



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**THIAGO DE PAULA ALMEIDA**

**ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE  
GENOTOXICIDADE EM PEIXES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PIRAPOZINHO - SP**

Presidente Prudente – SP  
2020



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**THIAGO DE PAULA ALMEIDA**

**ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE  
GENOTOXICIDADE EM PEIXES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PIRAPOZINHO - SP**

Dissertação apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre - Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional

Orientador:  
Profa. Dra. Ana Paula Alves Favareto

Coorientador:  
Prof. Dr. Edson Assunção Mareco

Presidente Prudente – SP  
2020

577.6  
A447a

Almeida, Thiago de Paula.

Análise de indicadores de qualidade da água e teste de genotoxicidade em peixes na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho – SP / Thiago de Paula Almeida. – Presidente Prudente, 2020.

68 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2020.

Bibliografia.

Orientadora: Ana Paula Alves Favareto

1. Genotoxicidade. 2. Bioindicadores ambientais. 3. Qualidade da Água. 4. Planejamento Ambiental. 5. Peixes. I. Título.

**THIAGO DE PAULA ALMEIDA**

**ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE  
GENOTOXICIDADE EM PEIXES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PIRAPOZINHO - SP**

Dissertação apresentada Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação,  
Universidade do Oeste Paulista, como  
parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre - Área de Concentração:  
Meio Ambiente e Desenvolvimento  
Regional

Presidente Prudente, 06 de maio de  
2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Alves Favareto  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente – SP

---

Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alba Regina Azevedo Arana  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente – SP

---

Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcela Prado Silva Parizi  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp  
Rosana – SP

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha família  
que sempre esteve presente, e por toda  
compreensão e incentivo nos  
momentos mais difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por conceder sabedoria e paciência para executar todos desafios propostos no percurso.

A minha querida e amada esposa, Kaanda N. S. P. Almeida e minha princesinha Anna Clara S. Almeida, por demonstrarem compreensão e paciência, devido ao grande tempo destinado a pesquisa, e também pelo carinho, amor e incentivo para conclusão do estudo.

Aos meus pais, Jesus Antônio e Ivanir P. Almeida, pois sem eles a caminhada para atingir os meus propósitos como ser humano seriam mais penosos.

Aos Doutores e orientadores, Ana Paula Alves Favareto e Edson Assunção Mareco, por em todo momento fazerem com que pudéssemos buscar o melhor nas tarefas propostas, dedicando tempo para discussões enriquecedoras e na elaboração da Pesquisa.

Ao amigo Daniel Ângelo Macena, que através dos seus conhecimentos e experiências na área de Química, auxiliou as tarefas propostas em laboratório na obtenção das análises de água.

A Universidade do Oeste Paulista, que através do programa de pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, proporcionou o encontro com vários Doutores, onde através das discussões e conversas em sala de aula e corredores, fez com que o crescimento como pesquisador e o amor à docência fluíssem ainda mais.

Em especial a Dra. Ana Paula Alves Favareto, que por diversas vezes, abriu mão de seus momentos de descanso e lazer, para o auxiliar na discussão do estudo, sendo de extrema importância para o alcance da excelência.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (Brasil) CAPES – Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que embora não citados, mas que participaram de alguma forma na realização do estudo.

*“[...] O que fazemos em vida ecoa por toda a eternidade! [...]”*

*Máximus Meridius (Gladiador)*

## RESUMO

### **Análise de indicadores de qualidade da água e teste de genotoxicidade em peixes na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho – SP.**

A qualidade dos recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada ao uso e ocupação do solo. O planejamento ambiental é uma ferramenta indispensável para o apontamento da forma correta de utilização dos recursos, visando evitar possíveis impactos causados pelas atividades antrópicas agrícolas e urbanas, com conseqüente degradação ambiental. A bacia hidrográfica em estudo corresponde a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Alta Paulista e do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), compreendida entre os municípios de Pirapozinho, Tarabai, Álvares Machado, Presidente Bernardes, Sandovalina e Mirante do Paranapanema. O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, por meio da análise Índice de Qualidade de Água (IQA) e da análise citogenética de peixes. A definição dos pontos de coleta de água e peixes na bacia foi realizada por meio da avaliação do uso e ocupação da terra. Foram definidos três pontos, sendo eles: P1) Controle (área preservada); P2) Urbano (área com atividades antrópicas urbanas e industriais, com descarte de efluentes domésticos e industriais e P3) Rural (atividades agrícolas próximas). Foram realizados três períodos de coleta, de acordo com as estações (junho, setembro e dezembro de 2019). Os parâmetros de qualidade de água foram avaliados de acordo com as recomendações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Foram coletados peixes para análise citogenética de eritrócitos corados pelo método Giemsa. A avaliação dos parâmetros de qualidade da água indicou que o rio Pirapozinho corresponde a Classe II, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente. No período de coleta 1, a água foi classificada como boa em P1 (61,8) e como razoável em P2 (46,7) e P3 (43,6). Já nos períodos de coleta 2 e 3, houve uma piora na classificação da água em P2 (33,3 e 30,4, respectivamente), que passou de razoável a ruim. P2 foi o que apresentou maiores alterações em todos os períodos de avaliação. O parâmetro de coliformes termotolerantes, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e condutividade elétrica estavam alterados nos três períodos de coleta em P2; não foram encontrados peixes em P2; em P3 observou-se alteração de coliformes termotolerantes e fósforo total nos três períodos e para DBO nos períodos 1 e 2, parâmetros indicativos de contaminação. A avaliação citogenética de peixes no período 2 demonstrou impacto citogenético em P3, com aumento ( $p < 0,05$ ) no número total de eritrócitos com alterações nucleares e de eritrócitos com micronúcleo, em relação a P1. Concluiu-se que as atividades antrópicas urbanas e industriais e agrícolas nos pontos e condições avaliados na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho impactaram negativamente na qualidade da água e população de peixes.

**Palavras-chave:** Genotoxicidade. Bioindicadores ambientais. Qualidade da Água. Planejamento Ambiental. Peixes.

## ABSTRACT

### **Analysis of water quality indicators and genotoxicity tests on fish in the Pirapozinho River watershed – SP.**

The quality of water resources within a watershed is directly linked to land use and occupation. Environmental planning is an indispensable tool for pointing out the correct way of using resources, aiming to avoid possible impacts caused by anthropogenic agricultural and urban activities, with consequent environmental degradation. The hydrographic basin under study corresponds to the Water Resources Management Unit of Alta Paulista and Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), comprised between the municipalities of Pirapozinho, Tarabai, Álvares Machado, Presidente Bernardes, Sandovalina and Mirante do Paranapanema. The objective of the present study was to evaluate the quality of water resources in the Pirapozinho River hydrographic basin, through the analysis of Water Quality Index (IQA) and the cytogenetic analysis of fish. The definition of water and fish collection points in the basin was carried out by assessing land use and occupation. Three points were defined, namely: P1) Control (preserved area); P2) Urban (area with urban and industrial human activities, with domestic and industrial effluent disposal and P3) Rural (nearby agricultural activities). Three collection periods were carried out, according to the seasons (June, September and December 2019). The water quality parameters were evaluated according to the recommendations of the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB). Fish were collected for cytogenetic analysis of erythrocytes stained by the Giemsa method. The evaluation of water quality parameters indicated that the Pirapozinho river corresponds to Class II, according to CONAMA Resolution 357/2005 of the Ministry of the Environment. In the period of collection 1, the water was classified as good in P1 (61.8) and as reasonable in P2 (46.7) and P3 (43.6). In the periods of collection 2 and 3, there was a worsening in the classification of water in P2 (33.3 and 30.4, respectively), which went from reasonable to bad. P2 was the one that showed the greatest changes in all the evaluation periods. The parameter of thermotolerant coliforms, total phosphorus, biochemical oxygen demand, total nitrogen and electrical conductivity were altered in the three collection periods in P2; no fish were found in P2; in P3, changes in thermotolerant coliforms and total phosphorus were observed in the three periods and for BOD in periods 1 and 2, parameters indicative of contamination. The cytogenetic evaluation of fish in period 2 demonstrated a cytogenetic impact in P3, with an increase ( $p < 0.05$ ) in the total number of erythrocytes with nuclear alterations and erythrocytes with micronucleus, in relation to P1. It was concluded that urban and industrial and agricultural anthropic activities at the points and conditions evaluated in the Pirapozinho River hydrographic basin had a negative impact on water quality and fish population.

**Keywords:** Genotoxicity. Environmental Bioindicators. Water Quality. Environmental Planning. Fish.

## LISTA DE SIGLAS

CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
CEUA	– Comissão de Ética no Uso de Animais.
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DQO	– Demanda Química de Oxigênio.
FT	– Fósforo Total.
IQA	– Índice de Qualidade da Água.
N <sub>2</sub>	– Nitrogênio molecular.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	– Amônia.
NO	– Nitrogênio orgânico.
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	– Nitrito.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	– Nitrato.
NT	– Nitrogênio Total.
OD	– Oxigênio dissolvido.
pH	– Potencial Hidrogênico.
PNMA	– Política Nacional do Meio Ambiente.
RT	– Resíduo Total.
SMEWW	– Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
UGRHI-22	– Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Alta Paulista e do Pontal do Paranapanema.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Enquadramento dos Corpos Hídricos Conforme CONAMA 357/05.....	22
Tabela 2 – Classificação do Índice de Qualidade de Água.....	24
Tabela 3 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.....	25
Tabela 4 – Cálculo para obtenção do IQA e respectivo peso.....	25
Tabela 5 – Enquadramento do pH em corpo hídrico .....	26

## LISTA DE TABELAS DO ARTIGO

Tabela 1 – Metodologia utilizada para obtenção do Índice de Qualidade da Água.....	43
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água nos pontos 1, 2 e 3 nos diferentes períodos de coleta.....	46
Tabela 3 – Alterações nucleares observadas em eritrócitos de peixes da Bacia do Rio Pirapozinho – SP no período de coleta 2 (setembro de 2019).....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Processo de Enquadramento dos Recursos Hídricos.....	21
Figura 2 –	Mapa da Hidrografia Conforme Decreto 10.755/77 - UGRHI 22.....	23

## LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO

Figura 1 –	Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, São Paulo.....	39
Figura 2 –	Mapa dos pontos de coleta na bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, São Paulo .....	40
Figura 3 –	Ponto Controle.....	40
Figura 4 –	Ponto Urbano.....	40
Figura 5 –	Ponto Rural.....	40
Figura 6 –	Média de precipitação entre os anos de 1970 e 2012 no Pontal do Paranapanema.....	42
Figura 7 –	Local de coleta de água (Ponto 2) em diferentes períodos.....	45
Figura 8 –	Análise citogenética em eritrócitos de peixes coletados na Bacia do Rio Pirapozinho.....	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Análise de qualidade da água .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Planejamento Ambiental.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Enquadramento dos recursos hídricos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Parâmetros e índices de qualidade da água .....</b>	<b>23</b>
2.4.1	Potencial hidrogeniônico (pH) .....	26
2.4.2	Turbidez .....	27
2.4.3	Oxigênio dissolvido.....	27
2.4.4	Nitrogênio total .....	28
2.4.5	Fósforo total .....	28
2.4.6	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) .....	29
2.4.7	Demanda química de oxigênio (DQO).....	29
2.4.8	Resíduo total .....	29
2.4.9	Coliformes termotolerantes .....	29
2.4.10	Temperatura.....	30
<b>2.5</b>	<b>Legislação ambiental .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6</b>	<b>Bioindicadores para análise ambiental .....</b>	<b>32</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo A - PARECER DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA).....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é o elemento principal para subsistência de todo organismo vivo no planeta Terra, e se encontra de forma abundante, onde na sua totalidade, 97% estão constituídas nos oceanos como água salgada, e apenas 3% é encontrada como água doce. Desta pequena fração, 2% estão dispostas em geleiras; sendo que apenas 1% é encontrada de forma distribuída em 97% como águas subterrâneas e 3% como águas superficiais (BOTKIN; KELLER, 2004).

De todos os recursos naturais existentes em uma bacia hidrográfica, a água se destaca, como o mais importante, por ser necessária para manutenção de toda forma de vida existente no planeta. A qualidade da água de um manancial está diretamente ligada ao uso e atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, sendo definida como unidade de paisagem fundamental para o planejamento ambiental e conservação de recursos naturais (PEREIRA-SILVA *et al.*, 2011).

A bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Alta Paulista e do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), no oeste do Estado de São Paulo. Esta bacia sofre com uma dinâmica de ocupação intensa e irregular, como por exemplo, a invasão de áreas de preservação permanente e proteção ambiental, com a finalidade de atividades urbanas, agrosilvopastoril e indústrias. Assim, torna-se necessária a realização de planejamento ambiental, visando evitar a degradação dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2017).

No processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica devem ser considerados todos os elementos que arranjam a sua paisagem (água, relevo, solo, flora, fauna, pastagem, agricultura, residências, indústrias, população, economia, entre outros); além disso, deve-se compreendê-la como um conjunto, composto por elementos naturais e sociais, os quais são dinâmicos e estão inter-relacionados (DIBIESO, 2013).

Segundo Mota (1999), o planejamento territorial de uma bacia hidrográfica tem a sua base nos princípios ambientais, constituindo o melhor método para evitar a degradação dos recursos hídricos, utilizando o planejamento correto, poderá evitar com que os recursos hídricos sofram com a grande intensidade da ocupação antrópica. Segundo Rheinheimer *et al.* (2003), o uso indiscriminado de insumos agrícolas e a falta de manejo do solo, tem acarretado em consequências graves,

pela falta de consciência na proteção dos recursos de solo e água, podendo acarretar no aumento da poluição ambiental.

A agricultura, ao longo dos anos tem causado grande influência na contaminação de recursos hídricos, devido à necessidade do aumento de produção para abastecer a demanda no mercado; a necessidade de combate e controle de pragas por meio da utilização de fertilizantes, agrotóxicos e conservantes de madeira, alteram a paisagem e qualidade de água na bacia hidrográfica (PEDROZO *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2002). O uso de insumos agrícolas e o manejo irregular do solo têm ocasionado impactos que afetam diretamente os recursos naturais, aumentando a probabilidade de poluição ambiental e interferências na vida de espécies aquáticas (RHEINHEIMET *et al.*, 2003; CORREIA *et al.*, 2017).

A bacia hidrográfica não abrange somente o entorno do rio principal e seus afluentes, mas sim, tudo o que acontece dentro do divisor de águas, pois grande parte dos sedimentos que são transportados através do arraste de partículas pelas águas da chuva, acabam por sua vez, chegando às margens dos rios, qualquer interferência de atividade antrópica em seu interior irá resultar em dano ambiental, acarretando impactos diretos e indiretos sobre os mananciais, que devem ser avaliados (TONELLO, 2005).

Os bioindicadores são utilizados para verificar a perturbação que ocorre no meio ambiente, sendo estes organismos como: plantas, animais, fungos, bactérias, entre outros (BUENO *et al.*, 2017). Dentre todos os organismos relacionados, os peixes são utilizados com maior frequência para o monitoramento da poluição em ecossistemas aquáticos (RAMSDORF *et al.*, 2012).

