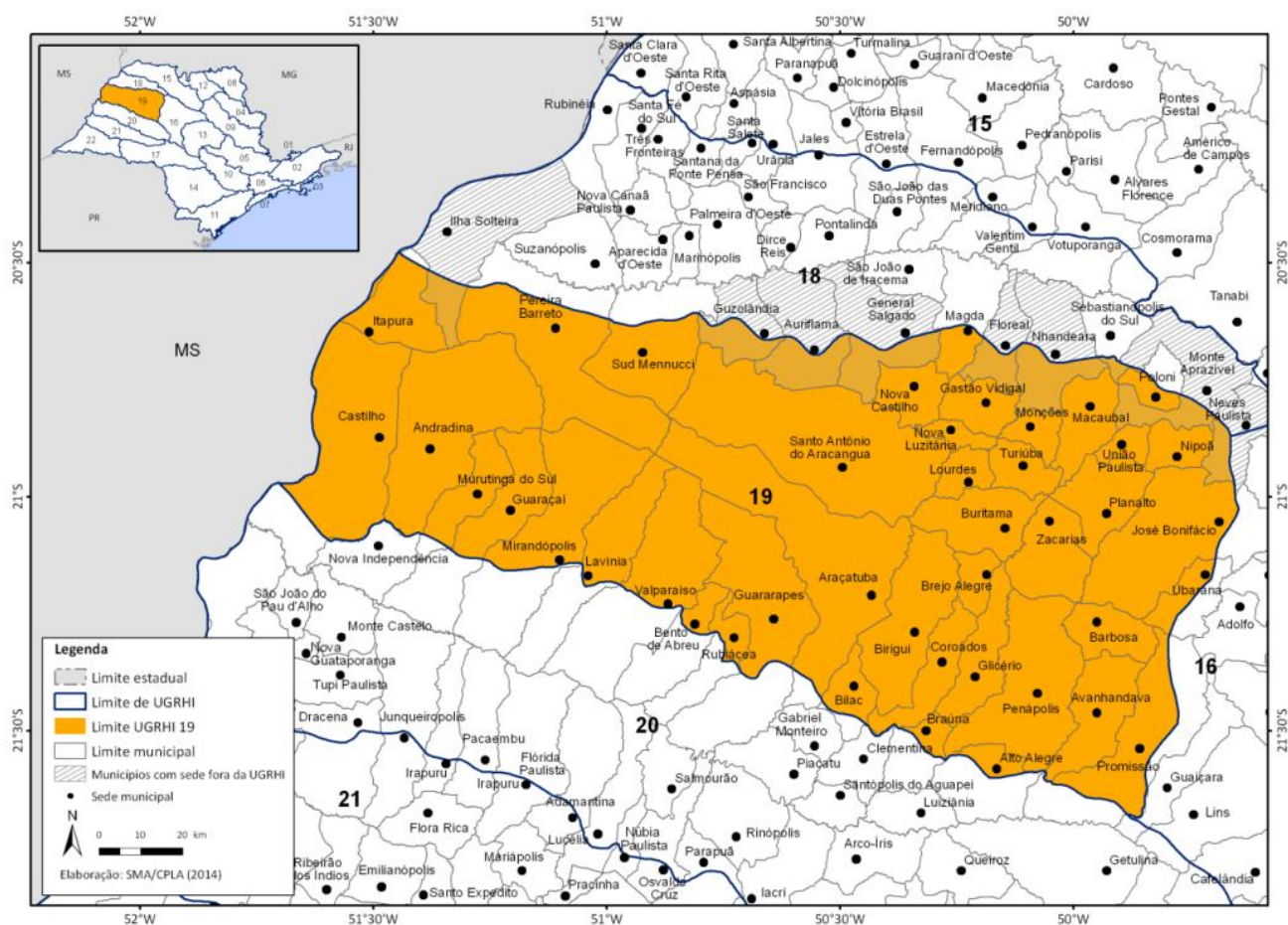


Fonte: São Paulo (2005).

A UGRHI 19, no Baixo Tietê, possui 10 pontos de amostragem pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), de grande importância para o bom monitoramento dos parâmetros de qualidade de água, sendo que em um desses pontos, localizado no Reservatório de Três Irmãos, é feita a captação de água para a cidade de Araçatuba, que segue para tratamento e distribuição à população.

O Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do Baixo Tietê foi instalado em 26/08/1994, em Assembleia realizada em Penápolis, sendo o segundo Comitê a ser criado no Estado de São Paulo, em atenção à demanda da sociedade civil. A região do CBH-BT abrange as hidrelétricas de Nova Avanhandava e Três Irmãos, reunindo grande potencial turístico e disponibilidade hídrica superficial. É servida por rodovias, hidrovias e universalização do saneamento básico para 99,5% da população, com tratamento de 95% dos esgotos gerados (CBH-BT, 2009).

Figura 2- Mapa da UGRHI 19



Fonte: São Paulo (2005).

Quanto a sua disponibilidade hídrica superficial tem uma vazão média de $113\text{m}^3/\text{s}$ e vazão mínima de $27\text{m}^3/\text{s}$ (CBH-BT, 2016).

4.5 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

A UGRHI 19 ocupa a 5ª colocação entre as UGRHIs em termos de extensão territorial no estado de São Paulo, porém apresenta uma população equivalente a apenas 1,81 % da população do estado e uma densidade demográfica, em 2015, de $42,00\text{ hab./km}^2$, número este inferior à densidade demográfica do estado, de $173,40\text{ hab./km}^2$. Há exceção nas duas maiores cidades da região, Araçatuba e Birigui, que apresentam densidade demográfica de 159,8 e $217,9\text{ hab./km}^2$, respectivamente (CBH-BT, 2016).

Esse fato ocorre pois 75% dos municípios pertencentes à região tem população inferior a 20.000 habitantes, sendo que cinco municípios mais populosos, Araçatuba, Birigui, Penápolis, Andradina e Promissão, representam 58% da

população da UGRHI 19. Além disso, a taxa geométrica de crescimento anual teve uma pequena queda em relação a 2011, passando de 0,96% para 0,83% em 2014, e, 0,81% em 2015 (CBH-BT, 2016).

Dos municípios pertencentes a UGRHI 19, 41 apresentaram IDH entre 0,7 e 0,8, considerado um médio padrão de desenvolvimento humano, e a exceção é o município de Barbosa com IDH inferior a 0,70; nenhum município apresentou IDH acima de 0,8, ou seja com alto grau de desenvolvimento humano (CBH-BT, 2016).

Os municípios com indicadores sociais que apontam para níveis mais baixos de bem-estar social são também aqueles que apresentam maior incidência de doenças relacionadas com a água (MAIA, 2011).

4.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA UGRHI 19

O uso do solo é o conjunto das atividades, processos individuais de produção e reprodução de uma sociedade sobre uma aglomeração urbana, assentados sobre localizações individualizadas, combinadas com seus padrões ou tipos de assentamento, do ponto de vista da regulação espacial. Pode se dizer que o uso do solo é o rebatimento da reprodução social no plano do espaço urbano, é uma combinação de um tipo de uso, a atividade, e de um tipo de assentamento, qual seja a edificação (MAIA; CARVALHO, 2015).

Os usos rurais e urbanos apresentam entre si diferenças significativas tanto no porte das unidades fundiárias rurais e dos equipamentos urbanos que os abrigam quanto nos padrões tecnológicos adotados e nas relações entre fatores sociais e econômicos envolvidos, assim como na relação de tais fatores com o ambiente. Tais diferenças se expressam em problemas e tendências específicas a reclamarem ações mitigadoras ou corretivas, de acordo com os requisitos da sustentabilidade socioambiental (PNMA II, 2001).

As leis para o uso e ocupação do solo são fundamentais para a vida urbana e rural, por normatizar as construções e definir o que pode ser feito em cada área particular no meio urbano e rural, o que interfere na organização do município e em sua economia. Mas, em geral, trata-se de um conjunto de dispositivos de difícil compreensão para grande parte dos cidadãos, por excesso de detalhes e termos técnicos. O grande nível de detalhe dificulta também a fiscalização pelo poder

público, deixando a maioria das cidades em situação irregular (MAIA; CARVALHO, 2015).

O uso e ocupação da UGRHI 19 é baseada na agropecuária. Tendo sido considerada, no passado, o principal centro estadual de comercialização de bovinos, as áreas de pastagens correspondem a grande parte da ocupação do solo da bacia, juntamente com as áreas de plantio de cana-de-açúcar que vem se expandindo na região. Atualmente, o principal uso do solo continua sendo para o desenvolvimento da pecuária, com áreas de pastagens ocupando aproximadamente 60% do território da UGRHI 19, seguida pelas culturas temporárias, ou seja, culturas de pequenos ciclos, em 21,80% do território, baseada principalmente na cultura de cana de açúcar. A vegetação natural, remanescente de mata atlântica, representava em 2005, 4,20% do território da bacia, distribuída de forma fragmentada (CBH-BT, 2016).