Segundo Deutschmann *et al.* (2016), os peixes são escolhidos como bioindicadores e sentinelas, pois sua sensibilidade a baixas concentrações de contaminantes ambientais favorece a identificação do nível de contaminação de um manancial. Paulino *et al.* (2014) afirmam que a grande área da superfície das guelras em contato com a água e a distância de difusão muito fina entre a água e sangue dos peixes favorecem a absorção de moléculas contaminantes dissolvidos em água. Como os peixes são largamente utilizados na nutrição humana, o seu potencial de bioacumulação de substâncias genotóxicas pode afetar toda a cadeia alimentar (VASCONCELOS, 2012).

Para Adams e Greeley (2000), os peixes são excelentes indicadores de poluição aquática, pois ocupam diferentes posições na cadeia alimentar. Rodrigues

*et al.* (2010); Velusamy *et al.* (2014), relataram que os bioindicadores respondem a alterações, a partir de fatores celulares, fisiológicos, bioquímicos genéticos e históricos, podendo afetar a estrutura das espécies, causando stress no ambiente.

A detecção da contaminação das águas por agentes com atividade genotóxica pode ser realizada através do teste de micronúcleos em eritrócitos de peixes; o teste de micronúcleo é conhecido por ser uma ferramenta confiável e rápida, usada para detectar a presença de agentes genotóxicos, sendo largamente utilizado em programas de pesquisa ambiental para definição de alterações genéticas nos organismos em águas poluídas (ARSLAN *et al.*, 2015).

Rivero (2007) afirma que os agentes genotóxicos causam danos no DNA e caso não ocorra o reparo das lesões, pode iniciar uma cascata de consequências biológicas nas células, órgãos, e até no animal inteiro, finalmente atingindo a população e comunidade onde o organismo está inserido. Os danos em animais aquáticos estão geralmente associados à redução do crescimento corporal, desenvolvimento anormal, diminuição da sobrevivência de embriões, larvas e animais adultos (LEE; STEINERT, 2003).

A maioria dos estudos ambientais têm utilizado para o planejamento ambiental, a avaliação do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, embora a utilização do planejamento ambiental não seja objetivo desse estudo. Todavia, Trombeta (2015) afirma que a análise integrada da paisagem, com abordagem sistêmica, tem um papel importante no planejamento ambiental e na gestão dos recursos hídricos. Mota (1999) relata que o planejamento territorial de uma bacia hidrográfica constitui o melhor método para evitar a degradação dos recursos hídricos, destacando que o crescente aumento da população e instalações de empreendimentos em locais sem estudo prévio, tem acarretado na contaminação de mananciais.

O problema de pesquisa desta dissertação surgiu com a necessidade de avaliar a qualidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, visto que sua utilização está mais relacionada para irrigações de monoculturas. Diante da relevância temática e da busca em mitigar possíveis impactos causados pelas atividades antrópicas na bacia hidrográfica, foi definida a seguinte questão de pesquisa: Quais são as características de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho e os possíveis impactos causados pelas atividades antrópicas agrícolas e urbanas?

A hipótese do estudo foi que o uso e ocupação do solo na bacia do Rio Pirapozinho, com atividades agrícolas e/ou industriais, causam alteração na qualidade do recurso hídrico e conseqüentemente danos na vida aquática no local.

O objetivo geral do presente estudo foi avaliar a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, por meio da análise de parâmetros de qualidade de água e da análise citogenética de peixes.

Os objetivos específicos foram:

- Apresentar uma discussão sobre a importância da qualidade da água e dos recursos hídricos;
- Discutir o papel do planejamento ambiental e da legislação ambiental para manutenção dos recursos hídricos;
- Apresentar os principais parâmetros de qualidade da água e bioindicadores utilizados na detecção de impactos ambientais, com ênfase na análise citogenética em peixes, utilizada no estudo;
- Definir os pontos de coleta de água e peixes na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, de acordo com características de uso e cobertura da terra;
- Realizar avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos da bacia do rio Pirapozinho, por meio dos indicadores recomendados pela CETESB;
- Realizar análise citogenética em peixes para identificação de potencial genotóxico de possíveis contaminantes presentes na bacia;
- Correlacionar os parâmetros de qualidade dos recursos hídricos com as possíveis alterações citogenéticas observadas em peixes;
- Discutir as principais formas de contaminação do rio Pirapozinho.

Esta dissertação será apresentada em dois capítulos, sendo o primeiro referente à revisão de literatura e o segundo ao artigo científico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Análise de qualidade da água

A qualidade da água está diretamente ligada às condições geológicas e geomorfológicas, da cobertura vegetal na bacia de hidrográfica, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces, e por fim, das ações do homem; são as ações do homem que causam mais alterações na qualidade da água, sendo essas realizações através dos lançamentos de cargas nos sistemas hídricos, alterações do uso do solo para cultivos em área rural, construções na área urbana, e na modificação do sistema fluvial (TUCCI, 2003).

Desde o princípio da existência da raça humana no planeta Terra, a água sempre foi o elemento encontrado com maior abundância, sendo o principal para sobrevivência de todo organismo vivo (MMA/ANA, 2007).

Segundo Tundisi, (2005) a água no planeta terra encontra-se distribuída em águas salgadas e doces, sendo que 97,5% em água salgada, totalizando 1.386 Mkm<sup>3</sup> e os 2,5% em água doce, sendo destes 68,9% compostas por calotas polares e geleiras, 29,9% de águas subterrânea, 0,9% outros reservatórios e 0,3% nos rios e lagos.

O Brasil é privilegiado por possuir grande disponibilidade hídrica, sendo que cerca de 12% dos recursos hídricos disponíveis de água doce no planeta estão inseridos em solo brasileiro; desta porcentagem, cerca de 70% dessa água se encontra na bacia Amazônica; dos 30% restantes do volume de água doce disponível, cerca de 93% é para abastecer a população do Brasil, incluindo a agricultura irrigada. (MMA/ANA, 2007).

A escolha da bacia hidrográfica como unidade integradora desses setores (naturais e culturais) deve ser administrada com esta função, a fim de que os impactos ambientais sejam minimizados; no Brasil a bacia hidrográfica constitui uma unidade físico-territorial para o planejamento, estabelecido na Lei Federal 9.433/97 e na Lei Estadual Paulista 7.663/91(CUNHA; GUERRA, 2003).

O estudo e planejamento de uma forma genérica, diz que bacia hidrográfica é toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento

superficial para o canal principal e seus tributários onde toda água que cair dentro dessa área terá apenas uma saída: o exutório (LIMA *et al.*, 2017).

Segundo Christofolletti (1981, p. 19), a bacia hidrográfica constitui “uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto, em que ocorre a entrada e saída de energia e matéria”. O que ocorrer a qualquer elemento presente nesse sistema terá reflexos sobre os demais. Desta forma, tudo o que ocorre na bacia hidrográfica reflete direta ou indiretamente nos rios e na qualidade e quantidade das águas (LEAL, 1995).

Santos (2004, p. 85) concebe a bacia hidrográfica como:

Um território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes e intermitentes. Seu conceito está associado à noção de sistema, nascente, divisores de águas, cursos de águas hierarquizados e foz. Toda ocorrência de eventos em uma bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica desse sistema, na quantidade dos cursos de água e sua qualidade. A medida de algumas de suas variáveis permite interpretar, pelo menos parcialmente, a soma de eventos. Essa é uma das peculiaridades que induz os planejadores a escolherem a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão. Consequentemente, é muito comum constatar que o banco de dados do planejamento está estruturado em função dessas unidades. Somado a isso, não há dúvidas de que é essencial a proteção à água, por sua condição de elemento fundamental para a vida e para as atividades humanas.

## 2.2 Planejamento Ambiental

O planejamento ambiental é uma ferramenta importante para tomadas de decisões, pois constitui um processo envolvendo coleta, organização e análise sistematizadas das informações, por metodologias escolhidas chegando a uma tomada final de decisão. No que concerne o planejamento ambiental estabelece uma conexão entre os sistemas ecológicos e processos da sociedade, das necessidades socioculturais a atividades e interesses econômicos, tentando manter a qualidade dos elementos envolvidos (SANTOS, 2004).

Arana *et al.* (2018) relata que o planejamento ambiental quando aplicado ao meio ambiente tem por objetivo a organização, direção, controle e manejo de dados, para que haja uma interação entre o homem e a natureza, sendo ambos beneficiados.

Guerra (2018) afirma ainda que o planejamento ambiental é fundamental para elaboração de qualquer ação do homem no meio ambiente, assegurando benefícios para os residentes, na medida que reconciliam as preocupações

ambientais. Haughton (2017) relata ainda que a gestão ambiental, utilizando parâmetros como a qualidade da água, envolve muito bem o planejamento ambiental.

Santos e Piroli (2020) retratam em sua dissertação que o papel estratégico do planejamento ambiental vai além de proteger e garantir a preservação e conservação dos recursos hídricos, mas também de assegurar a sobrevivência da civilização.

### **2.3 Enquadramento dos recursos hídricos**

Segundo a Lei 9.433 de 1997, o enquadramento dos recursos hídricos é um instrumento de planejamento ambiental instituído na Política dos Recursos Hídricos, que estabelece normas para realização do enquadramento de rios em classes (CONAMA 357/05). Deve-se estabelecer metas de qualidade de água a ser obrigatoriamente alcançadas ou mantidas, gerando, assim, um processo de enquadramento, conforme a Figura 1.

Os recursos hídricos podem atribuir diferentes características físico-químicas condicionadas naturalmente ou por atividade antrópica; as ações decorrentes das atividades humanas no meio ambiente alteram significativamente o seu grau de pureza, principalmente no que se refere à qualidade das águas (CETESB, 2017).

A resolução CONAMA 357/05 classifica os recursos hídricos no território brasileiro em águas doces, salobras e salinas, onde são relacionadas em treze classes diferentes. Destacamos somente as águas doces que, por sua vez, é classificada da seguinte forma (Tabela 1).

O enquadramento dos recursos hídricos é fundamental para o planejamento na gestão das águas, contribuindo para classificação dos rios, conforme análise dos índices de qualidade da água. A CETESB obteve a avaliação e obtenção da classe II na bacia do rio Pirapozinho (Figura 2).

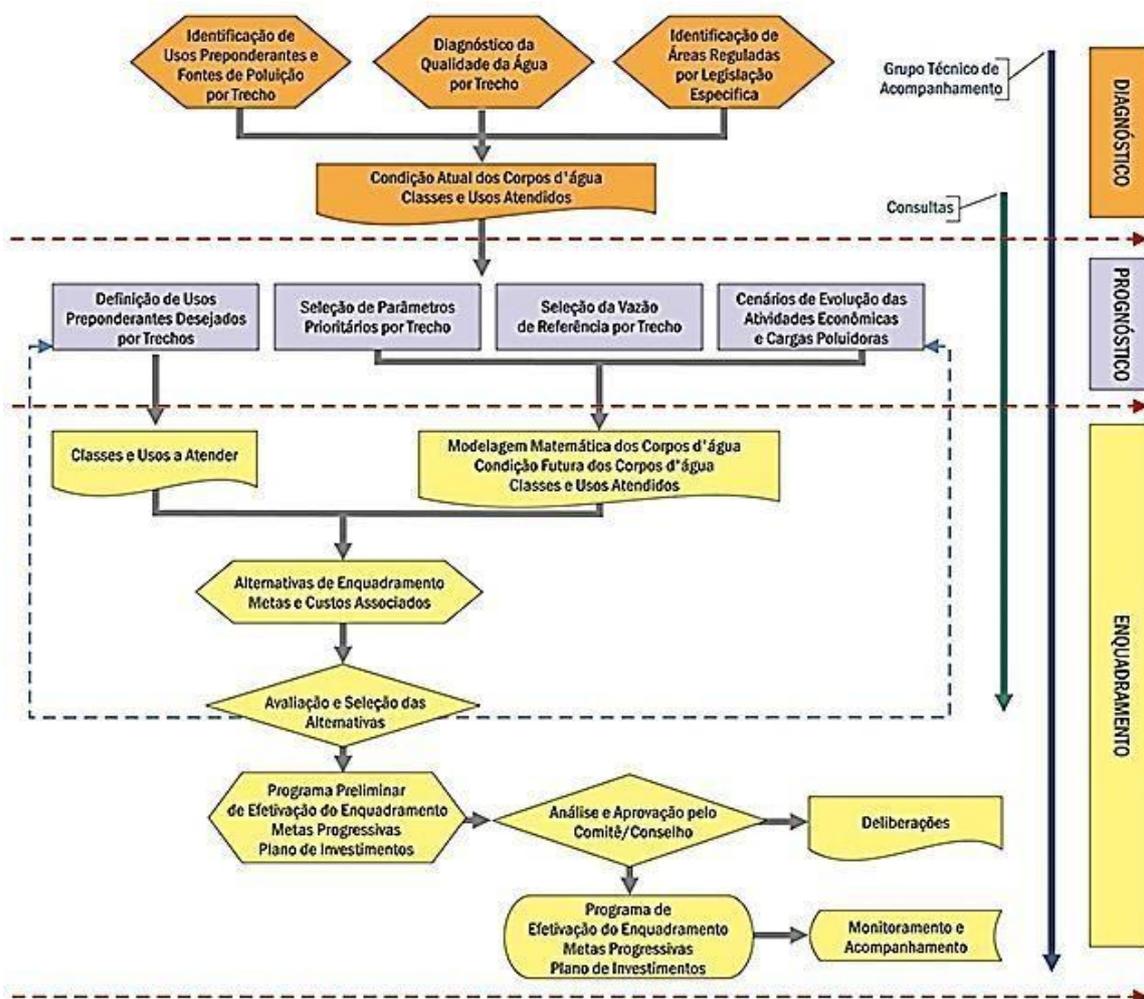
Em 31 de maio de 2011, o Conselho Nacional do Meio Ambiente nos usos de suas atribuições publicou uma nova resolução (CONAMA 430) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a resolução CONAMA 357. As alterações trataram dos seguintes temas: das

condições e padrões de lançamento de efluentes e da disposição final e transitória revogando os arts. 39, 43, 44 e 46 da resolução CONAMA 357.

Von Sperling *et al.* (2001), enfatiza que as características físicas apresentam impurezas do ponto de vista físico associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água, sendo que estes podem ser em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho. As características químicas, por sua vez, podem ser interpretadas através de duas classificações, sendo elas: I) matéria orgânica ou inorgânica; e II) as características biológicas, onde os seres presentes na água podem ser vivos ou mortos, sendo eles pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas.

Os itens apresentados a seguir descrevem os principais parâmetros para interpretação dos resultados de análise dos recursos hídricos. Estes indicadores podem ser utilizados de maneira geral, tanto para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores (MOTA, 2010).

Figura 1 – Processo de Enquadramento dos Recursos Hídricos.



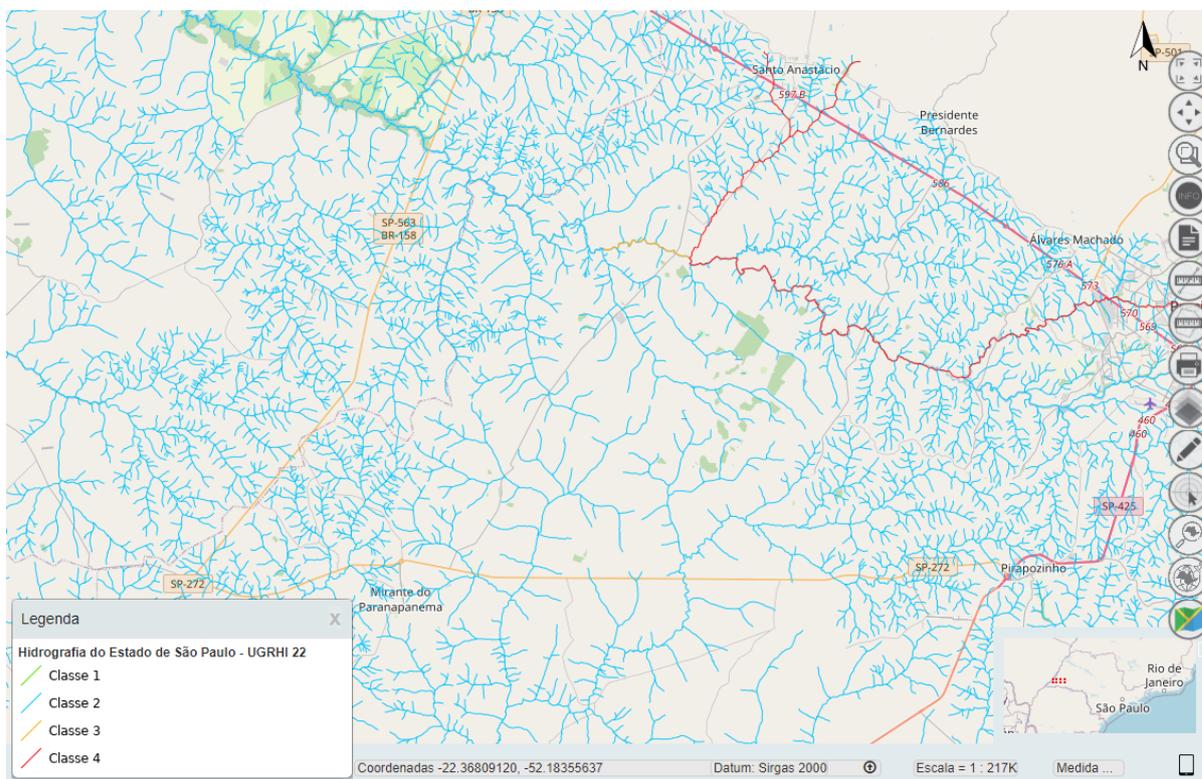
Fonte: SIGRH (2019).

Tabela 1 – Enquadramento dos Corpos Hídricos Conforme CONAMA 357/05.

<b>Águas doces (classes)</b>	<b>Principais usos</b>
<b>Classe especial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após desinfecção</li> <li>• Preservação dos ambientes aquáticos</li> </ul>
<b>Classe I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento após tratamento simplificado</li> <li>• Recreação de contato primário</li> <li>• Irrigação de hortaliças e frutas</li> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional</li> </ul>
<b>Classe II</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreação de contato primário</li> <li>• Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer</li> <li>• Aquicultura e à atividade de pesca</li> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado</li> </ul>
<b>Classe III</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas</li> <li>• Pesca amadora</li> <li>• Recreação de contato primário</li> <li>• Dessedentação de animais</li> </ul>
<b>Classe IV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação e harmonia paisagística</li> </ul>

Fonte: CONAMA 357/05 adaptado por Almeida (2020).

Figura 2 – Mapa da hidrografia conforme Decreto 10.755/77 - UGRHI 22.



Fonte: DataGEO (Sistema Ambiental Paulista), adaptado por Almeida (2020).

## 2.4 Parâmetros e índices de qualidade da água

O Índice de Qualidade da Água (IQA) surge como uma alternativa para avaliar a qualidade de um corpo hídrico; usa-se parâmetros para determinar suas características físicas, químicas e biológicas, onde estes ao atingir resultados superiores aos estabelecidos indicam que contém impurezas, e, conseqüentemente, a contaminação de mananciais inviabilizando, o uso deste recurso para abastecimento humano (CETESB, 2017).

Através de estudos realizados pela “National Sanitation Fundation”, a CETESB adaptou e elaborou o IQA através dos cálculos nas (Tabelas 3 e 4), onde incorpora nove variáveis: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, temperatura da água, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido (OD) consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas em questão (CETESB, 2017).

A Tabela 2 apresenta as classificações de acordo com o IQA.

Tabela 2 – Classificação do Índice de Qualidade de Água.

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Cor</b>
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$	Azul
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$	Verde
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$	Amarela
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$	Vermelha
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$	Roxa

Fonte: CETESB (2017) adaptado por Almeida (2020).

O cálculo do IQA é obtido através das seguintes fórmulas, conforme CETESB (2017):

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

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

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, com um número entre 0 e 100;

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Tabela 3 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.

Parâmetro de qualidade da água	Peso (w)
Oxigênio dissolvido – OD (% OD)	0,17
Coliformes termotolerantes “fecais” (NMP/100 ml)	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	0,10
Temperatura da água / Variação na Temperatura (°C)	0,10
Nitrogênio total / Nitratos (mg/L – NO <sub>3</sub> )	0,10
Fósforo total / Fosfatos (mg/L – PO <sub>4</sub> )	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos totais (mg/L)	0,08

Fonte: CETESB (2017), adaptado por Almeida (2020).

Tabela 4 – Cálculo para obtenção do IQA e respectivo peso.

(continua)

Parâmetro	Lim. mínimo (>)	Lim. máximo (≤)	Equação de qi
Log10(Coliformes termotolerantes)	0	1	$100 - 33 \cdot \log C$
	1	5	$100 - 37,2 \cdot \log C + 3,60743 \cdot \log C^2$
	5		3
pH	0,0	2,0	2
	2,0	4,0	$13,6 - 10,6 \cdot \text{pH} + 2,4364 \cdot \text{pH}^2$
	4,0	6,2	$155,5 - 77,36 \cdot \text{pH} + 10,2481 \cdot \text{pH}^2$
	6,2	7,0	$- 657,2 + 197,38 \cdot \text{pH} - 12,9167 \cdot \text{pH}^2$
	7,0	8,0	$- 427,8 + 142,05 \cdot \text{pH} - 9,695 \cdot \text{pH}^2$
	8,0	8,5	$216 - 16 \cdot \text{pH}$
	8,5	9,0	$1415823 \cdot \text{EXP}(-1,1507 \cdot \text{pH})$
	9,0	10,0	$228 - 27 \cdot (\text{pH})$
	10,0	12,0	$633 - 106,5 \cdot \text{pH} + 4,5 \cdot \text{pH}^2$
	12,0	14,0	3
DBO	0	5	$99,96 \cdot \text{EXP}(-0,1232728 \cdot \text{C})$
	5	15	$104,67 - 31,5463 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{C})$
	15	30	$4394,91 \cdot \text{C}^{-1,99809}$
	30		2
Nitrogênio Total (mgN/L)	0	10	$100 - 8,169 \cdot \text{C} + 0,3059 \cdot \text{C}^2$
	10	60	$101,9 - 23,1023 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{C})$
	60	100	$159,3148 \cdot \text{EXP}(-0,0512842 \cdot \text{C})$
	100		1
Fósforo Total (mgPO <sub>4</sub> /L)	0	1	$99 \cdot \text{EXP}(-0,91629 \cdot \text{C})$
	1	5	$57,6 - 20,178 \cdot \text{C} + 2,1326 \cdot \text{C}^2$
	5	10	$19,8 \cdot \text{EXP}(-0,13544 \cdot \text{C})$
	10		5
Diferença de Temperatura			94 (assumindo o valor constante de 94 pela CETESB, por se considerar que, nas condições brasileiras, a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio)

Tabela 4 – Cálculo para obtenção do IQA e respectivo peso.

(conclusão)

	0	25	$100,17 - 2,67 \cdot \text{Turb} + 0,03775 \cdot \text{Turb}^2$
Turbidez (UNT)	25	100	$84,76 \cdot \text{EXP}(-0,016206 \cdot \text{Turb})$
	100		5
	0	150	$79,75 + 0,166 \cdot C - 0,001088 \cdot C^2$
Sólidos Totais (mg/L)	150	500	$101,67 - 0,13917 \cdot C$
	500		32
	0	50	$3 + 0,34 \cdot (\% \text{sat}) + 0,008095 \cdot (\% \text{sat})^2 + 1,35252 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{sat})^3$
Percentagem de Saturação de OD (%)	50	85	$3 - 1,166 \cdot (\% \text{sat}) + 0,058 \cdot (\% \text{sat})^2 - 3,803435 \cdot 0,0001 \cdot (\% \text{sat})^3$
	85	100	$3 + 3,7745 \cdot (\% \text{sat})^{0,704889}$
	100	140	$3 + 2,9 \cdot (\% \text{sat}) - 0,02496 \cdot (\% \text{sat})^2 + 5,60919 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{sat})^3$
	140		3 + 47
	Concentração de saturação de OD (mg/L)		$C_s = (14,62 - 0,3898 \cdot \text{temp} + 0,006969 \cdot \text{temp}^2 - 0,00005896 \cdot \text{temp}^3) \cdot (1 - 0,0000228675 \cdot \text{altitude})^{5,167}$
Percentagem de saturação (%)		$100 \cdot \text{OD} / C_s$	

C: concentração (mg/L); temp= temperatura; turb= turbidez

Fonte: CETESB (2017) e Von Sperling (2007), adaptado por Almeida (2020).

#### 2.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Representa a quantidade de íons de hidrogênio ( $H^+$ ), em escala anti-logarítmica, onde serão definidos os valores indicativos de acidez, neutralidade e alcalinidade da água, variando a faixa de pH de 0 a 14, sendo este parâmetro importante para garantia de vida aquática (Tabela 5).

Tabela 5 – Enquadramento do pH em corpo hídrico.

Indicador de pH em corpo hídrico		
pH	Condições H <sub>2</sub> O	Consequências
> 7	Ácido	Podem apresentar características corrosivas.
= 7	Neutro	Apresentam neutralidade.
< 7	Alcalino	Podem formar incrustações em tubulações.

Fonte: CETESB (2017) adaptado por ALMEIDA (2020).

Conforme a CETESB (2016), a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se direta e indiretamente sobre os efeitos da fisiologia das

espécies. Desta forma, entende-se que as restrições de faixas de pH para as classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal quanto pela legislação do estado de São Paulo, obedecerão aos critérios de proteção à vida aquática, fixando o pH entre 6 e 9.

#### 2.4.2 Turbidez

Representa a presença de sólidos em suspensão na água, impedindo a passagem de luz e dificultando a realização de fotossíntese da vegetação existente no corpo hídrico. A quantidade de sólidos em suspensão é originada de duas formas, sendo elas de origem natural e antrópica. A primeira ocorre através do processo de intemperismo das rochas e erosão dos solos que associados com a água da chuva, levam sedimentos para os fundos de vale e elevam a Turbidez (MOTA, 2010).

De acordo com Von Sperling *et al.* (2001), a origem antrópica isto associada a despejos que contenham compostos tóxicos e organismos patogênicos, que também reduzirão a penetração de luz e dificulta a fotossíntese.

#### 2.4.3 Oxigênio dissolvido

O Oxigênio Dissolvido (OD) é um parâmetro indicador para avaliar o grau de poluição no corpo hídrico e de importância para os organismos aeróbios. Quando em baixas concentrações, indica que a água está com a carga orgânica elevada, o que poderá prejudicar o ecossistema aquático.

Neste sentido, o lançamento de efluentes não tratados é um dos fatores que altera a qualidade das águas, podendo proporcionar o aumento de matéria orgânica. As bactérias em seus processos respiratórios exigem uma grande demanda de oxigênio, provocando uma redução significativa na concentração de OD no corpo hídrico. O oxigênio dissolvido é indispensável para a vida aquática, e caso seja totalmente consumido, irá acarretar na extinção de diversos seres aquáticos, dando-se origem as condições anaeróbicas, gerando maus odores (VON SPERLING *et al.*, 2001).

#### 2.4.4 Nitrogênio total

Segundo Funasa (2014) o nitrogênio pode ser encontrado nos recursos hídricos de diferentes formas, sendo elas: a) nitrogênio molecular ( $N_2$ ), podendo este estar sujeito a perdas para a atmosfera; b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); c) amônia ( $NH_4^+$ ); d) nitrito ( $NO_2^-$ ) e e) nitrato ( $NO_3^-$ ), onde o nitrogênio total é realizado através da sua quantificação.

O nitrogênio é considerado um elemento essencial para o desenvolvimento das algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo estes encontrados em abundância na natureza em forma de proteínas e compostos orgânicos. Quando em elevadas concentrações, poderá desenvolver um crescimento exagerado desses organismos, ocasionando o fenômeno chamado de eutrofização (MOTA, 2010). Por sua vez, altas concentrações de nitrogênio poderão ser encontradas no recurso hídrico em decorrência de origem antrópica, sendo elas através de lançamentos de despejos domésticos, industrial e manejos de solo realizados por atividade agrosilvopastoril.

#### 2.4.5 Fósforo total

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017) os fertilizantes de fosfatos mais comuns são: pedra de fosfato moída, escória básica (subproduto da fabricação de ferro e aço), superfosfato, onde este é produzido para o tratamento de pedra de fosfato com ácido fosfórico e, por último, fosfato mono e diamônico.

O fósforo é um elemento essencial para o desenvolvimento de plantas e algas. Entretanto, quando em elevada concentração, poderá provocar o fenômeno da eutrofização. Dentre as principais fontes estão os efluentes domésticos, industriais e de produtos agrícolas; no primeiro, a sua maior concentração está no uso de detergentes e em efluentes sanitários; em indústrias na produção de fertilizantes, alimentos como em laticínios, frigoríficos e abatedouros; por último, na produção agrosilvopastoril, quando a água pluvial encontra-se com os dejetos animais durante o escoamento para os fundos de vale.

#### 2.4.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Os parâmetros de DBO são utilizados para medir a quantidade de oxigênio consumido através do processo de decomposição de matéria orgânica pelos microrganismos aeróbicos presentes na água.

Portanto, sabe-se que a matéria orgânica é um dos principais causadores de poluição dos recursos hídricos, pois através do processo de decomposição microbiano, irá reduzir de forma significativa a demanda de Oxigênio Dissolvido. Este parâmetro é realizado de forma convencional, conhecido como DBO<sub>5,20</sub>, onde, para que seja estabilizado de forma completa, a matéria orgânica é analisada após um período de 5 dias em uma temperatura de 20°C (FUNASA, 2014).

#### 2.4.7 Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica, e seu processo é realizado por meio do agente químico (dicromato de potássio). Em laboratório a DQO tem um prazo muito menor em comparação com o teste realizado para valores de DBO. Portanto, para análise de um mesmo líquido, os valores de DQO sempre serão maiores comparados a DBO (MOTA, 2010).

#### 2.4.8 Resíduo total

Segundo a Agência Nacional das Águas (2017), o resíduo total é a matéria orgânica que permanece logo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante uma determinada temperatura. Todavia, quando o resíduo total é depositado no fundo dos leitos, estes podem causar assoreamento do afluente, além de danificar a desova de peixes no local.