4.7 EUTROFIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

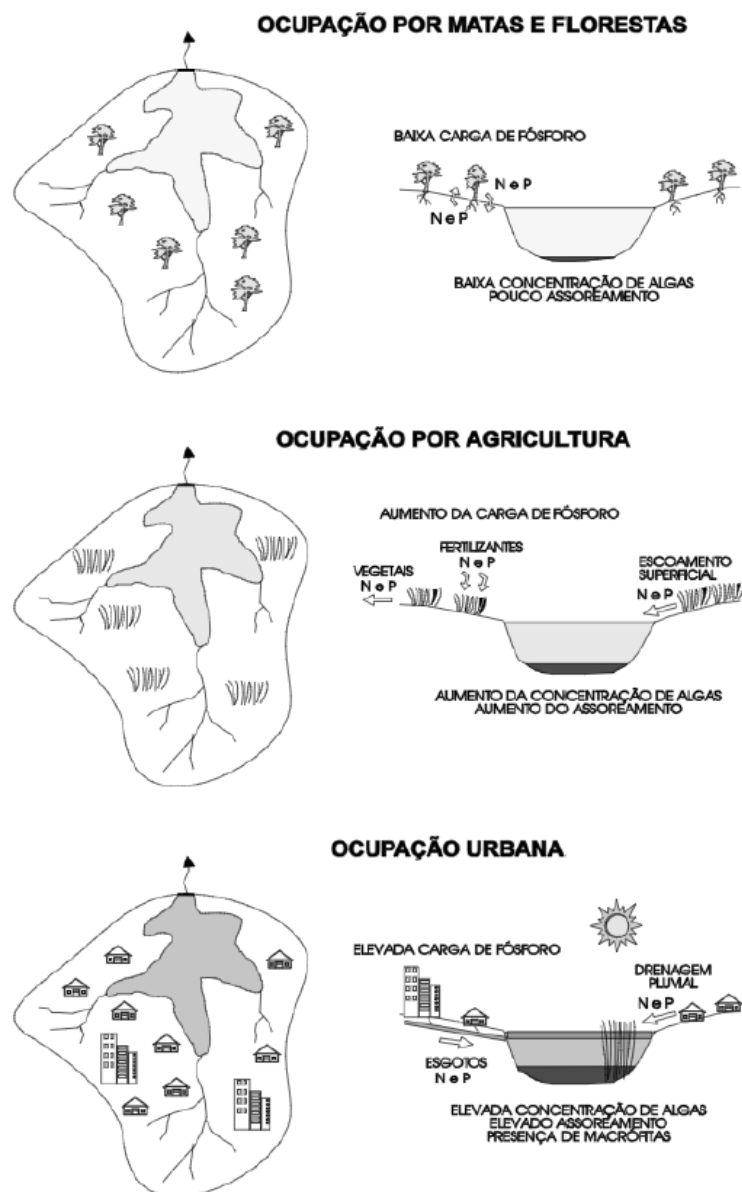
A eutrofização, de modo geral, é caracterizada pelo aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, que resulta em um aumento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e das regiões cultiváveis. Esse processo está relacionado com o ciclo da matéria orgânica, aumento da biomassa de algas, macrófitas aquáticas e acúmulo de sedimentos. (BARBOSA, 2009).

A eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água incluindo a redução de oxigênio dissolvido, da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Essas florações podem provocar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento e consequências relacionadas à saúde pública, podendo gerar danos ao fígado, sistema nervoso e epiderme. (AZEVEDO; BRANDÃO, 2003).

Efeitos indesejáveis podem ocorrer devido a eutrofização, tais como, problemas estéticos e recreacionais, reduzindo o uso da água para tal fim como,

balneabilidade e diminuição geral na atração turística, há alterações nas condições anaeróbias do fundo do corpo d'água, já que o aumento da produtividade do corpo d'água causa uma elevação da concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo oxigênio dissolvido do meio líquido, eventuais mortalidades de peixes, maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, problemas com o abastecimento de águas industriais, toxicidade das algas, redução na navegabilidade e capacidade de transporte e em casos extremos, o desaparecimento gradual do meio biótico como um todo como é possível observar na Figura 3 que apresenta o processo de eutrofização que se dá em um lago ou reservatório hídrico (Von SPERLING, 1996).

Figura 3- Evolução do processo de eutrofização em um lago ou represa



Fonte: Von Sperling (1996).

Segundo Von Sperling (1996), pode-se caracterizar o estágio de eutrofização em que se encontra um corpo d'água, possibilitando a tomada de medidas preventivas e /ou corretivas, com a importância de se adotar um sistema classificatório básico, seguindo níveis de trofia: oligotrófico, para lagos claros e com baixa produtividade, mesotrófico, para lagos com produtividade intermediária e eutrófico, para lagos com elevada produtividade, comparada ao nível natural básico.

4.8 SURGIMENTO DE MACRÓFITAS EM RESERVATÓRIOS

A erosão da camada fértil de solos agrícolas e a grande quantidade de descarga de efluentes residenciais e industriais têm levado rios e reservatórios, naturais ou artificiais, a uma condição de desequilíbrio, tendo como característica a grande disponibilidade de nutrientes na coluna d'água e no sedimento. Isso interfere na qualidade da água, pois essa grande disponibilidade de nutrientes pode levar ao crescimento desordenado de populações de plantas aquáticas (VELINI *et al.*, 2005).

Considerando as macrófitas aquáticas submersas existentes no Brasil, a planta de maior expressão em reservatórios de geração de energia e represas rurais é a *Egeria densa*. Os prejuízos causados pelo crescimento maciço dessas plantas incluem favorecimento para procriação de vetores de doenças, impedimento à navegação e pesca e interferência em atividades de lazer das comunidades que vivem próximas a esses recursos hídricos, além dos danos causados ao processo de geração de energia das hidrelétricas (MARTINS *et al.*, 2003).

Nos reservatórios brasileiros vem se observando nas últimas décadas uma alteração visual específica por meio do aparecimento de um grande número de macrófitas, principalmente a *Egeria densa*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*. Essas macrófitas afetam a composição química da água por meio da fotossíntese e secreção celular, proporcionam substrato para organismos consumidores e decompositores, além de desempenhar importante papel na reciclagem de nutrientes, circulação da água e a estabilização dos sedimentos e tais macrófitas também atuam como filtros acumuladores de materiais e contribuem para a produção de detritos (MAIA, 2011).

Barko e Smart (1980) comprovaram a capacidade de *E. densa* de obter sua nutrição em fósforo exclusivamente dos sedimentos, observando que, na natureza, a perda de biomassa das macrófitas submersas ocorre continuamente e provê uma fonte persistente e potencialmente importante de fósforo derivado do sedimento para outros componentes dos sistemas aquáticos. Os autores demonstram que a liberação de fósforo pelos tecidos em decomposição destas espécies, pode ser rápida e quantitativamente relevante.

4.9 PARÂMETROS DE QUALIDADE HÍDRICA PARA A DETERMINAÇÃO DE NÍVEL DE TROFIA NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

4.9.1 Fósforo

O fósforo pode ser encontrado nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como as derivadas de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais que se combinam com cátions, formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais (CETESB, 2008).

De acordo com Von Sperling (1996), o fósforo não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento, sendo elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos. Pode ter origem natural, sendo proveniente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica, e origem antropogênica, quando proveniente de despejos domésticos, despejo industrial, detergentes, excrementos de animais, inseticidas e pesticidas. Para águas de classe 2, o CONAMA por meio da resolução 357/2005 fixa a quantidade de fosfato total em até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e, até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

4.9.2 Clorofila-a (Chla)

A clorofila é um pigmento de cor verde, encontrado em plantas, que possui a função de absorver a luz para a realização da fotossíntese, com a clorofila-a sendo o pigmento mais importante, pois dá início a fotossíntese. Já os demais pigmentos são considerados acessórios, pois apenas capturam os fótons e transferem para a clorofila-a. Esta representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal. Assim, a clorofila-a é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (MAIA, 2011).

Quando há um aumento na concentração de pigmentos na água, ocorre uma diminuição constante da energia refletida pela mesma. Sendo assim, águas com altas concentrações de pigmentos tendem a apresentar a cor verde.

4.9.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) pode ser calculado para determinar o grau de trofia existente em um determinado ecossistema que recebe entradas externas de nutrientes, como esgoto doméstico, resíduos industriais e agrícolas, e características específicas de cada reservatório como vazão, regime hidrológico e tempo de retenção, que servem de base para um bom planejamento de controle da eutrofização e uso do corpo hídrico (MAIA *et al.*, 2015).

O IET de Carlson (1977) permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo aquático e abrange apenas três parâmetros, a transparência da água, a clorofila-a e a concentração do fósforo total. Segundo Von Sperling (1994) este método consegue de uma forma simples analisar um conceito que é multidimensional e que envolve critérios de oxigenação, transparência, nutrientes eutrofizantes, biomassa, composição e concentração de fito e zooplâncton, entre outros dados.

O IET também tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2009).

Após determinado o IET de uma ou várias bacias hidrográficas, é possível analisar o impacto das atividades humanas nesses locais, podendo-se assim fazer seu planejamento, o controle de eutrofização e a definição de usos das águas nestas bacias.

Toledo Jr *et al.* (1983) propuseram modificações na formulação matemática do IET de CARLSON (1977), visando adaptá-lo às condições climáticas de ambientes tropicais.

Já em 2004, Lamparelli desenvolveu um índice para aplicação específica em reservatórios em geral. Sendo assim, é interessante uma comparação entre os índices para saber suas diferenças de utilizações (PEREIRA *et al.*, 2009).

São utilizados quatro parâmetros para a determinação do grau de trofia pelo cálculo do IET de Toledo Junior *et al.* (1983): clorofila-a, fósforo total, ortofosfato e transparência da água. No cálculo de Lamparelli, apenas dois destes parâmetros são utilizados, a clorofila-a e fósforo total, já que os valores de transparência muitas vezes podem não ser representativos para o estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

4.9.4 Transparência da Água

A transparência da água pode ser determinada por meio de teste com o disco de Secchi, um disco circular branco ou com setores brancos e pretos preso a um cabo graduado, que é imerso na água até atingir a profundidade em que não seja mais visualizado. Essa profundidade na qual o disco desaparece, e logo reaparece, é a profundidade de transparência. Com o valor encontrado com o disco de Secchi, é possível estimar a profundidade da zona fótica, ou seja, mede a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna d'água. Na zona fótica ocorre a fotossíntese, indicando o nível da atividade biológica de lagos ou reservatórios (CETESB, 2008).

A claridade da água é afetada por dois fatores importantes, a presença de algas no meio e os materiais em suspensão. No meio que apresenta uma grande quantidade de nutrientes, as algas multiplicam-se bastante, consequentemente há diminuição da transparência da água. Da mesma forma, quando há maior concentração de materiais em suspensão, maior será a turbidez, que levará o meio a apresentar menor transparência. Sendo assim, por meio da leitura do disco de Secchi pode-se estimar uma profundidade na qual o oxigênio dissolvido pode manter os peixes e outros organismos aquáticos presentes (CETESB, 2008).