#### 2.4.9 Coliformes termotolerantes

A água captada para consumo humano não deve conter nenhum microrganismo patogênico, e para determinar se afluente está em condições de potabilidade deve ser realizada análise bacteriológica. O indicador para a identificação desses microrganismos é conhecido pelo grupo coliforme. Este, por sua vez, contém dois grandes grupos, sendo os coliformes totais e coliformes

fecais. A *Escherichia Coli* inclui-se nos coliformes fecais, sendo um dos mais importantes indicadores que representam os coliformes termotolerantes (MOTA, 2010).

Os coliformes termotolerantes são indicadores da presença de microrganismos patogênicos contidos na água, e esses poderão indicar se o recurso está recebendo despejo de esgoto em seu leito.

#### 2.4.10 Temperatura

A temperatura afeta os organismos que vivem no corpo d'água de forma direta. É sabido que a temperatura se altera durante os períodos do dia e através das estações do ano, sendo assim, os organismos acabam se adaptando com o clima da localidade.

A interferência do homem na bacia hidrográfica através da necessidade de expansão e exploração dos recursos, acaba impactando de maneira direta o corpo hídrico, através de lançamentos de efluentes de torres de resfriamento e despejos industriais.

Ao lançar efluentes sem tratamento, altera as características físico-químicas da água, tais como a tensão superficial e na viscosidade; os organismos aquáticos são afetados por essas temperaturas fora dos seus limites de tolerância térmica, influenciando o crescimento e reprodução (ANA, 2017).

### 2.5 Legislação ambiental

As leis relacionadas à conservação ambiental no Brasil, se tornaram mais conhecidas e aplicadas a partir da Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, onde foi criado a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), com o objetivo de proporcionar a preservação, estabelecer melhoria e recuperação da qualidade ambiental propiciando à vida, com isso, visando assegurar no país, condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

Após a criação e aplicação da legislação ambiental no Brasil, os recursos naturais passaram a ser considerado patrimônio público, de uso coletivo, onde o mesmo deve ser protegido e assegurado por todos. O Artigo 225 da Constituição

Federal de 1988, estabelece que todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, sem este bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, estabelecendo as incumbências do Poder Público e à coletividade do dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações, garantindo a sua efetividade.

Destaca-se no § 1º, Inciso VI, a obrigatoriedade do Poder Público de estabelecer e promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para preservação do meio ambiente, fazendo com que garanta a qualidade dos recursos naturais disponíveis na bacia hidrográfica.

A Lei 9.433 de 8 janeiro de 1997, institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, onde no Art. 1º inciso II, baseia-se no fundamento de que, a água é um recurso limitado, assim sendo, deve-se manter ao máximo a qualidade do recurso hídrico, fornecendo meios para que o afluentes possa realizar a sua alta depuração.

A resolução CONAMA 001 de 23 de janeiro de 1986, estabelece responsabilidades e critérios, para que seja realizado estudo de impacto ambiental preliminar, para futuros empreendimentos e uso do solo, como aterros sanitários, processamento e destino de resíduos tóxicos e perigosos; distritos industriais e zonas estritamente industriais, entre outros.

O empreendimento deve-se fazer parte do enquadramento e obedecer às diretrizes que estão prescritas na resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, onde estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos.

A Lei Federal 12.651/12 e Lei Complementar 12.727/12, estabelece o novo código florestal, disponibilizando a proteção da vegetação nativa, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal. Contudo, entende-se por Área de Preservação Permanente, aquela que é protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico de fauna e flora, protegendo o solo.

Da limitação de Área de Preservação Permanente, sendo ela, tanto em zonas rurais ou urbanas, deve-se obedecer ao que diz respeito no Art. 4º, inciso I:

I - às faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito

regular, em largura mínima de: (*Inciso com redação dada pela Lei nº 12.727, de 17/10/2012*)  
30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;  
50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;  
100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;  
200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;  
500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

Verificou-se que renomados juristas apontam para que, caso venha ocorrer conflitos entre legislações, deve predominar aquela mais restritiva e que, nos casos onde não for possível uma intervenção unívoca, a escolha deve recair sobre a interpretação mais favorável a proteção ambiental (FIGUEIRÓ; COLAU, 2014).

## **2.6 Bioindicadores para análise ambiental**

Os bioindicadores são utilizados para detecção de impactos ambientais e podendo ser plantas, animais, fungos, bactérias, entre outros (BUENO *et al.*, 2017), sendo os peixes amplamente utilizados para o monitoramento da poluição em ecossistemas aquáticos (RAMSDORF *et al.*, 2012), devido a sua alta susceptibilidade, inclusive a baixas concentrações de poluentes (DEUTSCHMANN *et al.*, 2016).

Os peixes devido a sua alta susceptibilidade, podem exercer a função de indicadores biológicos, visto a facilidade que sofrem com a bioacumulação e biomagnificação (ESSER, 1986); segundo (REPULA *et al.*, 2012), os peixes são capazes de armazenar uma certa quantidade de substâncias nocivas, sem sofrerem danos, servindo como indicadores de contaminação, utilizados para avaliação da qualidade de água em ambientes aquáticos.

Os bioindicadores nos permitem a identificação de possíveis interações entre os nutrientes minerais consumidos, sejam eles tóxicos ou essenciais para vida aquática, favorecendo a identificação direta ou indireta de agentes estressores no local (SERRÃO *et al.*, 2014).

Uma das ferramentas utilizadas para avaliar danos causados por substâncias xenobióticas em humanos e animais, especialmente em peixes, é o

teste do micronúcleo. Carrasco *et al.* (1990) foram os primeiros pesquisadores a definir critério específicos para análise e contagem de micronúcleos em peixes.

Este teste tem sido utilizado em biomonitoramento ambiental, devido a sua capacidade de detectar agentes clastogênicos (quebra de cromossomos) e agentes aneugênicos (segregação cromossômica anormal) (FENECH, 2000). Esta é uma técnica rápida, eficiente, econômica, indolor e muito utilizada como indicador de genotoxicidade (ARSLAN *et al.*, 2015).

Vários estudos têm experimentais e em ambiente natural utilizaram a análise de contagem micronúcleos em peixes para avaliação de exposição a contaminantes ambientais, especialmente agroquímicos (ZAPATA-RESTREPO *et al.*, 2017; ISMAIL *et al.*, 2018; ALVIM; MARTINEZ, 2019; DAVICO *et al.*, 2020).

A análise de micronúcleos em eritrócitos periféricos de peixes tem sido amplamente usada, pois evita procedimentos complexos associados à preparação de células e morte de grande número de animais.

### 3 ARTIGO

O presente estudo deu origem a um artigo intitulado “ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE MICRONÚCLEO EM PEIXES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPOZINHO - SP”, que será submetido ao periódico *Environmental Science and Pollution Research*.

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE  
GENOTOXICIDADE EM PEIXES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PIRAPOZINHO – SP, BRASIL**

Thiago de Paula Almeida<sup>1</sup>; Edson Assunção Mareco<sup>1</sup>; Daniel Ângelo Macena<sup>2</sup>; Ana Paula Alves Favareto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, Brasil.

\*Autor de Correspondência:

Dra. Ana Paula Alves Favareto

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, Brasil.

CEP. 19.067-175. Tel: +55 (18) 3229- 1098

*E-mail:* anafavareto@unoeste.br (A.P.A. Favareto).

## Resumo

A qualidade dos recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada ao uso e ocupação do solo. Atividades antrópicas agrícolas e urbanas podem gerar impactos com consequente degradação ambiental. O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, por meio da análise de parâmetros de qualidade de água e da análise citogenética de peixes. Foram definidos três períodos de coleta, de acordo com os períodos de chuva e seca em três pontos de coleta: Controle (P1); Urbano (P2) e Rural (P3). O Índice de Qualidade da Água (IQA) foram avaliados de acordo com as recomendações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Foram coletados peixes para análise citogenética de eritrócitos corados pelo método Giemsa. No período de coleta 1, a água foi classificada como boa em P1 (61,8) e como razoável em P2 (46,7) e P3 (43,6). Já nos períodos de coleta 2 e 3, houve uma piora na classificação da água em P2 (33,3 e 30,4, respectivamente), que passou de razoável a ruim. P2 foi o que apresentou maiores alterações em todos os períodos de avaliação, resultando na ausência de peixes. P3 observou-se alteração de coliformes termotolerantes e fósforo total nos três períodos e para DBO nos períodos 1 e 2, parâmetros indicativos de contaminação; P3 houve aumento ( $p < 0,05$ ) no número total de eritrócitos com alterações nucleares e de eritrócitos com micronúcleo, em relação a P1 (período 2). Concluiu-se que as atividades antrópicas urbanas/industriais e agrícolas nos pontos e condições avaliados na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho impactaram negativamente a qualidade da água e população de peixes.

**Palavras-chave:** Genotoxicidade. Bioindicadores Ambientais. Qualidade da Água. Planejamento Ambiental. Peixes.

## Introdução

A qualidade dos ambientes aquáticos está sendo alterada em todo o mundo, através de diferentes atividades antrópicas, impactando de forma direta e muitas vezes indiretamente o sistema ecológico e a biota aquática (LIMA CARDOSO *et al.*, 2018).

Ao longo dos anos, com a necessidade de aumentar a produção para abastecer a demanda no mercado, a agricultura tem causado grande influência na contaminação de recursos hídricos; o uso intensivo de fertilizantes e agroquímicos para o combate e controle de pragas, altera a paisagem e a qualidade de água na bacia hidrográfica (PEDROZO *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Pirapozinho está situada no oeste do estado de São Paulo e inserida na 22<sup>o</sup> Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema – UGRHI 22. A bacia sofre com a dinâmica de ocupação intensa e irregular, como a invasão de áreas de preservação permanente e proteção ambiental, com a finalidade de atividades urbanas, agrosilvopastoril e indústrias; esta vulnerabilidade leva à necessidade da realização de um planejamento ambiental, visando evitar a continuação da degradação dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2017).

Uma avaliação completa da qualidade da água de um corpo d'água é baseada no monitoramento de seus parâmetros hidrológicos, físicos, químicos e biológicos (JIANG, 2006). O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma técnica que simplifica os resultados de muitos parâmetros de qualidade da água em um único valor que expressa o status da qualidade da água (GOHER *et al.*, 2015).

A utilização de bioindicadores como plantas, animais, fungos, bactérias, entre outros, é uma ferramenta importante para aferir perturbações causadas no meio ambiente (BUENO *et al.*, 2017). Dentre todos os organismos relacionados, os peixes são utilizados com maior frequência para o monitoramento da poluição em ecossistemas aquáticos (RAMSDORF *et al.*, 2012).

Segundo (DEUTSCHMANN *et al.*, 2016), os peixes são escolhidos como bioindicadores e sentinelas; sua sensibilidade a baixas concentrações de contaminantes ambientais favorece a identificação do nível de contaminação de um manancial. Paulino *et al.*, (2014) afirmam que a grande área da superfície das guelras em contato com a água e a distância de difusão muito fina entre a água e

sangue dos peixes favorecem a absorção de moléculas contaminantes dissolvidos em água; como os peixes são largamente utilizados na nutrição humana, o seu potencial de bioacumulação de substâncias genotóxicas pode afetar toda a cadeia alimentar (VASCONCELOS, 2012).

A detecção da contaminação das águas por agentes com atividade genotóxica pode ser realizada através do teste de micronúcleos em eritrócitos de peixes; o teste de micronúcleo é conhecido por ser uma ferramenta confiável e rápida, usada para detectar a presença de agentes genotóxicos, sendo largamente utilizado em programas de pesquisa ambiental para definição de alterações genéticas nos organismos em águas poluídas (ARSLAN *et al.*, 2015).

Rivero (2007) afirma que os agentes genotóxicos causam danos no DNA e caso não ocorra o reparo das lesões, pode ser iniciada uma cascata de consequências biológicas nas células, órgãos, e até no animal inteiro, finalmente atingindo a população e comunidade onde o organismo está inserido. Os danos em animais aquáticos estão geralmente associados à redução do crescimento corporal, desenvolvimento anormal, diminuição da sobrevivência de embriões, larvas e animais adultos (LEE, STEINERT, 2003).

O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade dos recursos hídricos da bacia do Rio Pirapozinho, por meio da análise de parâmetros de qualidade de água e da análise citogenética de peixes. Para a avaliação, comparou-se três diferentes pontos, com características distintivas de uso e cobertura da terra, a fim de identificar possíveis impactos causados por atividades antrópicas urbanas/industriais e agrícolas.

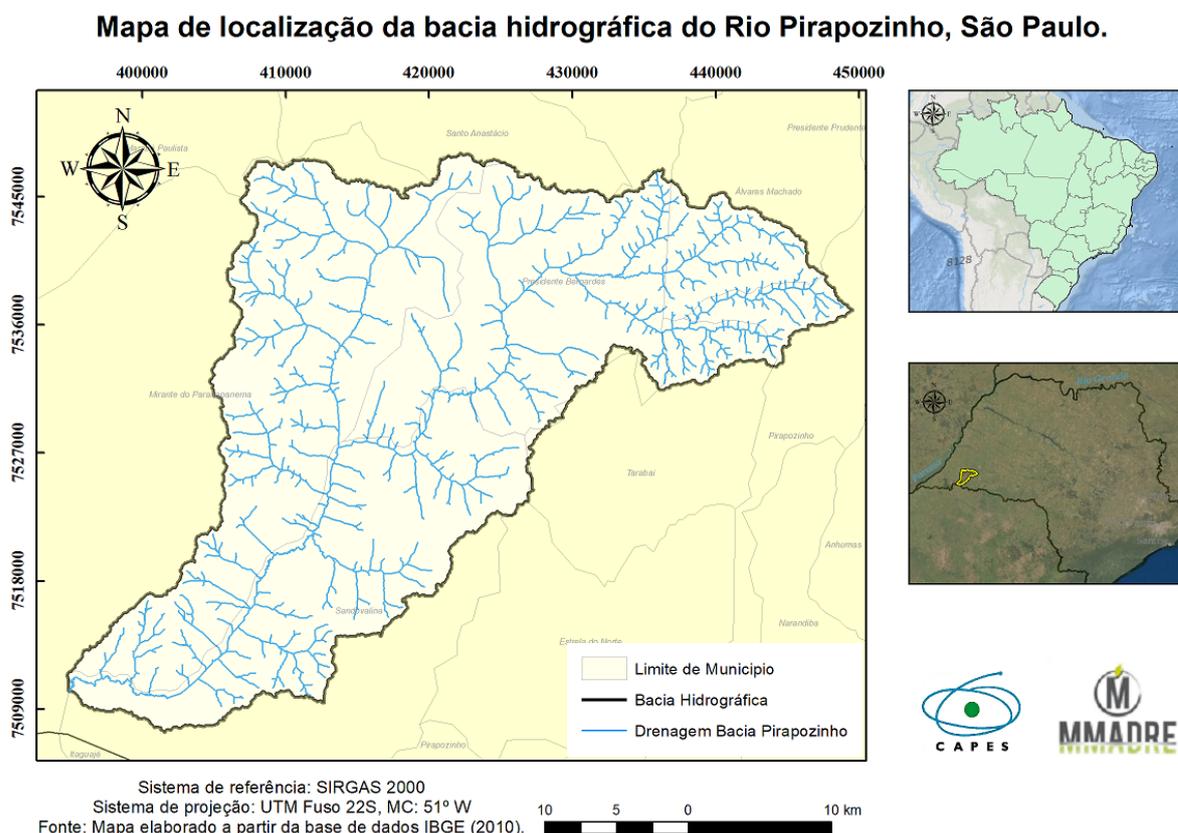
O estudo é inovador para área em questão, visto que há vários trabalhos relacionados a qualidade da água na bacia do rio Pirapozinho, mas nenhum que fizesse a correlação da análise citogenética de peixes com parâmetros de qualidade da água, apontando a fragilidade na gestão dos recursos hídricos, sendo este o ponto de grande relevância a ser destacado.