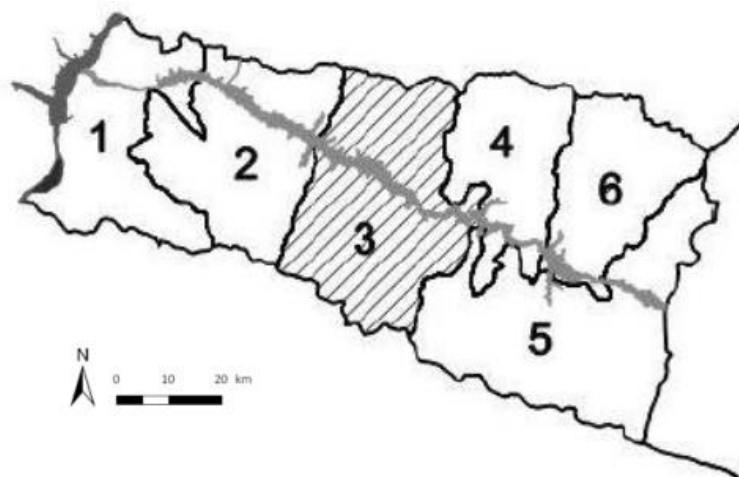
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho foi delimitada uma área de estudo no município de Araçatuba (SP), pertencente a UGRHI 19, na sub-bacia do Córrego das Éguas. Sendo possível analisar a qualidade da água do local após a realização dos ensaios. Além disso é uma área de grande relevância na cidade pois na mesma está localizado um ponto de captação de água para abastecimento público e também está presente a praia municipal, onde é frequentado por muitos moradores da cidade e região.

Araçatuba é o único município pertencente a esta sub-bacia, sendo que apresenta alta taxa de densidade demográfica. Do ponto de vista econômico tem-se como principais fontes de renda os setores primários, sendo base da economia regional a agropecuária, com destaque para a comercialização de bovinos. Configura-se como fronteira de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no estado. Na agroindústria destacam-se indústrias sucroalcooleiras, frigoríficas, calçadista, de massas, de polpas de frutas, de processamento de leite em pó, de curtimento de couro, de desidratação de ovos, entre outras. Os usos da água estão destinados para abastecimento público, irrigação de plantações e para as principais atividades industriais, como o setor sucroalcooleiro, frigoríficos e laticínios. No entanto, o uso rural é o que demanda maior vazão, na faixa dos 46%, indicando a existência da vocação para o setor agrícola (CBH, 2016). A figura 4 mostra a subdivisão territorial da UGRHI 19 bem como as sub-bacias pertencentes a subdivisão 3.

Figura 4- Subdivisão de Regiões da UGRHI 19



Fonte: CBH-BT (2009).

5.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

No Estado de São Paulo a distribuição das chuvas está relacionada ao domínio das massas tropicais e polares, com correntes sul e leste, de acordo com o relevo e proximidade do mar. O período chuvoso se concentra de outubro a março, sendo abril a setembro o período de menor pluviosidade (MAIA, 2011).

A UGRHI 19 é caracterizada como sendo de clima quente e úmido, com inverno seco. Apresenta um índice pluviométrico com valores que variam em torno de 1.100 a 1.300 mm/ano, com os maiores valores registrados na região de Andradina, pela influência do rio Paraná e, os menores, na parte norte da bacia (CBH-BT, 2009).

Como o clima interfere diretamente nas atividades humanas, certamente as ações antrópicas inadequadas também provocam alterações nas condições climáticas, consequentemente interfere no ciclo hidrológico e na quantidade e qualidade da água superficial, podendo ocorrer por meio de desmatamentos, queimadas, urbanização, industrialização, uso e ocupação do solo incorretos, desencadeamento de processos erosivos, carreamento de defensivos, assoreamento e eutrofização dos corpos d'água (MAIA, 2011).

5.3 AMOSTRAGEM DA ÁGUA

As coletas da água foram realizadas pela manhã nos meses de maio e junho (período de seca) e outubro e novembro (período chuvoso) de 2020, em 2 pontos

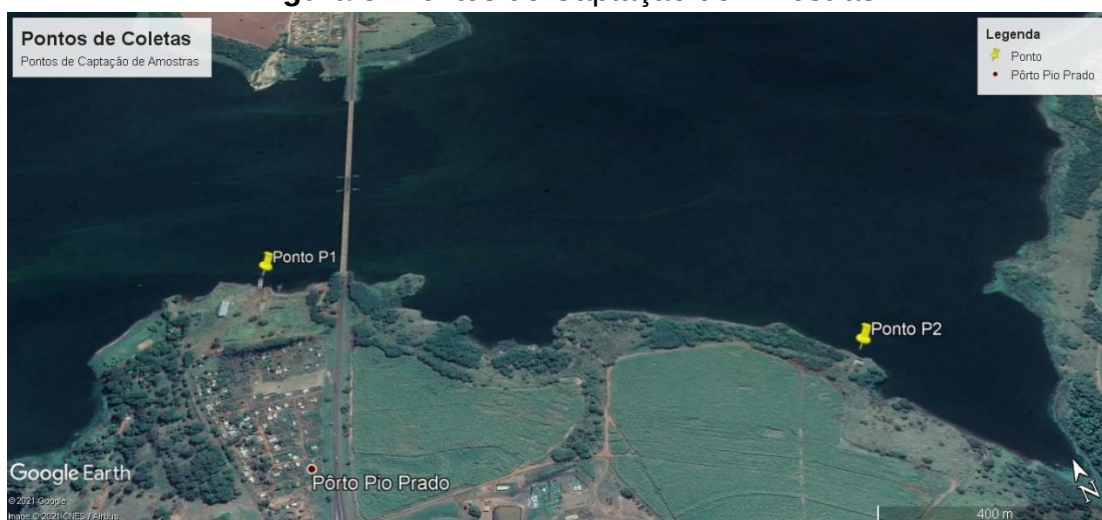
previamente estabelecidos: P1 – área marginal do reservatório de Três Irmãos, a jusante da ponte sobre o rio Tietê (SP-463); P2 - área marginal do reservatório de Três Irmãos, no local da captação de água para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Tietê, como pode ser visto no Quadro 1 e Figuras 5 e 6.

Quadro 1- Descrição dos pontos de coleta no Rio Tietê

Ponto	Descrição	Coordenadas S	Coordenadas W
1	Trecho a 1km do Ponto de Captação para ETA Tietê	21° 02' 54"	50° 28' 03"
2	Local de Captação para a ETA Tietê	21° 03' 19"	50° 27' 26"

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5- Pontos de Captação de Amostras



Fonte: Adaptado do Google Earth

Figura 6- Ponto de Captação de Amostras P1



Fonte: Próprio Autor.

As coletas foram realizadas pessoalmente no local por meio de garrafa de van Dorn com capacidade para 5 litros, em três níveis de profundidade: na água subsuperficial, aproximadamente a 10 cm; na água intermediária, aproximadamente a 3 m, na zona fótica; e na água de fundo, a cerca de 6 m de profundidade. Posteriormente as amostras foram perfeitamente acondicionadas em caixas térmicas com controle de temperatura por volta de -4°C sendo encaminhadas ao laboratório Bio Análise Meio Ambiente em Birigui, onde foram realizadas as análises pelo laboratório, para medição dos parâmetros de clorofila-a, concentração de fósforo total e ortofosfato.

O fósforo total foi determinado pelo método HACH, com ácido ascórbico. O ortofosfato foi determinado pelo método do Persulfato de Potássio e a clorofila-a foi determinada pelo método de espectrofotometria.

A transparência da água foi medida pessoalmente no local por meio do disco de Secchi, sendo determinada pela média calculada com base na profundidade de desaparecimento do disco e do seu reaparecimento.

5.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DOS ENSAIOS

Neste trabalho serão aplicados o índice proposto por Carlson (1977), modificado por Toledo Jr *et al.* (1983) que considera as medidas de transparência da água por meio do disco de Secchi (m), a concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), a concentração de ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e a concentração de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$), e também o índice de Lamparelli (2004) que considera apenas a clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), sob a forma proposta pela CETESB (2009).

Para a determinação do IET pelo método modificado por Toledo Jr *et al.* (1983) foram utilizadas as equações 1, 2, 3, 4 e 5, mostradas abaixo.

$$\text{IET (S)} = 10 * \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln S}{\ln 2} \right) \right] \quad (1)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 * \left[6 - \ln \left(\frac{80,32/\text{PT}}{\ln 2} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{IET (Chla)} = 10 * \left\{ 6 - \left[\frac{2,04 - 0,695 * (\ln \text{Cla})}{\ln 2} \right] \right\} \quad (3)$$

$$\text{IET (PO4)} = 10 * \left\{ 6 - \left[\frac{\ln 21,67/\text{PO4}}{\ln 2} \right] \right\} \quad (4)$$

$$\text{IETm} = \frac{\text{IET (S)} + 2 \{ \text{IET (PT)} + \text{IET (Cla)} + \text{IET (PO4)} \}}{7} \quad (5)$$

Sendo:

S- leitura da transparência da água pela profundidade do disco de Secchi (m)

PT- concentração de fósforo total na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

PO4- concentração de fosfato inorgânico (ortofosfato) na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Chla- concentração de clorofila na superfície ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

IETm- Índice de Estado Trófico Médio

Já para a determinação do IET especificado por Lamparelli (op cit.), foram utilizadas as equações 6, 7 e 8, conforme abaixo.

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

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

$$\text{IET} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2 \quad (8)$$

Sendo:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

ln: logaritmo natural.

Abaixo, o Quadro 2 mostra um comparativo entre o critério para classificação do corpo d'água de acordo com o índice proposto por Toledo Jr *et al.* (1983) e o índice proposto por Lamparelli (2004).