## Materiais e Métodos

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho (Figura 1) está localizada no oeste do estado de São Paulo, sudeste do Brasil. A bacia está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Alta Paulista e do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22) e está compreendida entre os municípios de Pirapozinho, Tarabai, Álvares Machado, Presidente Bernardes, Sandovalina e Mirante do Paranapanema.

**Figura 1.** Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, São Paulo.

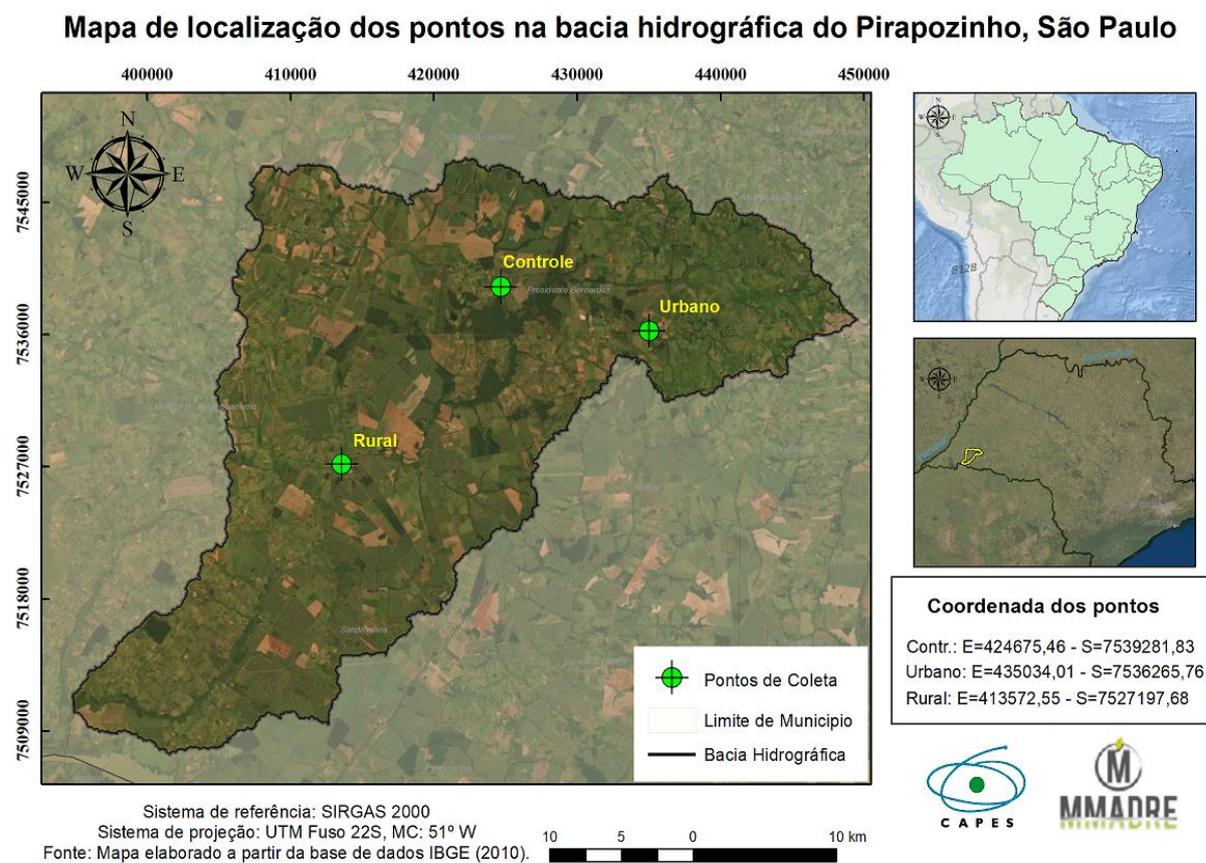


Fonte: Cartografia aplicada à análise ambiental de bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho. Almeida (2020).

Três pontos de coleta (Figura 2) de água e peixes foram definidos em função dos objetivos da rede e diferentes características ambientais:

- Ponto 1: Controle (E = 424675,46 – S = 7539281,83) – presença de Área de Preservação Permanente (APP) delimitada, proteção ambiental e conservação dos recursos (FIGURA 3);

**Figura 2.** Mapa dos pontos de coleta na bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, São Paulo – Ponto 1 (controle), Ponto 2 (urbano) e Ponto 3 (rural).



Fonte: Localização dos pontos na bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho. Almeida (2020).

**Figura 3.** Ponto Controle.



Fonte: Almeida (2020).

**Figura 4.** Ponto Urbano.



Fonte: Almeida (2020).

- Ponto 2: Urbano (E = 435034,01 – S = 7536265,76) - área com atividades antrópicas urbanas/industriais, com descarte de efluentes domésticos/industriais, sem delimitação e conservação de vegetação, a fim de conter processos erosivos (FIGURA 4);

- Ponto 3: Rural (E = 413572,55 – S = 7527197,68) - áreas agrícolas com plantações de cana-de-açúcar, muito próximas do afluente, muitas vezes sem proteção (FIGURA 5).

#### Obtenção das amostras

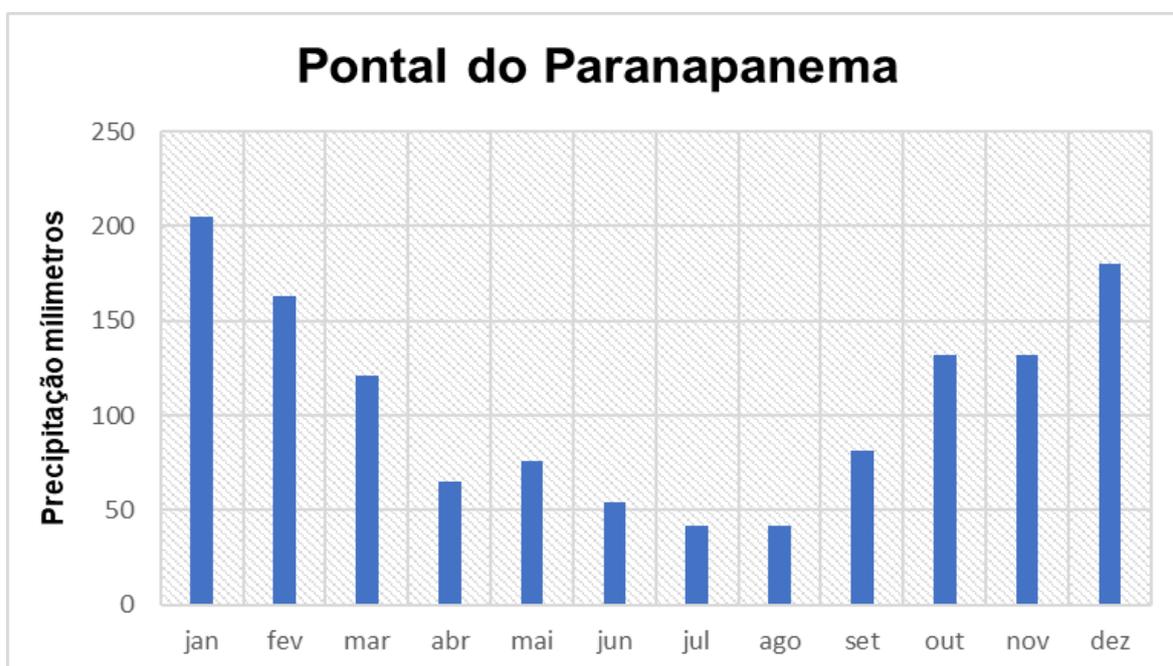
As coletas de amostras de água foram realizadas em junho (Período 1), setembro (Período 2) e dezembro (Período 3) de 2019, de acordo com os períodos de chuva/seca seguindo a NBR 9898/87. A coleta de peixes foi realizada em setembro de 2019 (Período 2). A precipitação média de cada mês de coleta foi obtida com base no levantamento realizado em 180 estações presentes no Pontal do Paranapanema. Este levantamento possui mais de 25 anos de dados, sendo que para este estudo foram captados entre os anos de 1970 e 2012, conforme Figura 6 (ANA, 2014).

**Figura 5.** Ponto Rural.



Fonte: Almeida (2020).

**Figura 6.** Média de precipitação entre os anos de 1970 e 2012 no Pontal do Paranapanema.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) adaptado por Almeida (2020).

As amostras de água foram coletadas em três repetições por ponto, por cada período de coleta e armazenadas em garrafas estéreis e mantidas a 4°C até o momento das análises.

De sete a nove espécimes de peixes lambari (*Astyanax bimaculatus*), piapara (*Megaleporinus obtusidens*) e tilápia (*Oreochromis spp*) adultos foram capturados durante cada amostragem em cada ponto. O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob protocolo nº 4910.

#### Análise da qualidade da água

As amostras de água foram submetidas a análises laboratoriais, para obtenção do Índice de Qualidade da Água (IQA/CETESB). Foram avaliados parâmetros físico-químicos (pH, turbidez, temperatura ambiente, temperatura da água, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total e sólidos totais) e microbiológicos (coliformes termotolerantes), e também realizado a análise condutividade elétrica conforme métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) (APHA, 2005) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Metodologia utilizada para obtenção do Índice de Qualidade da Água.

<b>Classe de ensaio / Descrição do Ensaio</b>	<b>Procedimento do SMWW, 21ª ed. (2005)</b>
<b>Ensaio físicos/químicos</b>	
Determinação da Turbidez pelo método nefelométrico LQ: 0,20 NTU.	Método 2130 – B
Determinação da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) - Método respiratório simplificado – Oxitop.	Método 5210 – B
Determinação de Oxigênio Dissolvido pelo método eletrométrico usando eletrodo de membrana.	Método 4500 – O-G
Determinação de pH pelo método potenciométrico. Faixa: 1,0 - 13,0	Método 4500 – H+2
Determinação pelo método de temperatura profunda.	Método 2550 – B2
Determinação de Nitrogênio Total pelo método fenato.	Método 4500 – NH <sub>3</sub> -F
Método de determinação Fósforo Total de redução com Ácido Ascórbico.	Método 4500 – P-F
Determinação de Sólidos Totais pelo método a seco em 103 a 108°C.	Método 2540 – B
<b>Ensaio biológicos</b>	
Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> - Técnica da membrana filtrante para membros do grupo coliformes.	Método 9222 – B

Fonte: APHA (2005) adaptado por Almeida (2020).

#### Análise citogenética em peixes

O teste do micronúcleo foi realizado em eritrócitos periféricos dos peixes, de acordo com metodologia descrita por Grisolia *et al.* (2009). Para os testes, foi utilizada uma gota de sangue, coletada da veia caudal, depositada em lâmina de vidro limpa e previamente identificada, para a preparação de esfregaço sanguíneo. As lâminas armazenadas em caixas próprias, foram mantidas separadas umas das outras, para a secagem por 24 horas em temperatura ambiente. Após este período, as lâminas foram fixadas em metanol (15 min), lavadas com água destilada e posteriormente coradas com Giemsa 5% (20 min). Após a coloração, as lâminas foram lavadas com água destilada e seca ao ar, em temperatura ambiente.

As análises foram analisadas em ensaio cego, utilizando microscópio óptico (Leica DMLS), sob aumento de 1000X. Foi realizada a contagem de micronúcleos em 4.000 células por animal e a frequência calculada conforme Nwani *et al.* (2011). Foram avaliadas as seguintes anormalidades nucleares, conforme descrito por Carrasco *et al.* (1990): I) núcleo com pequena evaginação, contendo eucromatina (*blebbed*); II) núcleo com evaginações maiores que o núcleo (*lobed*); III) núcleo com corte no material nuclear (*notched*); IV) broto nuclear (*broken-egg*); V) núcleo

vacuolizado; VI) células binucleadas e VII) trinucleadas. Foram consideradas na análise, células que apresentarem pouca ou nenhuma sobreposição com células adjacentes, com a presença de citoplasma e núcleo bem delimitados.

#### Análise estatística

Para comparação dos resultados da análise citogenética foram utilizados o teste de Kruskal-Wallis, com o teste “a posteriori” de Dunn e teste de Mann-Whitney. Foi considerado como nível de significância estatística o limite de 5% ( $p < 0,05$ ).

### Resultados

A avaliação dos parâmetros de qualidade da água indicou que o rio Pirapozinho é de Classe II, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente.

No período de coleta 1, a água foi classificada como boa em P1 (61,8) e como razoável em P2 (46,7) e P3 (43,6). Já nos períodos de coleta 2 e 3, houve uma piora na classificação da água em P2 (33,3 e 30,4, respectivamente), que passou de razoável a ruim. (Tabela 2).

Em P1 (controle), os parâmetros de coliformes termotolerantes, fósforo total e sólidos totais tiveram valores acima do permitido, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Esta alteração foi observada apenas no 1º período de coleta (Tabela 2). O nível de água do rio em P1 estava baixo neste período, devido ao período de estiagem e à característica do local, favorecendo o aumento de sólidos totais observado.

O ponto urbano (P2) foi o que apresentou maiores alterações em todos os períodos de avaliação. Os parâmetros de coliformes termotolerantes, fósforo total, DBO, nitrogênio total e condutividade elétrica estavam alterados nos três períodos de coleta em P2. Além disso, sólidos totais e OD estavam alterados nos períodos 2 e 3, enquanto que o pH estava mais baixo que o estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 no período 3 (Tabela 2).

O ponto rural (P3) apresentou valores acima do permitido para coliformes termotolerantes e fósforo total nos três períodos e para DBO nos períodos 1 e 2. Os

parâmetros de coliformes termotolerantes e fósforo total, DBO; sólidos totais e nitrogênio total são indicativos de contaminação.

No período de coleta 1, apesar do oxigênio dissolvido ter ficado acima do limite mínimo nos três pontos avaliados, favorecendo o desenvolvimento de vida aquática, não foi possível a coleta de peixes nos pontos, devido ao alto índice de fósforo e nitrogênio. As alterações das concentrações de oxigênio dissolvido na água em P2 no segundo e terceiros período de coleta contribuiu para que a classificação da qualidade da água caísse para ruim. Tal fato tem relação direta com o aumento da concentração de contaminantes de fósforo e nitrogênio, em relação ao período 1 (Figura 3A).

Com a concentração de nutrientes elevada, estimula-se o processo de eutrofização no rio, aumentando o número significativo de plantas aquáticas, conforme observado na Figura 3B. Isso faz com que se tenha valores de OD baixos, o que torna inviável a vida aquática no local, fato que explica a ausência de peixes no local.