Quadro 2- Critérios de Classificação adotados pelos Índices de Estado Trófico de Toledo Jr. *et al.* (1983) e Lamparelli (2004).

Índice Toledo Jr (1983)		Índice Lamparelli (2004)	
Categoria de Estado Trófico	Classificação	Categoria de Estado Trófico	Classificação
Oligotrófico	$\text{IET} \leq 44$	Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Mesotrófico	$44 < \text{IET} \leq 54$	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Eutrófico	$54 < \text{IET} \leq 74$	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 74$	Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
		Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
		Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$

Fonte: Adaptado Toledo Junior *et al.* (1983) e Lamparelli (2004).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Os dados mensais de pluviosidade e temperatura atmosférica para o período de abril a outubro de 2020 foram obtidos na Somar Meteorologia (2020), mostrando valores de precipitação abaixo da média histórica e com temperaturas elevadas.

A tabela 1 permite notar que nos quatro meses de coleta destacados os níveis de chuva variaram de 1,6 mm, em setembro, até 113,2 mm, em outubro, sendo que, para análise, são considerados os dados do mês anterior, pois as coletas foram realizadas no começo de cada mês. Observa-se também que nesses meses de coleta os índices pluviométricos foram variados, apresentando médias diárias oscilando de 0,05 mm até 3,65 mm, enquanto que nos outros meses do período de estudo a média de chuva na região variou entre 0,05 mm e 1,81 mm. Nos dias das coletas, os níveis de pluviosidade foram nulos. A precipitação total registrada no período de estudo foi de 271,8 mm de chuva. Já a precipitação nos últimos sete dias que antecederam as coletas também pode ser vista na Tabela 1.

Nos dias de coleta a temperatura média variou entre 21,4 °C e 32,9 °C, como pode ser visto na Tabela 2. A maior temperatura média durante todo o período de estudo foi observada no mês de setembro, atingindo 28,05°C.

Tabela 1- Valores de temperatura média e pluviosidade para o período de estudo

meses	temperatura média °C	pluviosidade total (mm)	pluviosidade média diária (mm)	pluviosidade 7 dias anteriores a coleta (mm)
abr/20	24,65	54,40	1,81	0,00
mai/20	21,55	30,60	0,99	0,00
jun/20	22,85	52,30	1,74	
jul/20	22,45	1,40	0,05	
ago/20	22,70	18,30	0,59	
set/20	28,05	1,60	0,05	0,00
out/20	27,75	113,20	3,65	7,50

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2- Valores de Temperatura Média e Pluviosidade para os dias de Coleta

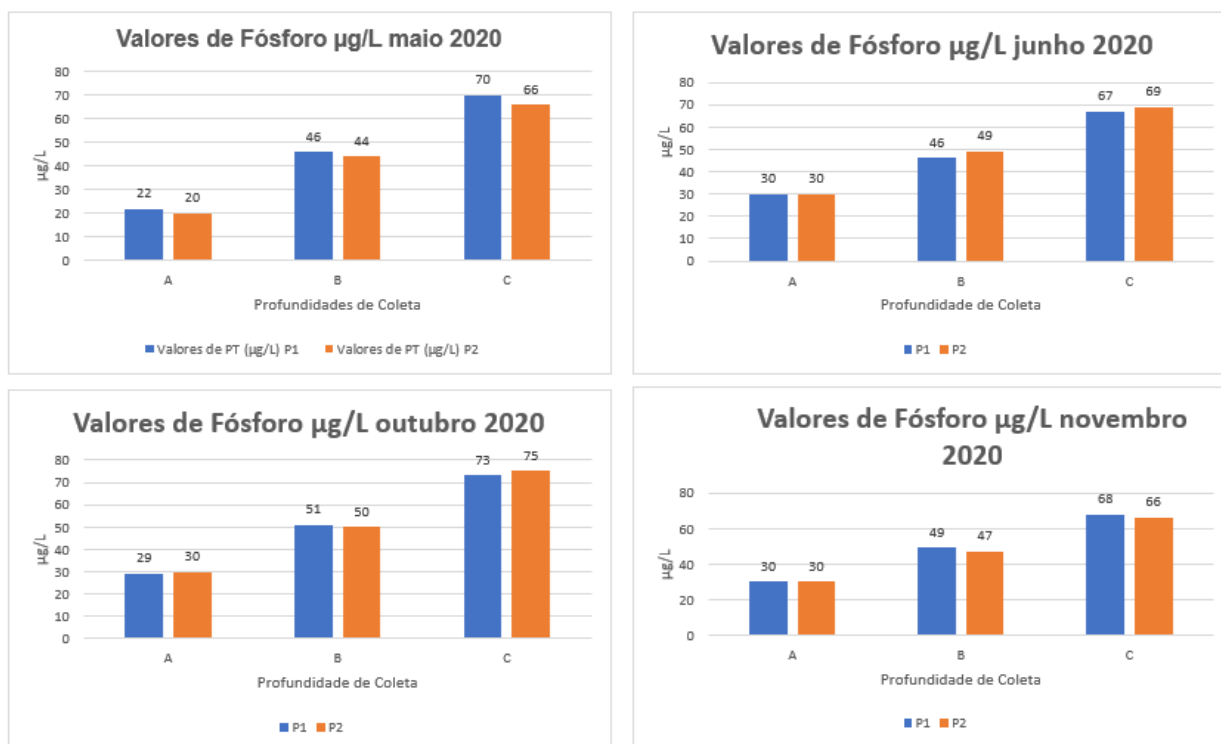
dia	temperatura média °C	pluviosidade (mm)
04/mai	22,75	0,00
01/jun	21,40	0,00
01/out	32,90	0,00
02/nov	21,60	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2 FÓSFORO

A Figura 7 mostra os valores de fósforo total nos pontos de coleta de superfície (A), meio (B) e fundo (C), onde se pode observar que no trecho em análise do Rio Tietê estes valores variaram entre 20 µg/L, ocorrido em maio de 2020, na amostra de superfície do ponto 2, e 75 µg/L, no mês de outubro de 2020 na amostra de fundo do ponto 2. Sendo que a maior parte dos valores encontrados superam os limites do CONAMA para rios de classe 2, que é de 30µg/L.

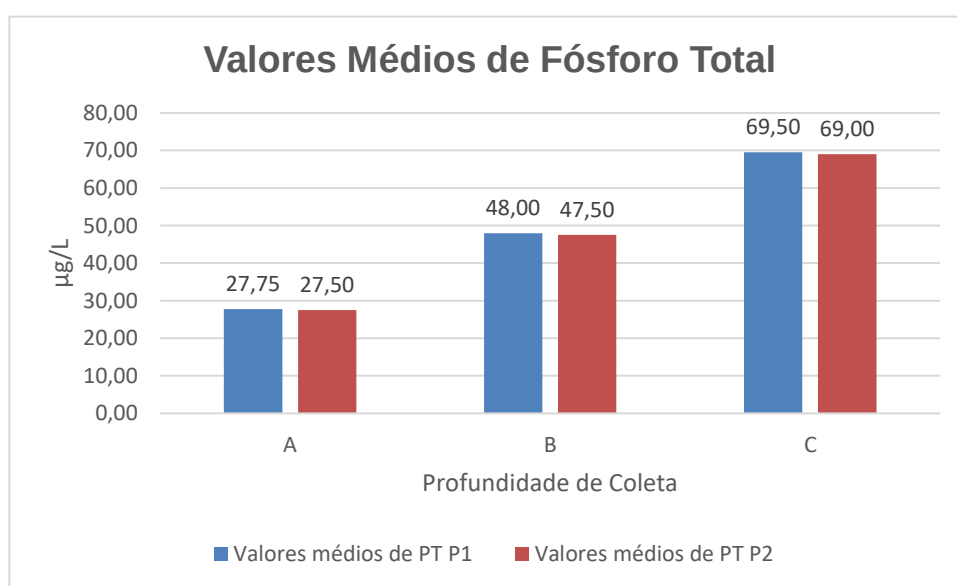
Figura 7- Valores obtidos de fósforo total nas coletas do estudo, onde A= subsuperfície, B= intermediária e C= fundo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando todos os pontos amostrados, o valor médio global dos teores de fósforo total obtidos no período estudado foi de 48,21 µg/L, porém, se analisarmos os valores obtidos de acordo com a profundidade, notamos que nos pontos de superfície o menor valor médio encontrado foi de 27,50 µg/L no P2 e o maior valor médio foi 69,50 µg/L No P1, nas amostras de meio, o menor valor médio foi de 47,50 µg/L no P2, e o maior valor médio foi de 48 µg/L no P1. Nas amostras de fundo, o menor valor médio de fósforo total foi encontrado no P2, sendo de 69 µg/L e o maior valor médio nessa profundidade foi no P1, no valor de 69,50 µg/L. A Figura 8 permite observar que os maiores valores médios de fósforo total foram encontrados nas amostras de fundo de todos os pontos. Efeito da deposição da matéria orgânica no fundo, onde há mais decomposição, assim como da deposição direta de fósforo.

Figura 8- Valores médio de fósforo total



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 7 permite uma comparação entre todos os valores obtidos em todo o período de estudo. Os maiores valores de fósforo total ocorreram no mês de outubro de 2020, na coleta 3, nos pontos de fundo 1 e 2, . Observa-se também, que na coleta 1, no mês de maio de 2020, os valores obtidos na superfície são inferiores ao observados nos mesmos pontos nas demais coletas.

A Tabela 3 mostra a classificação do ambiente para o parâmetro fósforo por meio do índice de Toledo Junior *et al.* (1983). Essa classificação da concentração de fósforo total nos mostra uma variação no nível de trofia, sendo considerado

oligotrófico para os pontos P1 e P2 na primeira coleta na superfície, sendo que os demais pontos coletados apresentam estado de trofia como mesotrófico, ou seja, o valor desse IET ficou entre 44 e 54 $\mu\text{g/L}$; em todas as coletas nos pontos de fundo apresentaram valores de IET entre 54 e 74 $\mu\text{g/L}$, segundo a classificação de trofia são considerados eutróficos. O valor máximo atingido foi na amostra de fundo do P3, no mês de outubro de 2020, atingindo 55,65 $\mu\text{g/L}$, e o menor valor para esse índice foi no P2, na amostra de superfície, no mês de maio de 2020, atingindo 42,43 $\mu\text{g/L}$.

Tabela 3- Classificação do Fósforo por meio do Índice de Toledo Junior *et al.* (1983).

Classificação de IET PT ($\mu\text{g/L}$) - Toledo Jr et al (1983)					
mai/20		P1		P2	
	A	43,38	Oligo	42,43	Oligo
	B	50,76	Meso	50,32	Meso
	C	54,96	Eutro	54,37	Eutro
jun/20		P1		P2	
	A	46,49	Meso	46,49	Meso
	B	50,76	Meso	51,39	Meso
	C	54,52	Eutro	54,82	Eutro
out/20		P1		P2	
	A	46,15	Meso	46,49	Meso
	B	51,79	Meso	51,59	Meso
	C	55,38	Eutro	55,65	Eutro
nov/20		P1		P2	
	A	46,49	Meso	46,49	Meso
	B	51,39	Meso	50,98	Meso
	C	54,67	Eutro	54,37	Eutro

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4 mostra a classificação dos pontos, para os valores de fósforo por meio do índice de Lamparelli (2004). Assim como de Toledo Junior *et al.* (1983), o índice de Lamparelli (2004) também apresenta uma classificação entre mesotrófica e eutrófica para a concentração do fósforo, porém em nenhum ponto foi determinado classificação oligotrófica, ou seja, os valores do IET para a concentração de fósforo

em todo o período amostrado e em todos os pontos resultaram em classificação semelhante à obtida pelo método de Toledo Junior *et al.* (1983).

Ainda que os métodos utilizados sejam diferentes, os valores da concentração de fósforo se enquadram em classificações semelhantes para quase todos os pontos, sendo que ambas indicam médio grau de trofia.

Comparando-se o trabalho realizado por Maia (2011), observa-se que o Rio São José dos Dourados obteve teor médio de fósforo total igual a 1,39 µg/L, sendo este bem inferior ao valor médio encontrado no presente estudo, o qual que foi de 48,21 µg/L. Este fato pode ser devido a região de estudo ter uma densidade demográfica alta, além possuir uma usina de cana de açúcar próximo ao ponto de coleta das amostras.

Tabela 4- Classificação do Fósforo por meio do Índice de Lamparelli (2004).

Classificação de IET PT (µg/L) - Lamparelli (2004)					
mai/20		P1		P2	
	A	53,19	Meso	52,62	Meso
	B	57,66	Meso	57,39	Meso
	C	60,21	Eutro	59,85	Eutro
jun/20		P1		P2	
	A	55,07	Meso	55,07	Meso
	B	57,66	Meso	58,05	Meso
	C	59,94	Eutro	60,12	Eutro
out/20		P1		P2	
	A	54,87	Meso	55,07	Meso
	B	58,29	Meso	58,17	Meso
	C	60,46	Eutro	60,63	Eutro
nov/20		P1		P2	
	A	55,07	Meso	55,07	Meso
	B	58,05	Meso	57,79	Meso
	C	60,03	Eutro	59,85	Eutro

Fonte: Elaborado pelo autor

O fósforo encontrado em altas concentrações em bacias hidrográficas podem ter forte relação com o nível de ocupação urbana. Esgotos domésticos, efluentes liberados por indústrias e uso de fertilizantes em regiões rurais são fatores que

ajudam a aumentar os níveis desse nutriente no meio aquático e podem, consequentemente, acelerar o processo de eutrofização das águas (LEAL, 2006). Bem como o aumento das formas nitrogenadas no reservatório, o incremento do fósforo também pode estar associado ao carreamento de fertilizantes por meio do escoamento superficial (GARCIA, 2007).

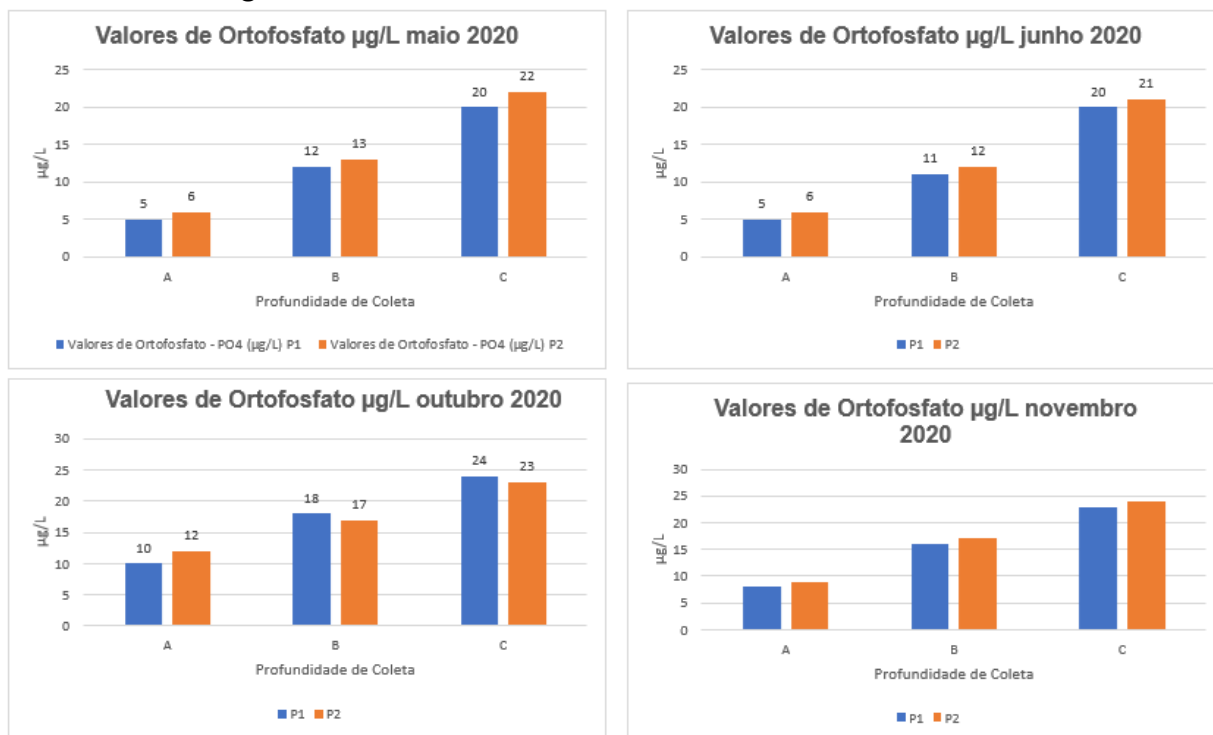
Devlin e Brodie (2005) constataram que a poluição por fósforo, em algumas zonas costeiras da Austrália, foi ocasionada por descargas associadas ao desenvolvimento da agricultura de bacias adjacentes.

6.3 ORTOFOSFATO

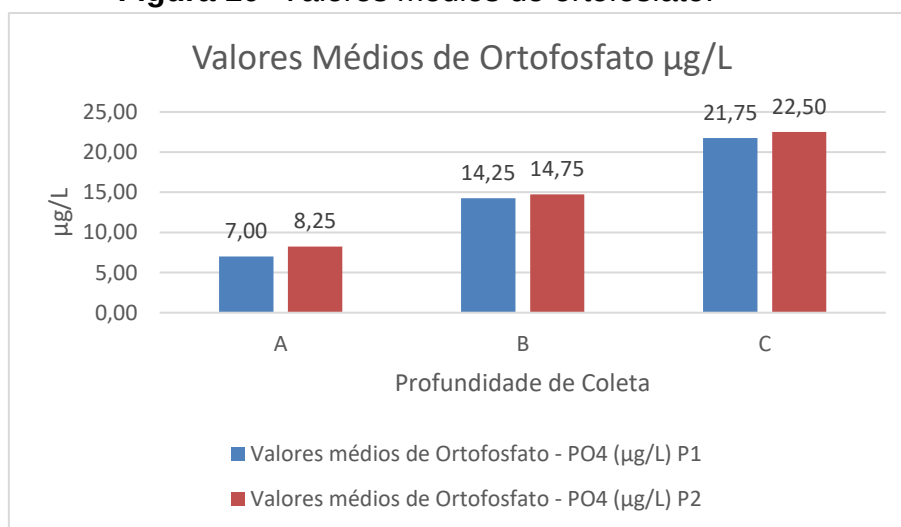
A Figura 9 mostra os valores de ortofosfato nos pontos de coleta nos três estratos analisados. Observa-se que os valores variaram entre 5 µg/L, ocorridos em maio e junho de 2020, nas amostras de superfície do ponto 1, e 24 µg/L, nos meses de outubro e novembro de 2020, nas amostras de fundo dos pontos 1 e 2.

Observando os valores médios obtidos para este parâmetro, ortofosfato, tem-se a Figura 10, mostrando que na profundidade C, logo acima do leito foi o local onde mais se encontrou ortofosfato, principalmente nos meses de outubro e novembro de 2020.

Levando em consideração a média para todos os pontos amostrados de cada coleta, o mês de outubro de 2020 foi o que apresentou os maiores teores de ortofosfato, com valor médio de 17,33 µg/L considerando todos os pontos de amostragem. O mês de maio de 2020 teve uma média de ortofosfato de 13,00 µg/L, em junho de 2020 essa média atingiu o menor de todos os valores nos meses de estudo, sendo de 12,50 µg/L, e em novembro de 2020 o valor da média foi de 16,17 µg/L.

Figura 9- Valores obtidos de ortofosfato nas coletas do estudo

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10- Valores médios de ortofosfato.