**Figura 7.** Local de coleta de água (Ponto 2) em diferentes períodos. Ponto 2 no período de coleta 1: observar a ausência de plantas aquáticas (A). Ponto 2 no período de coleta 2: observar o aumento excessivo de plantas aquáticas - processo de eutrofização, que impossibilitou a presença de peixes no local (B).



Fonte: Almeida, 2020.

**Tabela 2.** Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água nos pontos 1, 2 e 3 nos diferentes períodos de coleta.

Parâmetros	Período 1			Período 2			Período 3			Valor de referência
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	
Condutividade	3	640 <sup>2</sup>	83	17	494 <sup>2</sup>	72	14	280 <sup>2</sup>	34	100 <sup>1</sup>
Coliformes Termotolerantes	1.200 <sup>2</sup>	76.700 <sup>2</sup>	42.000 <sup>2</sup>	900	55.000 <sup>2</sup>	37.000 <sup>2</sup>	400	32.000 <sup>2</sup>	21.000 <sup>2</sup>	1.000
pH	6,21	6,62	6,28	6,19	5,60 <sup>2</sup>	6,48	6,85	4,60 <sup>2</sup>	6,60	6,0 < 9,0
DBO	4	11 <sup>2</sup>	16 <sup>2</sup>	3	7 <sup>2</sup>	6 <sup>2</sup>	3	8 <sup>2</sup>	4	≤ 5
Nitrogênio Total	0,2	2,67 <sup>2</sup>	0,2	0,2	11,252 <sup>2</sup>	0,258	0,2	9,398 <sup>2</sup>	0,230 <sup>2</sup>	1,27
Fósforo Total	0,052 <sup>2</sup>	1,292 <sup>2</sup>	0,052 <sup>2</sup>	0,052 <sup>2</sup>	2,276 <sup>2</sup>	1,562 <sup>2</sup>	0,052	1,524 <sup>2</sup>	0,679 <sup>2</sup>	0,05
Temperatura	21	18	21	22	23	24	22	23	24	-
Turbidez	11,30	7,03	13,10	3,00	6,42	8,30	5,20	7,30	8,10	100
Sólidos Totais	591 <sup>2</sup>	236	89	50	1460 <sup>2</sup>	110	100	2.600 <sup>2</sup>	500 <sup>2</sup>	500
Oxigênio Dissolvido (OD)	7,40	6,08	22,00	5,18	2,90 <sup>2</sup>	6,90	5,30	3,10 <sup>2</sup>	6,35	≥ 5
<b>IQA</b>	<b>61,8</b>	<b>46,7</b>	<b>43,6</b>	<b>65,4</b>	<b>33,3</b>	<b>51,5</b>	<b>70,1</b>	<b>30,4</b>	<b>50,2</b>	
Classificação IQA/CETESB	<b>Boa</b>	<b>Razoável</b>	<b>Razoável</b>	<b>Boa</b>	<b>Ruim</b>	<b>Razoável</b>	<b>Boa</b>	<b>Ruim</b>	<b>Razoável</b>	

Fonte: <sup>1</sup>Limite de Condutividade Elétrica CETESB 2009,  $\geq 100 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; <sup>2</sup>Parâmetros acima do estabelecido para rios de Classe II conforme Resolução CONAMA 357/2005. Período 1 (junho de 2019), Período 2 (setembro de 2019) e Período 3 (dezembro de 2019). Almeida (2020).

A avaliação citogenética de peixes no período 2 demonstrou impacto citogenético no ponto rural (P3) da Bacia do Rio Pirapozinho. Foi observado um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) no número total de eritrócitos com alterações nucleares (Figura 4A) e de eritrócitos com micronúcleo (Figura 4B) em P3 (rural) em relação a P1 (controle), com consequente redução de eritrócitos normais (Tabela 3). Como P3 é caracterizado por apresentar áreas agrícolas muito próximas do afluente, o potencial genotóxico da água pode estar relacionado à utilização de agroquímicos na região.

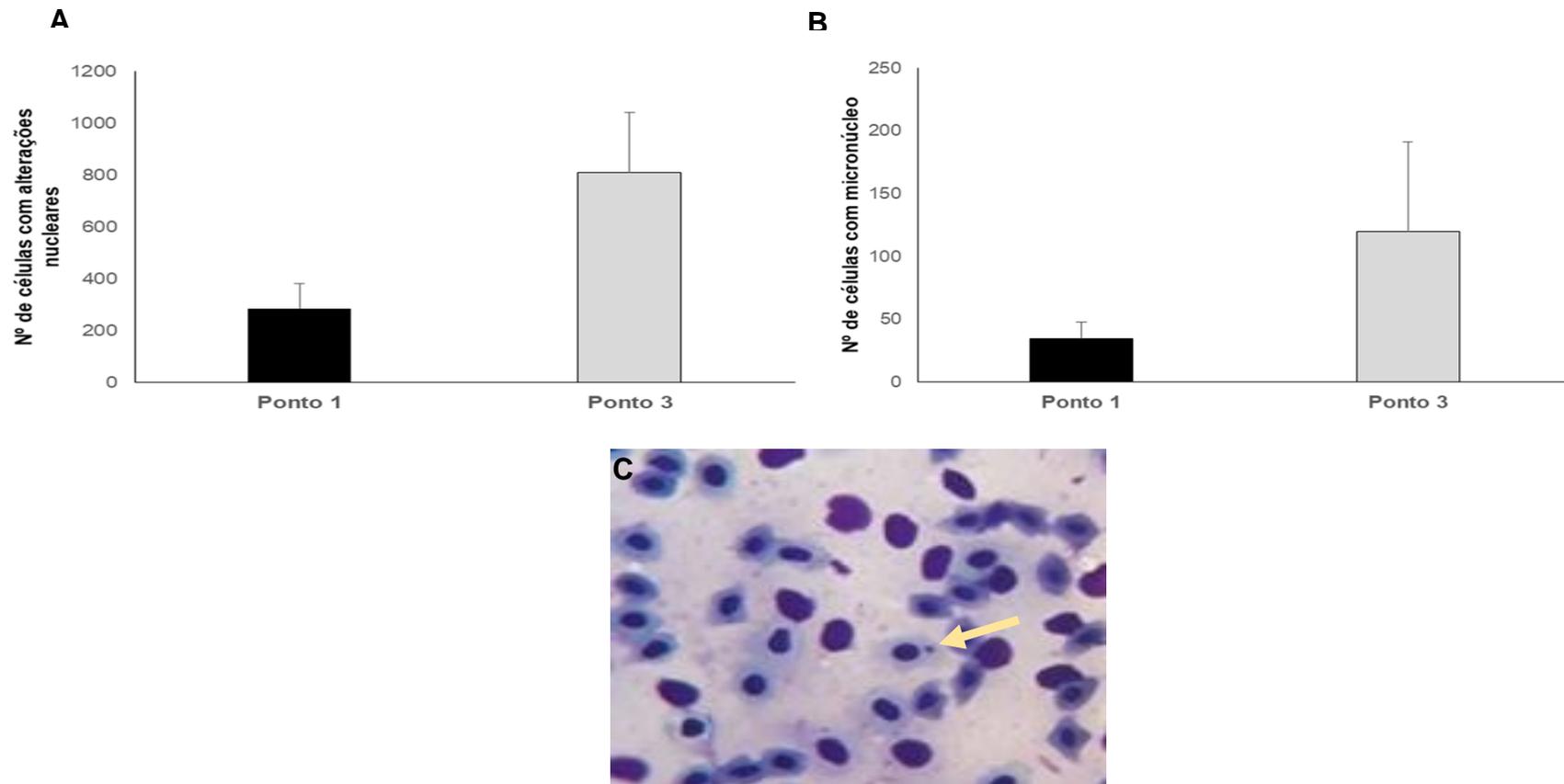
As demais anormalidades nucleares avaliadas foram semelhantes ( $p > 0,05$ ) entre os pontos de coleta (Tabela 3).

**Tabela 3.** Alterações nucleares observadas em eritrócitos de peixes da Bacia do Rio Pirapozinho-SP no período de coleta 2 (setembro de 2019).

Alterações nucleares	Período 2	
	Ponto 1	Ponto 3
<sup>1</sup> Normal	3710,28 ± 114,10	3190 ± 247,22*
<sup>1</sup> Lobed	10,85 ± 14,91	52,00 ± 54,66
<sup>1</sup> Notched	44,00 ± 33,06	16,00 ± 27,64
<sup>1</sup> Blebbbed	196,00 ± 91,06	220,44 ± 128,10
Binucleada	0	249,77 ± 92,06
Trinucleada	0	152,51 ± 53,00

Fonte: Valores expressos com média ± desvio padrão. <sup>1</sup>Teste de Mann-Whitney. \* $p < 0,05$ . Ponto 1: Controle, Ponto 3: Rural. Almeida (2020).

**Figura 8.** Análise citogenética em eritrócitos de peixes coletados na da Bacia do Rio Pirapozinho no período de coleta 2. Número total de eritrócitos com alterações nucleares (A) e número de células com micronúcleo (B). Eritrócito com micronúcleo (seta) (C). Valores expressos em média e desvio-padrão. Teste de Mann-Whitney. \* $p < 0,05$ . Ponto 1: Controle, Ponto 3: Rural.



## Discussão

Apesar das características de uso e ocupação da terra e das análises físico-químicas e microbiológicas da água evidenciarem parâmetros acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (especialmente em P2), o rio Pirapozinho foi classificado como classe II. Esta classificação estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), possui cinco classes, em ordem crescente de poluição. Desta forma, as águas de um rio classe II pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer; e à aquicultura e atividade de pesca (BRASIL, 2005).

Com base no levantamento da qualidade da água e análise do potencial genotóxico em peixes, pôde-se identificar influências da degradação ambiental sobre os mananciais da bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho, especialmente nos pontos que contemplam atividades urbanas, indústrias e agrícolas.

Segundo Oliveira *et al.* (2017) áreas cercadas pelo desenvolvimento urbano apresentam maior degradação do recurso hídrico, sendo que o lançamento de efluentes industriais e ineficiência no esgotamento sanitário são tidos como principais causadores deste impacto.

P1 (controle) que apresenta predominância de área de preservação permanente estava levemente alterado. Neste ponto, as influências sobre a qualidade da água foram pequenas quando comparadas aos outros trechos estudados, fato relacionado ao uso e ocupação da terra serem mais condizentes com o que o meio físico suporta, causando pouca alteração no habitat natural, beneficiando a vida aquática local. Neste trecho, a qualidade da água obteve a classificação como boa no IQA/CETESB em todas as coletas realizadas nos períodos sazonais variando entre 61,8 e 70,1.

As alterações observadas em P1 no primeiro período de coleta foram relacionadas ao baixo nível de água do rio. Neste sentido, destaca-se o alto valor de coliformes termotolerantes (acima de 1.000 NMP/100 ml), que pode estar relacionado ao período de estiagem e assoreamento do afluente, com consequente escoamento insuficiente para autodepuração. Ayach *et al.* (2009) relatam que esse parâmetro possui influência direta para utilização do recurso hídrico no

abastecimento público, lendo em consideração a classificação do rio e referências adotadas na Resolução CONAMA 357/2005.

No trecho do ponto 2 (urbano) a nascente do rio Pirapozinho está dentro de uma área totalmente influenciada pelo uso e ocupação da terra, sendo este impactado por lançamento de efluentes domésticos e industriais, destacando empresas frigoríficas e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Devido a isto, grandes problemas influenciaram para que a classificação na qualidade da água obtivesse o nível ruim, comprovado pelos resultados do IQA/CETESB, conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

No local (P2), não foi possível a coleta de peixes para análise citogenética, sendo que o Índice de Qualidade da Água apresentou parâmetros elevados para rio Classe II. Nos períodos 2 e 3 de coleta, houve um grande aumento de sólidos totais, devido à baixa vazão no trecho.

Quevedo e Paganini (2011) relataram que o lançamento de efluentes domésticos e industriais contribuem diretamente para o aumento de sólidos totais, causando influência nos valores de fósforo. O aumento considerável de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais) levou à proliferação de algas (BARROS, 2008), gerando um processo de eutrofização. Houve um imediato desequilíbrio com consequente crescimento exponencial de algas e plantas aquáticas que levou à drástica redução de oxigênio dissolvido na água.

Von Sperling (2005) afirma que os rios têm o potencial de realizar a autodepuração, mas o lançamento de efluentes e a falta de conservação, faz com que a sua capacidade de regeneração seja cada vez menor, ocorrendo em poluição.

Segundo Lins *et al.* (2010) com as alterações no nível de nutrientes na água, ocorre com a solubilização do fósforo, aumentando a concentração de gás sulfídrico, metano e amônia. Pode ocorrer um aumento na floração de cianobactérias, com destaque para os coliformes termotolerantes, que produzem fortes odores e sabores na água com eventual liberação de toxinas, reduzindo a balneabilidade, eliminando qualquer chance de se encontrar vida aquática (peixes) e outros animais (SPERLING, 1994; MOTA, 2006).

Apesar de estudos indicarem que peixes expostos a efluentes urbanos e industriais podem ter aumento de micronúcleos em células branquiais e eritrócitos (DALZUCHIO *et al.*, 2018; HUSSAIN *et al.*, 2018; HUSSAIN *et al.*, 2020), a ausência de peixes em P2 nos diferentes períodos de coleta impossibilitou esta avaliação.

O aumento de condutividade elétrica em todas os períodos analisados no ponto 2 pode estar relacionado ao grande acúmulo de minerais no local, provenientes de descarte de efluentes e má conservação das áreas de preservação. Isto ocorre, pois quanto mais poluído estiverem as águas, maior será os valores de condutividade elétrica (BRIGANTE *et al.*, 2003; PEREIRA-SILVA *et al.* 2011).

No ponto 3 (rural), é possível observar uma melhora na qualidade da água, provavelmente devido à autodepuração do rio. Pode haver influências negativas de menor impacto da agricultura local (P3), em relação às atividades urbanas próximas ao P2, quanto aos parâmetros de qualidade da água avaliados.

A qualidade da água obteve a classificação como razoável no IQA/CETESB em todas as coletas realizadas nos períodos sazonais, variando entre 43,6 e 51,5. Os dois primeiros períodos de coleta apresentaram maiores alterações, com parâmetros elevados (coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio) para um rio de Classe II.

Matos *et al.* (2013) indicaram que o controle da DBO em águas superficiais é de extrema importância, pois o parâmetro tem relação direta com o consumo de oxigênio dissolvido para degradação da matéria orgânica.

O aumento dos valores de fósforo total e sólidos totais no terceiro período de coleta em P3, deu-se provavelmente devido ao constante lançamento de poluentes, onde com a ocorrência de precipitação nas últimas 72 horas, aumentou a carga de material suspenso depositada no fundo dos leitos ocasionando arraste de partículas e nutrientes para o exutório.

Marçal e Silva (2017) apontam a necessidade de realização de monitoramento periódico, com foco em evitar uma grande carga de agentes poluidores no corpo hídrico, pois o lançamento além da capacidade de autodepuração acarreta em sérios danos ambientais ao manancial.

A análise citogenética tem a capacidade de detectar efeitos de agentes clastogênicos e aneugênicos (FENECH, 2000), que podem resultar em desequilíbrios genéticos prejudiciais a indivíduos ou suas gerações futuras (HARTWELL *et al.*, 2000). Em peixes, pode ser mais vantajosa do que a avaliação de parâmetros físico-químicos da água, visto que estes precisam ser registrados em várias análises para obtenção de monitoramento e real panorama de qualidade local (METCALFE, 1989).