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 9 nos mostra os valores de todos os pontos, por estrato. Observa-se que todos foram mais elevados na região de fundo.

A Tabela 5 mostra a classificação do ambiente para o parâmetro ortofosfato por meio do índice de Toledo Junior *et al.* (1983). Essa classificação da concentração do ortofosfato nas amostragens em todos os pontos de coleta durante o período de estudo foi predominantemente eutrófica, onde somente nas coletas de

superfície dos meses de maio e junho foi obtida classificação trófica como mesotrófica, ou seja, na classificação do ortofosfato com o índice de Toledo Junior *et al.* (1983) o local de estudo apresentou grau elevado de trofia.

O índice de estado trófico de Toledo Junior *et al.* (1983), com base na concentração ortofosfato, apresentou valores médio e elevados de trofia, sendo classificado na maioria dos pontos como eutrófico.

As concentrações de ortofosfato foram altas no ponto de estudo do Rio Tietê, variando de 5 µg/L até 24 µg/L, se comparadas ao BSJD 0,28 µg/L até 7,79 µg/L (MAIA, 2011).

Tabela 5- Classificação do Ortofosfato por meio do Índice de Toledo Junior *et al.* (1983).

Classificação de IET Ortofosfato (µg/L) - Toledo Jr et al (1983)					
mai/20		P1		P2	
	A	51,12	Meso	52,60	Meso
	B	56,30	Eutro	56,59	Eutro
	C	57,78	Eutro	57,98	Eutro
jun/20		P1		P2	
	A	51,12	Meso	52,60	Meso
	B	55,97	Eutro	56,30	Eutro
	C	57,78	Eutro	57,89	Eutro
out/20		P1		P2	
	A	55,56	Eutro	56,30	Eutro
	B	57,53	Eutro	57,39	Eutro
	C	58,15	Eutro	58,07	Eutro
nov/20		P1		P2	
	A	54,45	Eutro	55,07	Eutro
	B	57,23	Eutro	57,39	Eutro
	C	58,07	Eutro	58,15	Eutro

Fonte: Elaborado pelo autor

Rocha e Martin (2005) avaliaram a influência do núcleo industrial na qualidade da água do Córrego Água da Lavadeira em Rancharia-SP, e observaram que os valores de ortofosfato ficaram entre 190 µg/L e 12740 µg/L, os quais são bem superiores aos encontrados nos pontos de estudo do Rio Tietê, porém, esses

valores elevados comprovam a interferência da ação antrópica, por meio de despejos de efluentes domésticos e industriais.

Lamparelli (2004) verificou que as concentrações de ortofosfato são maiores durante o período de estiagem, tanto em rios como em reservatórios. No período chuvoso, o fósforo está concentrado nas algas e, como a análise de fósforo total não diferencia o que está sob forma particulada ou solúvel, somente na análise de fósforo inorgânico dissolvido é possível detectar esta diferença. O fósforo inorgânico dissolvido é a forma mais facilmente assimilável de fósforo e a mais rapidamente consumida pelos organismos do fitoplâncton e macrófitas. Por este motivo, esta forma de fósforo é relatada, pela maioria dos autores, como o nutriente limitante à eutrofização.

6.4 CLOROFILA-A

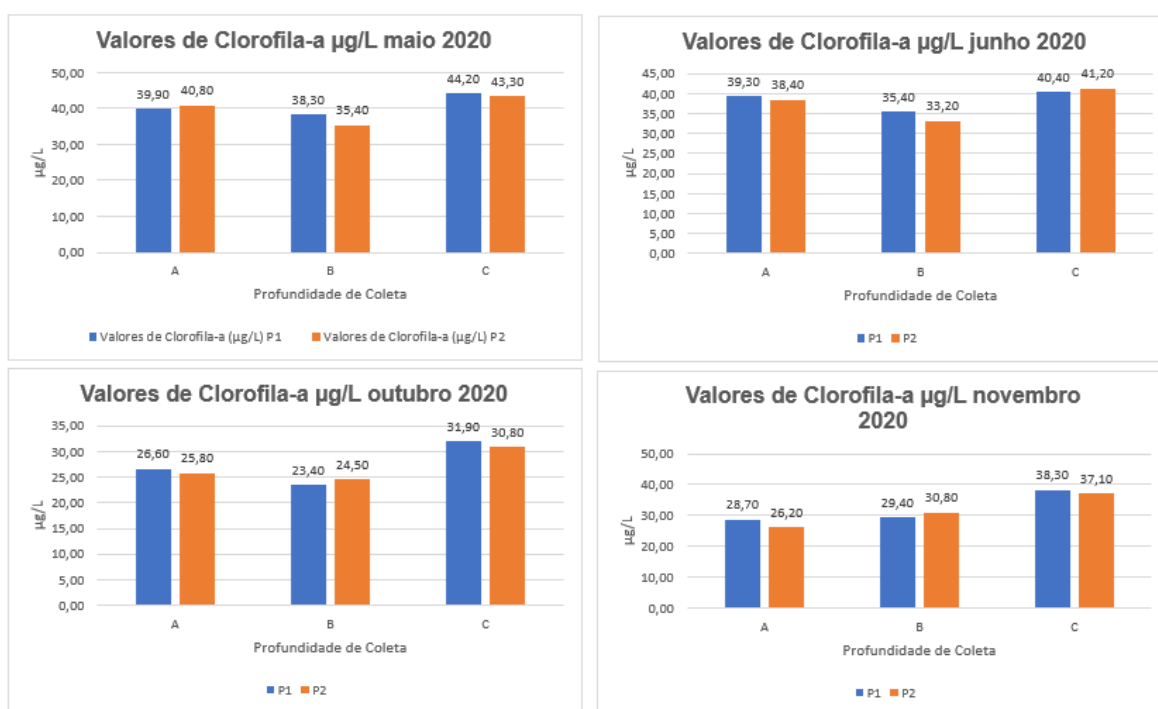
A Figura 11 apresentam todos os valores de clorofila-a obtidos no período de estudo e mostra as suas concentrações nos pontos de coleta.

As concentrações de clorofila-a foram elevadas em todas as amostras. Os meses de maio e junho apresentaram os maiores valores para este parâmetro, com um valor máximo de 44,20 µg/L registrado no ponto 1 da coleta de maio, na amostra de fundo. O valor mínimo encontrado foi de 23,40 µg/L e ocorreu no ponto 1, na amostra de meio, em outubro. Essas elevadas concentrações de clorofila-a encontradas chegam a superar o limite máximo de 30 µg/L estabelecido pela resolução 357/2005 do CONAMA para águas doces de classe II.

Observando-se a concentração média da clorofila-a pôr ponto e profundidade amostrados (Figura 11), a menor concentração média da clorofila-a de todos os pontos de meio foi no P2, com valor de 30,98 µg/L, e a maior concentração média foi no P1, com 31,63 µg/L. Já para as amostras de fundo, o P1 é o que apresenta o maior valor médio para clorofila-a, sendo de 38,70 µg/L, e o menor valor médio nessa mesma profundidade se encontra no P2, com valor de 38,10 µg/L. Por fim nas amostras de superfície, o P2 apresenta o menor valor médio para clorofila-a, sendo de 32,80 µg/L, já o P1 apresenta o maior valor médio para a superfície, atingindo 33,63 µg/L. É possível notar que há pouca variação entre os valores encontrados

nos dois pontos para a mesma profundidade, possivelmente isso ocorre pela proximidade dos pontos de coleta.

Observamos na Tabela 6 que os valores médios de concentração de clorofila-a variam de 30,98 $\mu\text{g/L}$ a 38,70 $\mu\text{g/L}$, sendo esses valores acima dos 30 $\mu\text{g/L}$ permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA para rios de classe 2, e indicam uma alta produtividade na região. De acordo com Minillo (2005) o aumento das concentrações de clorofila-a é decorrente não apenas das variações na composição e fisiologia das espécies do fitoplâncton, presentes no meio aquático, mas possivelmente do aumento na biomassa de cianobactérias, onde essas passam a ser dominantes nestes reservatórios, o que demonstra possíveis ajustes dessas comunidades fitoplanctônicas às condições ambientais existentes ao longo do tempo. **Figura 11-** Valores obtidos de clorofila-a nas coletas do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6- Valores médio de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) para cada ponto de coleta e profundidade

Valores médios de Clorofila-a		
	P1	P2
A	33,63	32,80
B	31,63	30,98
C	38,70	38,10

Fonte: Elaborado pelo autor

Em todas as amostras de superfície foram encontrados valores elevados de clorofila-a, com um valor médio para essa profundidade de $33,21 \mu\text{g/L}$, valores estes superiores aos permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA.

No estudo realizado por Maia (2011), no BSJD, a concentração da clorofila-a variou de $0,11 \mu\text{g/L}$ para $18,3 \mu\text{g/L}$, valores inferiores aos encontrados no ponto de estudo do Rio Tietê. Entretanto se comparado com os dados de coleta e análise realizadas pela CETESB em maio de 2019 (CETESB, 2020), onde foi observado uma concentração de $279,33 \mu\text{g/L}$, os valores diminuiriam bastante e apresentam valores semelhantes aos encontrados em outras análises realizadas pela CETESB até os dias atuais. Em maio de 2019 a praia pública de Araçatuba/SP foi interditada para banhistas devido a água apresentar uma coloração esverdeada, sendo liberada meses depois por voltar apresentar aspecto mais transparente.

Segundo Lamparelli (2004), num corpo hídrico, em que o processo de eutrofização se encontra plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-a coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo. Sendo assim, é possível afirmar que o trecho analisado do Rio Tietê não apresenta fatores limitantes do processo de eutrofização, pois os valores de IET (PT) são menores que os valores de IET(Chla) em todos os pontos de coleta como podemos observar na tabela 7. Porém, há outras variáveis que possivelmente influenciem esse comportamento, e se relacionam com a disponibilidade de luz e/ou nitrogênio, fatores também limitantes e

importantes da produção primária nesses ambientes onde o fósforo total é presente (ATTAYDE; BOZELLI, 1998; AZEVEDO *et al.*, 2002; CHELLAPA; COSTA, 2003).