Foram analisados micronúcleos em peixes lambari (*Astyanax bimaculatus*), tilápia (*Oreochromis spp*) e piapara (*Megaleporinus obtusidens*). Estas duas primeiras espécies têm sido avaliadas e consideradas sensíveis à ação genotóxica causada pela exposição a xenobióticos (SILVA *et al.*, 2010; ROCHA *et al.* 2011; BOGONI *et al.*, 2014; COPPO *et al.*, 2018). Entretanto, os estudos com *Megaleporinus* são escassos e relacionados a análises do conteúdo de DNA de sequências satélites (CREPALDI, PARISE-MALTEMPI, 2020).

A frequência espontânea de micronúcleos em eritrócitos de peixes é geralmente baixa (FERRARO *et al.*, 2004). No presente estudo, observou-se um aumento significativo de células micronucleadas em P3 em relação a P1. Já as demais anormalidades nucleares avaliadas não diferiram significativamente entre os pontos, demonstrando que a contagem de micronúcleos foi mais sensível para identificação de dano genotóxico.

A avaliação citogenética em eritrócitos de peixes evidenciou potencial genotóxico da água de P3 (Período 2 de coleta), sendo que este pode estar relacionado à proximidade de áreas agrícolas com utilização de agroquímicos.

A exposição a agroquímicos geralmente envolve misturas complexas que variam de acordo com o tipo de cultura local, a estação do ano e a área geográfica (BOLOGNESI *et al.*, 2011). Vários estudos experimentais e em ambiente natural correlacionam a exposição aos agroquímicos e o aumento da frequência de micronúcleos em diferentes espécies de peixes (ZAPATA-RESTREPO *et al.*, 2017; ISMAIL *et al.*, 2018; ALVIM, MARTINEZ, 2019; DAVICO *et al.*, 2020), o que corrobora com achados citogenéticos do presente estudo.

## **Conclusão**

As atividades antrópicas agrícolas e principalmente as atividades urbanas/industriais, nos pontos e condições avaliados na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, impactaram negativamente os parâmetros de qualidade da água. Estas alterações da água, de acordo com o uso e ocupação do solo, levaram a perturbações na população de peixes, com surgimento de danos citogenéticos (ponto rural) ou ausência de vida aquática (ponto urbano). Desta forma, estudos de planejamento ambiental e programas de biomonitoramento tornam-se cada vez

mais essenciais para minimizar os impactos causados na bacia, evitando agravamento da degradação ambiental.

Além disso, estudos adicionais de monitoramento ambiental são necessários, visando compreender de forma mais ampla os impactos ambientais na área.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS ARTIGO

ALVIM, T. T., MARTINEZ, C. B. D. R. **Genotoxic and oxidative damage in the freshwater teleost *Prochilodus lineatus* exposed to the insecticides lambda-cyhalothrin and imidacloprid alone and in combination.** *Mutat. Res.*, 2019.

AYACH L. R, PINTO A. L, CAPPI N., GUIMARÃES S.T. **Contaminação das águas subterrâneas por coliformes: um estudo da cidade de Anastácio-MS.** *Climatologia e Estudos da Paisagem*, 2009.

BOGONI, J. A., ARMILIATO, N., ARALDI-FAVASSA, C. T., TECHIO, V. H. **Genotoxicity in *Astyanax bimaculatus* (Twospot *Astyanax*) exposed to the waters of Engano River (Brazil) as determined by micronucleus tests in erythrocytes.** *Arch Environ Contam Toxicol*, 2014.

BOLOGNESI, C., CREUS, A., OSTROSKY-WEGMAN, P., MARCOS, R. **Micronuclei and pesticide exposure.** *Mutagenesis*, 2011.

CARRASCO, K.R., TILBURY, K.L., MAYERS, M.S. **Assessment of the piscine micronuclei test as in situ biological indicator of chemical contaminants effects.** *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1990.

COPPO, G. C., PASSOS, L. S., LOPES, T. O. M., PEREIRA, T. M., MERÇON, J., CABRAL, D. S., BARBOSA, B. V., CAETANO, L. S., KAMPKE, E. H., CHIPPARI-GOMES, A. R. **Genotoxic, biochemical and bioconcentration effects of manganese on *Oreochromis niloticus* (Cichlidae).** *Ecotoxicology*, 2018.

CREPALDI, C., PARISE-MALTEMPI, P. P. **Heteromorphic Sex Chromosomes and Their DNA Content in Fish: An Insight through Satellite DNA Accumulation in *Megaleporinus elongatus*.** *Cytogenet Genome Res.*, 2020.

DALZOCHIO, T., RODRIGUES, G. Z. P., SIMÕES, L. A. R., DE SOUZA, M.S., PETRY, I. E., ANDRIGUETTI, N.B., SILVA, G.J.H., DA SILVA, L.B., GEHLEN, G. **In situ monitoring of the Sinos River, southern Brazil: water quality parameters, biomarkers, and metal bioaccumulation in fish.** *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018 Apr;25(10):9485-9500. doi: 10.1007/s11356-018-1244-7. Epub 2018 Jan 20.

DAVICO, C.E., LOTESTE, A., PARMA, M.J., POLETTA, G., SIMONIELLO, M. F. **Stress oxidative and genotoxicity in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) exposed to commercial formulation of insecticide cypermethrin.** *Drug Chem Toxicol.*, 2020.

DE LIMA, C. R., CARVALHO-NETA, R. N. F., DE CASTRO, A. C. L., FERREIRA, C. F. C., SILVA, M. H. L., DE JESUS, A. J. W., SOBRINHO, J. R. S. C., SANTOS, D. M. S. **Histological and Genotoxic Biomarkers in *Prochilodus lacustris* (Pisces, Prochilodontidae) for Environmental Assessment in a Protected Area in the Northeast of Brazil.** *Bull Environ Contam Toxicol.*, 2018.

FENECH, M. **The in vitro micronucleus technique**. Mutation Research 1-2: 81-95, 2000.

FERRARO, M. V., FENOCCHIO, A., MANTOVANI, M., RIBEIRO, C., CESTARI, M. M. **Mutagenic effects of tributyltin and inorganic lead (Pb II) on the fish *H. malabaricus* as evaluated using the comet assay and the piscine micronucleus and chromosome aberration tests**. Genet. Mol. Biol. 27, 103–107, 2004.

GOHER, M. E., ABDO, M. H., MANGOOD, A. H., & HUSSEIN, M. M. **Water quality and potential health risk assessment for consumption of *Oreochromis niloticus* from El-Bahr El-Pharaony drain, Egypt**. Fresenius Environmental Bulletin, 2015.

QUEVEDO, C. M. G, PAGANINI, W.S. **Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública**. Ciência Saúde Coletiva, 2011.

HARTWELL, L.H., HOOD, L., GOLDBERG, M.L., REYNOLDS, A.E., SILVER, L.M., VERES, R.C. **Genetics: from Genes to Genomes**. McGraw Hill Higher Education, 2000.

HUSSAIN, B., FATIMA, M., AL-GHANIM, K.A., AL-MISNED, F., MAHBOOB, S. **Assessment of DNA integrity through MN bioassay of erythrocytes and histopathological changes in *Wallago attu* and *Cirrhinus mirigala* in response to freshwater pollution**. Saudi, J. Biol. Sci. 2020.

HUSSAIN, B., SULTANA, T., SULTANA, S., MASOUD, M.S., AHMED, Z., MAHBOOB, S. **Fish ecogenotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution**. Saudi, J. Biol. Sci. 2018.

ISMAIL, M., ALI, R., SHAHID, M., KHAN, M. A., ZUBAIR, M., ALI, T., MAHMOOD, K. Q. **Genotoxic and hematological effects of chlorpyrifos exposure on freshwater fish *Labeorohita***. Drug Chem Toxicol., 2018.

JIANG, J. G. **Development of a new biotic index to assess freshwater pollution**. Environmental Pollution, 2006.

MARÇAL, D. A., SILVA, C. E. **Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE Pirajá sobre o rio Parnaíba, Teresina (PI)**. Revista Engenharia Sanitária, 22 (4), 761-722, 2017.

MATOS, M. P., BORGES, A. C., MATOS, A. T., SILVA, E. F., MARTINEZ, M. A. **Demanda bioquímica de oxigênio em diferentes tempos de incubação das amostras**.

METCALFE, J.L. **Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe**. Environ. Pollut., 1989.

OLIVEIRA I.B., NEGRÃO F.I., SILVA A.G.L.S. **Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS**. Revista Águas Subterrâneas. 2017.

ROCHA, C. A. M., GOMES, C. D. F., RIBEIRO, R. F. G. Jr., PINHEIRO, P. H. S. **Detection of micronuclei and other nuclear abnormalities in Oreochromis niloticus exposed to potassium dichromate**. Glob Vet 7(3):301–304, 2011.

SILVA, R. R. P., PIRES, O. R. Jr., GRISOLIA, C. K. **Toxicity and genotoxicity in Astyanax bimaculatus (Characidae) induced by microcystins from a bloom of Microcystis spp**. Genet Mol Biol 33(4):750–755, 2010.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte, 2005.

ZAPATA-RESTREPO, L. M., OROZCO-JIMÉNEZ, L. Y., RUEDA-CARDONA, M., ECHAVARRÍA, S. L., MENA-MORENO, N., PALACIO-BAENA, J. A. **Genotoxic evaluation of Río Grande (Antioquia, Colombia) water using micronucleus frequency in erythrocytes of Bryconhenni (Characiformes: Characidae)**. Rev Biol Trop., 2017.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da metodologia abordada no trabalho permitiu compreender que a falta de planejamento influencia na qualidade do manancial da área de estudo, fato confirmado quando foi correlacionado a qualidade da água com análise citogenética em peixes.

A bacia hidrográfica do rio Pirapozinho apresenta vários problemas ambientais, mas quando se avalia o P2, é notável que a área urbana e industrial afeta diretamente o entorno do manancial, favorecendo a contaminação da água e do solo em seu entorno. Na área industrial destaca-se logo na nascente do rio Pirapozinho, a instalação de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e na outra margem um curtume; estas áreas influenciaram diretamente no percurso do rio, visto que sua vazão não foi suficiente para a autodepuração, diminuindo a sua qualidade refletindo em valores de IQA como ruim e impossibilitando a circulação de peixes no local.

Em vários pontos na área de estudo, foram encontradas fragilidades na proteção ambiental, sendo Área de Preservação Permanente (APP) alteradas por atividades antrópicas; de acordo com a legislação em vigor, essas áreas deveriam ser totalmente protegidas.

Ao fazer a correlação da qualidade da água com análise citogenética em peixes, fica evidente que há interferências de agentes genotóxicos presentes no manancial, com indícios de contaminação.

Para a realização de trabalhos futuros na bacia hidrográfica do rio Pirapozinho recomenda-se:

- Monitoramento da qualidade dos mananciais durante o ano;
- Análise de águas subterrâneas;
- Diagnóstico de agentes genotóxicos;
- Levantamento das fragilidades que interferem na qualidade da água;
- Análise de qualidade da água para detecção de metais pesados.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, S. M.; GREELEY, M. S. Ecotoxicological indicators of water quality: using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollut**, Tennessee – USA, v.123, p.103-115, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1005217622959#Bib1>. Acesso em 20 mar. 2021.

ARANA, A. R. A. *et al.* Gestão das águas e planejamento ambiental: áreas de preservação permanente no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio – SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Presidente Prudente – SP, v. 11, n.2, p.674-686, 2018.

ARSLAN, O. C. *et al.* Assessment of micronuclei induction in peripheral blood and gill cells of some fish species from Aliğa Bay Turkey. **Marine Pollution Bulletin**, Izmir – Turkey, v.94, p.48-54, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for The Examination of Water & Wastewater**. 21<sup>st</sup>. Ed. Washington: APHA, 2005.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água: Região de Presidente Prudente – SP**. 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2020.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Environmental Science: Earth as a Living Planet**. California – EUA, John Wiley & Sons, 2004.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 jan. 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2011.

BRASIL. Congresso Nacional. **Novo Código Florestal**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: 22 dez. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 05 jan. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: Art. 225, capítulo IV, Meio Ambiente. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. Congresso Nacional. Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Interior. **Portaria n.º 124**. Estabelecem normas para a localização de indústrias potencialmente poluidoras junto às coleções hídricas. Brasília, 1980.

BRASIL. Congresso Nacional. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm). Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil - Recursos Hídricos**: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: MMA/ANA, 2007. 264 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Portal da qualidade das águas**. Brasília, 2017. Disponível em: [http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn5](http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn5). Acesso em: 24 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Legislação Ambiental Básica / Ministério do Meio Ambiente**. Consultoria Jurídica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, UNESCO, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei n.º 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recurso Hídricos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>. Acesso em: 12 mai. 2019.

BRIGANTE, J., ESPÍNDOLA, E. L. G., ELER, M. N. Análise dos principais impactos ambientais no Rio Mogi-Guaçu: recomendações para orientar políticas públicas. *In*: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (Eds.) **Limnologia fluvial, um estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Editora Rima, 2003.

BUENO, A. P. M. *et al.* **Teste de micronúcleos em peixes e parâmetros físico-químicos da água da represa Cocais, Minas Gerais.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, A. M. M. Qualidade da água em áreas urbanas. *In*: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (org). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional.** Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – IGCE - UNESP, 2003. p. 49 - 63.

CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M. S. Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** Ottawa – Canada, v. 47, n. 11, p. 2123-2136, 1990.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **IQA – Índice de Qualidade das Águas.** São Paulo, 2019. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo – Parte 1 – Águas Doces – 2015.** São Paulo: CETESB, 2016.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Qualidade da água.** São Paulo, 2019. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>. Acesso em: 14 jun. 2019.

CORREIA, J. E. *et al.* Comet assay and micronucleus tests on *Oreochromis niloticus*(Perciforme: Cichlidae) exposed to raw sugarcane vinasse and to physicochemical treated vinasse by pH adjustment with lime (CaO). **Chemosphere**, Oxford – GB, v.173, p. 494-501, 2017.

COSTA E SILVA, A. **Avaliação da frequência de micronúcleos em eritrócitos periféricos de mandi-amarelo (*pimelodus maculatus*) do rio Paranaíba.** Patos de Minas: Centro Universitário de Patos de Minas, 2010.

DALZOCHIO, T. *et al.* Water quality parameters, biomarkers and metal bioaccumulation in native fish captured in the ilha river, southern Brazil. **Chemosphere**, Oxford – GB, v.189, p. 609-618, 2017.

DEUTSCHMANN, B, *et al.* Longitudinal profile of the genotoxic potential of the River Danube on erythrocytes of wild common bleak (*Alburnus alburnus*) assessed using the comet and micronucleus assay. **Science of the Total Environment**,

Amsterdam – NL, v.573, p. 1441-1449, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.175, 2016.

DIBIESO, E. P. **Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Área de concentração: Produção do espaço geográfico) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2007.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio/SP**. 2013. 283 f. Tese (Doutorado em Geografia – Área de concentração: Produção do espaço geográfico) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2013.

ESSER, H. O. A review of the correlation between physicochemical properties and bioaccumulation. **Pest Management Science**. Nova Iorque – EUA, v.17, n.3, p.265-276, 1986.

FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research/ Fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis**, v.455, n.1-2, p.81-95, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0027510700000658?via%3Dihub> Acesso em: 03 fev. 2021. DOI:10.1016/S0027-5107(00)00065-8.

FERNANDES, M. M. *et al.* Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Palmital, Macaé – RJ. Rio de Janeiro: **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.7, n.3, p. 137-142, 2012.

FIGUEIRÓ, F.S.; COLAU, S.G. Competência legislativa ambiental e aplicação da norma mais restritiva como forma de resolução de conflitos: uma análise crítica. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v.11, n.21, p.255-280, 2014.

GRISOLIA, C. K. *et al.* **Perfil de frequências de micronúcleos e danos no DNA em diferentes espécies de peixes em um lago tropical estrófico**. Brasília: Universidade de Brasília – DF, 2009.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e planejamento ambiental – conceitos e aplicações. **Revista de Geografia**, Recife, v.35, n.4, p. 380-393, 2018.

HAUGHTON, G. The International Encyclopedia of Geography. **Environmental planning**. p.1-7, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118786352.wbieg0668>. Acesso em: 22 mai. 2020. DOI:10.1002/9781118786352.wbieg0668.

LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca-Campinas, SP**. 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio ambiente) – Universidade Estadual Paulista, IGCE, Rio Claro, 1995.

LEE, R. F., STEINERT, S. Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. **Mutation research/reviews in Mutation Research** v.544, n1, p.43-64, 2003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383574203000176?via%3DiHub>. Acesso em: 03 fev. 2021. DOI:10.1016/S1383-5742(03)00017-6.

LIAO, C. M. Acute toxicity and bioaccumulation of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) from a Blackfoot disease area in Taiwan. **Environmental Toxicology**, Taiwan, v. 18, n.4, p.252-259, 2003.

LIMA, L. B. D. *et al.* **Utilização de bioindicadores para avaliar o risco ecológico de xenobióticos associado à agricultura**. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2017.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MATEO RODRIGUEZ, J.M. **Planificación Ambiental**. La Habana: Editorial Félix Varela, 2008.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Ed. UFC, 2004.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

PAULINO M.G. *et al.* The impact of organochlorines and metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: bioaccumulation and histopathological biomarkers. **Sci Total Environ**, Furnas – MG, Brasil, n.497, p.293 – 306, 2014.

PEDROZO, M. F.; LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Salvador, BA. Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2001. v.2.

PEREIRA-SILVA, E. F. L. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.9, n.3, p.371-381, 2011.

RAMSDORF, W. A. *et al.* Handling of *Astyanax* sp. for biomonitoring in Cangüiri Farm within a fountainhead (Iraí River Environment Preservation Area) through the use of genetic biomarkers. **Environ Monit Assess**, Curitiba, PR, v. 184, n.10, p.5841-5849, 2012.

REPULA, C. M. M. *et al.* Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Química Nova**, São Paulo, v.35, n.5, p.905-909, 2012.

RHEINHEIMER, D.S., GONÇALVEZ, C.S., PELLEGRINI, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**. St. Maria, v. 27, n.2, p.85-96, 2003.

RIVERO, C. L. G. **Perfil da frequência de micronúcleos e de danos de DNA de diferentes espécies de peixes do lago Paranoá, Brasília – DF**. 2007. Dissertação (Mestrado em Patologia molecular) - UnB, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2007.

RODRIGUES, B. M. **Cartografia Aplicada à análise ambiental de bacia hidrográfica – Um estudo de caso na bacia do rio Pirapozinho**. 2017. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2017.

RODRIGUES, A.P.C. *et al.* Biomarkers for mercury exposure in tropical estuarine fish. Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 5, n. 1, p.9-18, 2010. Disponível em: [http://ecotoxbrasil.org.br/upload/5d80f2036ea9ba718c71f8e97c70ebf5-2\\_0086.pdf](http://ecotoxbrasil.org.br/upload/5d80f2036ea9ba718c71f8e97c70ebf5-2_0086.pdf). Acesso em: 01 fev. 2021. DOI:10.5132/jbse.2010.01.003, 2019.

SANTOS, A. *et al.* Distribution of Zn, Cd, Pb and Cu metals in groundwater of the guadiamar river basin. **Water, Air, & Soil Pollution**, São Paulo, SP, v.134, p.273-283, 2002.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina Textos, 2004.

SANTOS, R., PIROLI, E. L. **Planejamento Ambiental e a perspectiva escalar: uma abordagem geográfica**. Florianópolis: GEOSUL, 2020.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Política Estadual de Recursos Hídricos**. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, 1991. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Fundo Estadual de Recursos Hídricos**. Dispõe sobre Regulamentação o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, 1993. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1993/decreto-37300-25.08.1993.html>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SERRÃO, C. R. G. *et al.* Biomonitoramento de elementos metálicos em peixes de água doce da região Amazônica. **Rev. Virtual de Química**, Belém, PA, v.6, n.6, p.1661-1676, 2014.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TOMIAZZI, J. S. *et al.* **Avaliação dos efeitos genotóxicos em trabalhadores agrícolas brasileiros expostos a pesticidas e fumaça de cigarro usando algoritmos de aprendizagem de máquina.** Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista, 2017.

TROMBETA, L. R. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Guaiaçarina, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil.** 2015. f. Dissertação de Mestrado em Geografia - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília – DF: UNESCO, 2003.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez.** 2. ed. São Carlos: RiMa/IIE, 2005.

VASCONCELOS, M.G. **Avaliação integrada da qualidade da água do Rio Uberabinha - MG com base na caracterização química dos sedimentos e de espécimes da ictiofauna.** 2012. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

VELUSAMY, A. *et al.* Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor, India. **Mar. Pollut. Bull.**, v.81, n.1, p.218-224, 2014. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14000502?via%3Dihub>. Acesso em: 01 fev. 2021. DOI:10.1016/j.marpolbul.2014.01.049.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. *In*: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG**; Curitiba: SANEPAR. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67, 2001.

## ANEXO

## Anexo A - PARECER DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA)

---

**UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista**


---

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PPG - Programa de Pesquisa de Pós-Graduação  
 PEIC - Programa Especial de Iniciação Científica

## Parecer Final

Declaramos para os devidos fins que o Projeto de Pesquisa intitulado "ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TESTE DE MICRÔNÚCLEO EM PEIXES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPOZINHO", cadastrado na Coordenadoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (CPDI) sob o número nº 4910 e tendo como participante(s) THIAGO DE PAULA ALMEIDA (discente), EDILMA FERREIRA (discente), DANIEL ANGELO MACENA (técnico participante), PATRICIA ALEXANDRA ANTUNES (docente), EDSON ASSUNÇÃO MARECO (docente), ANA PAULA ALVES FAVARETO (orientador responsável), foi avaliado e APROVADO pelo COMITÊ ASSESSOR DE PESQUISA INSTITUCIONAL (CAPI) e COMISSÃO DE ÉTICA USO DE ANIMAIS (CEUA) da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE de Presidente Prudente/SP.

Este Projeto de Pesquisa, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de Outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de Julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), tendo sido APROVADO em reunião realizada em 12/12/2018.

Vigência do projeto: 11/2018 a 03/2020.

## ANIMAL VIVO

Espécie/Linhagem	Nº de Animais	Peso	Idade	Sexo	Origem
peixes Astyanax bimaculatus	16	15 gramas	120 dias	M	Bacia do Rio Pirapozinho
peixes Astyanax bimaculatus	16	15 gramas	120 dias	F	Bacia do Rio Pirapozinho
peixes Corydora spp	16	15 gramas	120 dias	F	Bacia do Rio Pirapozinho
peixes Corydora spp	16	15 gramas	120 dias	M	Bacia do Rio Pirapozinho
peixes Hoplias malabaricus	16	15 gramas	120 dias	F	Bacia do Rio Pirapozinho
peixes Hoplias malabaricus	16	15 gramas	120 dias	M	Bacia do Rio Pirapozinho

Presidente Prudente, 13 de Dezembro de 2018.

Prof. D. Air Rodrigues Garcia Jr.  
 Coordenador Científico da CPDI

Prof. Ms. Adriana Falso de Brito  
 Coordenadora da CEUA - UNOESTE

## APÊNDICE

Período 1 - Ponto Controle					
Altitude (m):	341				
Temperatura (°C):	21			<b>IQA</b>	<b>61,8</b>
OD da amostra (mg/L):	7,40			<b>BOA</b>	

Parâmetros	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi^w
Coliformes termotolerantes	UFC	1.200 *	19,66	0,15	1,56
Potencial Hidrogênico (pH)		6,21	70,41	0,12	1,67
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	4	60,46	0,10	1,51
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,200	98,37	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	0,052*	94,41	0,10	1,58
Temperatura	°C	94,00	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	11,30	74,82	0,08	1,41
Sólidos Totais	mg.L-1	591*	32,00	0,08	1,32
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	85,98	90,18	0,17	2,15

Período 1 - Ponto Urbano					
Altitude (m):	351				
Temperatura (°C):	18			<b>IQA</b>	<b>46,7</b>
OD da amostra (mg/L):	6,08			<b>RAZOÁVEL</b>	

Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi^w
Coliformes termotolerantes	UFC	76.700 *	4,36	0,15	1,25
Potencial Hidrogênico (pH)		6,62	83,39	0,12	1,70
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	11*	71,82	0,10	1,53
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	2,670*	80,37	0,10	1,55
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	1,292*	35,10	0,10	1,43
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	7,03	83,27	0,08	1,42
Sólidos Totais	mg.L-1	236	68,78	0,08	1,40
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	66,60	70,25	0,17	2,06

Período 1 - Ponto Rural					
Altitude (m):	295				
Temperatura (°C):	21			<b>IQA</b>	<b>43,6</b>
OD da amostra (mg/L):	22,00			<b>RAZOÁVEL</b>	

Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi^w
Coliformes termotolerantes	UFC	42.000 *	5,12	0,15	1,28
Potencial Hidrogênico (pH)		6,28	72,93	0,12	1,67
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	16*	17,26	0,10	1,33
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,200	98,37	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	0,052*	94,41	0,10	1,58
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	13,10	71,67	0,08	1,41
Sólidos Totais	mg.L-1	89	85,91	0,08	1,43
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	254,23	50,00	0,17	1,94

Fonte: CETESB (2017), elaborado por ALMEIDA (2020); \*valores acima do referencial, Resolução CONAMA 357/05.

Período 2 - Ponto Controle					
Altitude (m):	341				
Temperatura (°C):	22			<b>IQA</b>	<b>65,4</b>
OD da amostra (mg/L):	5,18				<b>BOA</b>

Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>Aw</sup>
Coliformes termotolerantes	UFC	900	21,59	0,15	1,59
Potencial Hidrogênico (pH)		6,19	69,31	0,12	1,66
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	3	68,40	0,10	1,53
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,200	98,37	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	0,052*	94,41	0,10	1,58
Temperatura	°C	94,00	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	3,00	92,50	0,08	1,44
Sólidos Totais	mg.L-1	50	85,33	0,08	1,43
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	61,72	62,55	0,17	2,02

Período 2 - Ponto Urbano					
Altitude (m):	351				
Temperatura (°C):	23			<b>IQA</b>	<b>33,3</b>
OD da amostra (mg/L):	2,90*				<b>RUIM</b>

Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>Aw</sup>
Coliformes termotolerantes	UFC	55.000 *	4,72	0,15	1,26
Potencial Hidrogênico (pH)		5,60 *	43,66	0,12	1,57
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	7 *	78,01	0,10	1,55
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	11,252 *	77,61	0,10	1,55
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	2,276 *	22,72	0,10	1,37
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	6,42	84,58	0,08	1,43
Sólidos Totais	mg.L-1	1460 *	32,00	0,08	1,32
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	34,86	25,26	0,17	1,73

Período 2 - Ponto Rural					
Altitude (m):	295				
Temperatura (°C):	24			<b>IQA</b>	<b>51,5</b>
OD da amostra (mg/L):	6,90				<b>RAZOÁVEL</b>

Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>Aw</sup>
Coliformes termotolerantes	UFC	37.000 *	5,34	0,15	1,29
Potencial Hidrogênico (pH)		6,48 *	79,45	0,12	1,69
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	6 *	80,12	0,10	1,55
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,258	97,91	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	1,562 *	31,29	0,10	1,41
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	8,30	80,61	0,08	1,42
Sólidos Totais	mg.L-1	110	84,85	0,08	1,43
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	84,11	88,93	0,17	2,14

Fonte: CETESB (2017), elaborado por ALMEIDA (2020); \*valores acima do referencial, Resolução CONAMA 357/05.

Período 3 - Ponto Controle					
Altitude (m):	341				
Temperatura (°C):	22			<b>IQA</b>	<b>70,1</b>
OD da amostra (mg/L):	5,30				<b>BOA</b>
Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>A</sup> w
Coliformes termotolerantes	UFC	400	27,63	0,15	1,65
Potencial Hidrogênico (pH)		6,85	88,77	0,12	1,71
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	3	68,40	0,10	1,53
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,200	98,37	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	0,052*	94,41	0,10	1,58
Temperatura	°C	94,00	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	5,20	87,31	0,08	1,43
Sólidos Totais	mg.L-1	100	85,47	0,08	1,43
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	63,15	64,88	0,17	2,03

Período 3 - Ponto Urbano					
Altitude (m):	351				
Temperatura (°C):	23			<b>IQA</b>	<b>30,4</b>
OD da amostra (mg/L):	3,10*				<b>RUIM</b>
Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>A</sup> w
Coliformes termotolerantes	UFC	32.000 *	5,63	0,15	1,30
Potencial Hidrogênico (pH)		4,60*	16,49	0,12	1,40
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	8*	76,18	0,10	1,54
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	9,398*	50,25	0,10	1,48
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	1,524*	31,80	0,10	1,41
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	7,30	82,69	0,08	1,42
Sólidos Totais	mg.L-1	2600*	32,00	0,08	1,32
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	37,26	27,61	0,17	1,76

Período 3 - Ponto Rural					
Altitude (m):	295				
Temperatura (°C):	24			<b>IQA</b>	<b>50,2</b>
OD da amostra (mg/L):	6,35				<b>RAZOÁVEL</b>
Parâmetro	Unidade	Valores Análise	Valores (qi resultante)	Peso (w)	qi <sup>A</sup> w
Coliformes termotolerantes	UFC	21.000 *	6,61	0,15	1,33
Potencial Hidrogênico (pH)		6,60	82,86	0,12	1,70
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg.L-1	4	60,46	0,10	1,51
Nitrogênio Total	mg.L-1 N	0,230*	98,14	0,10	1,58
Fósforo Total	mg.L-1 PO4	0,679*	53,13	0,10	1,49
Temperatura	°C	94	94,00	0,10	1,58
Turbidez	UNT	8,10	81,02	0,08	1,42
Sólidos Totais	mg.L-1	500*	32,09	0,08	1,32
Oxigênio Dissolvido (OD)	%sat	77,41	83,86	0,17	2,12

Fonte: CETESB (2017), elaborado por ALMEIDA (2020); \*valores acima do referencial, Resolução CONAMA 357/05.