Tabela 7- Classificação da clorofila-a por meio de Lamparelli (2004).

Classificação de IET Clorofila-a - Lamparelli (2004)					
mai/20		P1		P2	
	A	64,80	Super	64,92	Super
	B	64,61	Super	64,22	Super
	C	65,31	Super	65,21	Super
jun/20		P1		P2	
	A	64,74	Super	64,62	Super
	B	64,22	Super	63,91	Super
	C	64,87	Super	64,97	Super
out/20		P1		P2	
	A	62,82	Eutro	62,67	Eutro
	B	62,19	Eutro	62,42	Eutro
	C	63,71	Super	63,54	Super
nov/20		P1		P2	
	A	63,19	Super	62,75	Eutro
	B	63,31	Super	63,54	Super
	C	64,61	Super	64,45	Super

Fonte: Elaborado pelo autor

Em estudo realizado por Sousa (2007) observou-se uma associação do fósforo total com clorofila “a” em quatro reservatórios da região do Seridó (Cruzeta, Itans e Boqueirão de Parelhas), no Rio Grande do Norte, evidenciando que a entrada de nutrientes favorece a produtividade biológica independentemente do tamanho do ecossistema.

Segundo a classificação de Wetzel (1993), ambientes com concentrações de clorofila-a acima de 10 µg/L são considerados eutróficos. O trecho analisado do Rio Tietê apresentou em todos os pontos valores superiores aos 10 µg/L, e pelo método de Lamparelli (2004) foram considerados eutrofizados/supereutrofizados.

6.5 TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA

A tabela 8 apresenta os valores de transparência da água da área de estudo obtidas por meio do disco de Secchi. Os valores variaram entre 2,82 m no P2 da coleta de outubro de 2020 até 3,05 m no P1 da coleta de junho de 2020.

Tabela 8- Valores de transparência obtidos nas coletas realizadas.

Valores de Transparência S (m)		
mai/20	P1	P2
	2,99	2,87
jun/20	P1	P2
	3,05	2,99
out/20	P1	P2
	2,95	2,82
nov/20	P1	P2
	2,92	2,85

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de transparência tiveram pouca variação no período de estudo, não apresentando mudanças significativas, sendo o menor valor de transparência encontrado no ponto P2 no mês de outubro com valor de 2,82m e o maior valor na coleta 2 no ponto P1 com valor de 3,05m.

De acordo com Lopes *et al.* (2005), em períodos chuvosos, a quantidade de material suspenso aumenta acentuadamente a turbidez, havendo indícios de carreamento de fósforo nos corpos d'água.

Os valores de transparência observados para o trecho analisado do Rio Tietê foram considerados elevados em comparação com os valores de Lagoa de Jacuném (LEAL, 2006), já que os valores do Rio Tietê apresentaram uma média de 2,93m, enquanto que os da lagoa em questão apresentaram uma média de apenas 0,4m sendo que essa diferença ocorre devido a diferença do ambiente que os estudos foram realizados. Se compararmos com o estudo realizado por Maia (2011) no BSJD que encontrou valores entre 0,36 e 11,60m e valor médio de 4,02m, temos que o valor de transparência é próximo porém inferior ao estudo citado, essa

proximidade dos resultados se deve aos locais de estudo terem características ambientais semelhantes.

Os valores do IET e suas classificações da transparência de acordo com Toledo Junior *et al.* (1983) podem ser observados na Tabela 9, que mostra que o corpo d'água em questão, considerando-se a transparência da água, pode ser classificado como oligotrófico em todos os pontos e coletas realizadas. Essa classificação sugere que o trecho analisado do Rio Tietê, apresenta um baixo grau de trofia.

Tabela 9- Classificação do IET da transparência por meio do Índice de Toledo Jr *et al* (1983).

Classificação de IET - Toledo Jr et al (1983)				
mai/20	P1		P2	
	34,97	Oligo	35,56	Oligo
jun/20	P1		P2	
	34,68	Oligo	34,97	Oligo
out/20	P1		P2	
	35,16	Oligo	35,81	Oligo
nov/20	P1		P2	
	35,31	Oligo	35,66	Oligo

Fonte: Elaborado pelo autor

6.6 CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Os valores de IET das 4 coletas, nos meses de maio, junho, outubro e novembro de 2020, calculados pelo método de Carlson (1977) e modificado por Toledo Junior *et al.* (1983) estão indicados na Tabela 10.

Observa-se que o maior e menor valores de IET obtidos foram na coleta 1, no mês de maio de 2020, a maior na amostra de fundo do P1, atingindo o valor de 56,80 $\mu\text{g/L}$, e o menor valor atingindo 51,29 $\mu\text{g/L}$, na amostra de superfície no P1.

A mesma Tabela 10 permite ver a classificação da água coletada de acordo com os critérios utilizados pelo IET de Toledo Junior *et al.* (1983). Foram obtidos

apenas 2 níveis diferentes de classificação para todo o trecho estudado, sendo estas, eutrófica e mesotrófica, predominando, porém, a classificação eutrófica.

Tabela 10- Classificação do IETm por meio do Índice de Toledo Jr *et al* (1983).

Classificação de IETm ($\mu\text{g/L}$) - Toledo Jr <i>et al</i> (1983)					
mai/20		P1		P2	
	A	51,29	Meso	51,59	Meso
	B	54,76	Eutro	54,88	Eutro
	C	56,80	Eutro	56,71	Eutro
jun/20		P1		P2	
	A	52,09	Meso	52,49	Meso
	B	54,40	Eutro	54,62	Eutro
	C	56,37	Eutro	56,58	Eutro
out/20		P1		P2	
	A	52,22	Meso	52,53	Meso
	B	54,02	Eutro	54,15	Eutro
	C	56,11	Eutro	56,16	Eutro
nov/20		P1		P2	
	A	52,24	Meso	52,20	Meso
	B	54,50	Eutro	54,61	Eutro
	C	56,43	Eutro	56,33	Eutro

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Toledo Junior *et al.* (1983), houve um aumento no número de ambientes nas condições de baixa trofia (ultraoligotrófica e oligotrófica) e uma diminuição no número de pontos com condições de alta trofia (eutrófico a hipereutrófico).

Os resultados elevados registrados para o IET, durante todo o período do trabalho, podem estar associados a maiores concentrações de fósforo total e clorofila-a determinadas nesse período, mantendo o reservatório classificado principalmente como eutrófico (LOPES *et al.*, 2005). Estes valores altos podem ser provenientes de despejos industriais lançados próximos aos pontos de estudo.

Para os valores do IETm do corpo d'água por meio do Índice de Lamparelli (2004), que é utilizado atualmente pela CETESB na avaliação dos graus de trofia dos corpos hídricos lênticos do Estado de São Paulo, apresenta-se a Tabela 11.

Observa-se que os menores e maiores valores obtidos para o índice de Lamparelli (2004) foram encontrados na coleta 1, no mês de maio, sendo o menor na amostra de superfície do P2, atingindo o valor de 58,77 µg/L e o maior valor atingindo 62,76 µg/L, na amostra de fundo do P1.

Tabela 11- Classificação do IETm por meio do Índice de Lamparelli (2004).

Classificação de IET PT (µg/L) - Lamparelli (2004)					
mai/20		P1		P2	
	A	58,99	Meso	58,77	Meso
	B	61,13	Eutro	60,80	Eutro
	C	62,76	Eutro	62,53	Eutro
jun/20		P1		P2	
	A	59,90	Eutro	59,95	Eutro
	B	60,94	Eutro	60,98	Eutro
	C	62,40	Eutro	62,54	Eutro
out/20		P1		P2	
	A	58,84	Meso	58,87	Meso
	B	60,24	Eutro	60,10	Eutro
	C	62,08	Eutro	61,69	Eutro
nov/20		P1		P2	
	A	59,13	Eutro	58,91	Meso
	B	60,68	Eutro	60,66	Eutro
	C	62,32	Eutro	62,15	Eutro

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 11 ainda mostra a classificação do corpo d'água estudado de acordo com os parâmetros adotados por Lamparelli (2004), e classifica de acordo com maioria dos pontos amostrados o trecho analisado do Rio Tietê como Eutrófico. Ainda é possível observar que todos os pontos de superfície, excetuando-se o P1 da Coleta 4 apresentam classificação como mesotrófico, sendo que todas essas classificações indicam um alto grau de trofia.

A classificação no ponto P1 na superfície da coleta 4 foi o único ponto com classificação diferente entre os métodos de Lamparelli (2004) e de Toledo Junior *et al.* (1983), onde por Toledo Junior *et al.* (1983) foi classificado como mesotrófico e por Lamparelli (2004) foi classificado como eutrófico. Os demais pontos obtiveram o mesmo nível de classificação para ambos os métodos.

Durante o estudo observou-se aspectos visuais parecidos nos pontos de coleta e no seu entorno. Onde não se apresentava crescimento planctônico, porém apresentava alguma acumulação de sedimentos no fundo, constatados pelos altos valores de fósforo, ortofosfato e clorofila-a obtidos. Nos pontos de coleta não foi registrado a presença de macrófitas, talvez por serem locais de passagem de barcos e presença de banhistas. Entretanto próximo às margens do rio, é possível verificar a presença de plantas aquáticas em locais de menor movimentação.

Por meio destas análises visuais pode-se concluir que o corpo d'água estudado ainda se encontra com alto grau de trofia como determina os índices de Toledo Junior *et al.* (1983), e Lamparelli (2004), já que apresenta características que indicam que esse corpo hídrico sofreu alterações na qualidade de suas águas, sendo que já necessitou de interdição de sua praia pública presente neste local em 2019 por apresentar aspecto visual ruim, vindo a ter uma melhora meses depois.

Para o mestre em recursos hídricos e ciências ambientais Ricardo Molto Pereira, a origem do problema de eutrofização do rio Tietê em Araçatuba está no descarte de esgoto in natura de grandes cidades, entre elas, São Paulo e Bauru, e outras que estão à montante do Tietê, sendo que o despejo de esgoto tratado no rio influencia o processo de eutrofização, pois quando um corpo d'água adquire altos níveis de nutrientes, provoca o crescimento excessivo de algas e de outras plantas aquáticas e a deterioração da qualidade da água (GALCINO, 2019).

A UGRHI 19, no Baixo Tietê, próxima à unidade estudada, apresenta 10 pontos de amostragem pela CETESB, sendo 2 desses pontos no Reservatório de Três Irmãos, no município de Pereira Barreto. Na última amostragem em 2018, esses pontos classificaram a qualidade da água como ÓTIMA, sendo que a mesma análise para a Unidade 18 obteve a classificação BOA. Em relação ao IET, a classificação do Reservatório de Três Irmãos, na unidade 19 foi a mesma que na unidade 18, mesotrófica (CETESB, 2018).

7 CONCLUSÃO

Analisando os resultados do estudo temos que ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes quanto à classificação do nível trófico, sendo que a utilização de um índice, ao invés de um parâmetro isoladamente, permite a obtenção de resultados mais confiáveis.

A origem do problema de eutrofização do rio Tietê em Araçatuba pode ser o descarte de esgoto in natura de grandes cidades como São Paulo e Bauru, e outras que estão à montante do Tietê, que após períodos chuvosos mudam as condições do corpo hídrico do local.

Observou-se que no método proposto por Lamparelli (2004), o IET apresentou valores que elevam o nível das classificações tróficas. Entretanto, apesar de o método de Toledo Junior *et al.* (1983) apresentar menores níveis de classificação em alguns pontos, pode-se dizer que a variação entre os métodos foi mínima podendo ser utilizados ambos os métodos para esta análise.

Dentre os parâmetros analisados individualmente os resultados de IET da transparência pelo método de Toledo Junior *et al.* (1983) é o que apresentou maior divergência quanto à classificação trófica, se comparado ao IETm de ambos os métodos de estudo aplicado neste trabalho.

A utilização do IET é uma forma interessante de avaliar a qualidade de corpos hídricos, facilitando a interpretação e divulgação dos resultados obtidos e, quando aplicado a corpos aquáticos de uma mesma região, permite a rápida avaliação comparativa do estado trófico dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ATTAYDE, J. L. BOZELLI, R.L. Assessing the indicator properties of zooplankton assemblages to disturbance gradients by canonical correspondence analysis. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 55, n. 8, p. 1789-1797, 1998.
- AZEVEDO, S. M. F. O. *et al.* Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS OF TOXICOLOGY, TOXICOLOGY, 9., 2002, Brisbane. **Anais** [...] Brisbane: Australis, 2002. p. 441-446.
- AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003, 56 p.
- BARBOSA, T. S. **Cianobactérias tóxicas e processo de remoção**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 63p.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and oceanography**, United States, v.22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CETESB, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2000. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB. **CETESB**, São Paulo, v. 1, v. 2, p. 214, 2001.
- CETESB, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2006. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB. **CETESB**, São Paulo, v. 1, v. 2, p. 327. 1 CD-ROM.
- CETESB, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2007. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB. **CETESB**, São Paulo, v. 1, p. 540, 2008.
- CETESB, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB. **CETESB**, São Paulo, v. 1, p. 531, 2009.
- CETESB, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2018. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB. **CETESB**, São Paulo, v. 1, p. 302, 2018.
- CETESB, Companhia de tecnologia e saneamento ambiental - **CETESB**, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2020.
- CBH-BT, **Minuta preliminar do relatório da situação dos recursos hídricos da UGRHI 19**. Comitê da bacia hidrográfica do baixo tietê- CBH-BT. Lins: CETEC, 1999. 263 p.

CBH-BT, **Fundamentos para a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Comitê da bacia hidrográfica do baixo tietê- CBH-BT. São Paulo: CBH-BT, 2009. 88 p.

CBH-BT, **Plano da bacia hidrográfica do Baixo Tietê – UGRH-19**. Comitê da bacia hidrográfica do baixo tietê- CBH-BT. São Paulo: CBH-BT, 2016. 154 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Utilização de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos**. Processo: 02000.000110/2011-68, p.1-5, 2015.

DELELLO, D. **Composição e distribuição (espacial e temporal) de macrófitas aquáticas no reservatório do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas, SP**. 2008. 159 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DEVLIN, M. J.; BRODIE, J. Terrestrial discharge into the Great Barrier Reef Lagoon: nutrient behavior in coastal waters. **Marine pollution bulletin**, [s. l.], v. 51, n. 1-4, p. 9-22, 2005.

GALCINO, A. **Poluição da capital atinge rio Tietê na região de Araçatuba**. Hojemais: Araçatuba, 2019. Disponível em: <https://www.hojemais.com.br/aracatuba/noticia/cotidiano/poluicao-da-capital-atinge-rio-tiete-na-regiao-de-aracatuba>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GARCIA, C. A. B. Barragem Jacarecica I - estado trófico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo, 2007. p. 10.

HAVENS, K. E. *et al.* N: P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. **Environmental Pollution**, United Kingdom, v. 122, n. 3, p. 379-390, 2003

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. UFMG: Belo Horizonte, 2006. 859 p.

IETC – UNEP. **Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização**. Osaka/Shiga, 2001. 383 p. (Série de Publicações Técnicas, p.11).

CERVEIRA JÚNIOR, W. R. **Uso de herbicida no controle de planta aquática ancorada**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho- UNESP, JABOTICABAL, 2017.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Univeridade de São Paulo– USP, 2004.

LEAL, P. R. **Avaliação de Indicadores do Estado Trófico de uma lagoa costeira: Lagoa de Jacuném (Serra, ES).** 2006. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

LOPES, L. G.; AMARAL, L. A.; HOJAIJ, A. In: ASSEMBLEIA NACIONAL DE SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO, 1., 2005, Jaboticabal. **Seleção de indicadores para gestão da bacia hidrográfica do Córrego Rico.** Jaboticabal, 2005. 4 p.

MAIA, A. A. D. **Determinação do grau de trofia no Baixo São José dos Dourados por meio da comparação entre dois diferentes índices de estado trófico.** 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Ilha Solteira, 2011.

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L. Determinação do grau de trofia comparando-se índices de estado tróficos. 1. Ed. Saarbrücken, Germany: **OmniScriptum GmbH & Co.** KG Heinrich-Böcking-Str., 2015. 81p.

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 613-622, 2015.

MARCHI, S. R. *et al.* Utilização de chama para controle de plantas daninhas emersas em ambiente aquático. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 311-319, 2005.

MARTINS, D. *et al.* Caracterização genética de acessos de egéria (*Egeria* Spp.) coletados no Estado de São Paulo utilizando RAPD1. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. SPE, p. 1-6, 2003. Edição Especial.

MINILLO, A. **Análise da distribuição, densidade e toxicidade de florações de cianobactérias e suas toxinas nos reservatórios do Médio e Baixo Rio Tietê (SP) e relação com as características limnológicas do sistema.** 2005. 400 f. Tese (Doutorado) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, USP, 2005.

PEREIRA, R. H. G. **Análise da distribuição, densidade e diversidade de Copepodia calanoida e cyclopoida nos reservatórios e tributários do Médio e Baixo rio Tietê e sua relação com as características limnológicas do sistema.** 2003. 287 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos –EESC, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2003.

PEREIRA, K. C.; PASCHOAL, L. R. P.; RIGOLIN, de SÁ O. Comparação entre dois Índices de Estado Trófico para as UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho da Bacia Hidrográfica do Médio Rio Grande- MG. In: IX CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. **Anais [...]** São Lourenço: SEB, 2009. p 1-2.

PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- PNMA II; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa nacional do meio ambiente** – Brasília, DF: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2001. 84 p.

PRADO, R. B. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. In: ESPÍNDOLA, E. L. G. *et al.* **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002. (Série Ciências da Engenharia Ambiental).

ROCHA, R. R. de A; MARTIN, E. S. Análise preliminar do estado ambiental do córrego água da lavadeira, Rancharia - SP: análise física e química da água. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 116-130, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. As UGRHs no contexto das Regiões/Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007**. São Paulo: DAAE, 2006. Resumo.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. DAAE. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007**. São Paulo: DAAE, 2005.

SETTI, A. A. *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. p. 207.

SOMAR METEOROLOGIA. Somar. São Paulo: **Somar Meteorologia**, 2020. Disponível em: <http://www.somarmeteorologia.com.br/institucional/>.

SOUSA, W. **Comunidades zooplancônicas como bioindicadoras da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte**. 2007. 40 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. In: **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Carlos: ILEC/ IIE, 2000. 280 p.

TANGERINO, E. P. *et al.* Remoção de células de cianobactérias utilizando filtração em múltiplas etapas, com e sem uso de mantas texturizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais [...]** Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES, 2005.

TOLEDO JUNIOR, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 1983, Balneário Camboriú. **Anais [...]** Balneário Camboriú: ABES, 1983. p. 1-34.

TUNDISI, J. G. *et al.* Limnologia e manejo de represas. Vol. I. São Paulo: **Universidade de São Paulo**, Escola de Engenharia de São Carlos/CRHEA/ACIESP, 1988.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. *In*: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios**: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FUNDIBIO/FAPESP, 1999. 800 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A. L.; CORRÊA, M. R.; BRAVIN, L. F. N.; MARCHI, S. R. de; TRINDADE, M. L. B.; ARRUDA, D. P.; PADILHA, F. S. Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Americana relacionados à ocorrência de plantas aquáticas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 215-223, 2005.

Von SPERLING, E. Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. **Revista Bio**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 68 – 76, 1994.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996. 452 p.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. 919 p.