



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

IARA BERNARDI SANT'ANNA

**Avaliação e monitoramento da qualidade da água em pisciculturas em tanques-
rede em um braço do Rio Grande, no Reservatório de Ilha Solteira/SP**

Ilha Solteira
2018



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

IARA BERNARDI SANT’ANNA

**AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM
PISCICULTURAS EM TANQUES-REDE EM UM BRAÇO DO RIO
GRANDE, NO RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA/SP**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Prof. Dr. Sérgio Luís de Carvalho

Orientador

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Sant'Anna, Iara Bernardi.
S232a Avaliação e monitoramento da qualidade da água em pisciculturas em tanques-rede em um braço do Rio Grande, no reservatório de Ilha Solteira/SP / Iara Bernardi Sant'Anna. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
103 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2018

Orientador: Sérgio Luís de Carvalho
Inclui bibliografia

1. Resolução Conama Nº 357/05. 2. Índice de qualidade a água. 3. Impacto ambiental. 4. Nutrientes. 5. Fósforo.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM PISCICULTURAS EM TANQUES-REDE EM UM BRAÇO DO RIO GRANDE, NO RESERVATÓRIO DE ILHA SOLTEIRA/SP

AUTORA: IARA BERNARDI

ORIENTADOR: SERGIO LUIS DE CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO LUIS DE CARVALHO
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. WILLIAM DEODATO ISIQUE
Laboratório de Saneamento / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. MARIA JOSE ALENCAR VILELA
Departamento de Ciências Naturais / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 05 de março de 2018

DEDICO

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e
acreditaram em mim, na esperança de um dia
poder retribuí-los
e ao meu esposo Renato.

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha força, por ter me concedido o dom da existência e perseverança para a conclusão desta pesquisa.

Ao professor Sérgio Carvalho, meus agradecimentos pela confiança, orientação, amizade e por me ajudar a manter calma.

Ao meu esposo Renato, compreensivo, participativo e companheiro, por tanto carinho e amor!

À minha sogra Cláudia, por todo cuidado.

Ao Bruno Coelho e Natália, por me fazerem sempre saber que poderia contar com vocês em Ilha Solteira.

Aos amigos que fiz no mestrado, Jhaber Yacoub e Jaime Rodriguez pela amizade, Cícera Mariana e Paula Chaucanes, amigas dentro e fora do laboratório que fizeram esta caminhada mais leve.

Aos meus colegas que, cada um a seu tempo, me ajudaram no laboratório: Danilo, Mariane, Karen, Solange Calixto, técnica Natália e a todos que se disponibilizaram a ajudar nas campanhas de coleta.

À minha amiga Camila Yuri, que solicitamente “apareceu” em momentos estratégicos para me auxiliar.

Às pisciculturas do Ribeirão Can-can e seus gestores, em especial Maycon e Rita, pelo apoio logístico nas coletas.

Ao professor Tsunao Matsumoto, que oportunamente contribuía de forma crucial na minha trajetória e na minha pesquisa.

Ao professor Alexandre Ninhaus, pela prontidão com que me disponibilizou informações e Relatórios importantes a esta pesquisa.

Ao professor William Isique, sempre disposto a me ajudar, por toda a sua contribuição no laboratório, na qualificação e finalmente, com análises estatísticas.

À professora Silvia Maria Almeida, pelo auxílio financeiro do Ministério da Educação por meio do “Programa de desenvolvimento da aquicultura no Reservatório de Ilha Solteira”, para análises e logística.

À doutoranda Letícia de Oliveira Manoel e à química Patrícia do Departamento de Água e Esgoto da Prefeitura de Ilha Solteira, pela presteza.

À CAPES pela bolsa concedida.

A todos do Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, e em geral, às diversas pessoas que de alguma forma contribuíram na realização desta pesquisa.

Obrigada!

“Nada na vida é para ser temido, é apenas para ser compreendido. Agora é a hora de compreender mais, para temer menos”.
Marie Curie

RESUMO

O Brasil possui amplo potencial para a aquicultura, atividade apontada como uma importante alternativa para o crescimento da produção de pescado no país. A atividade é realizada muitas vezes nos sistemas abertos (reservatórios), e medidas de controle e prevenção assumem grande importância por conta da dificuldade para redução de impactos ambientais desta atividade nas águas, que deve ser preservada a fim de se garantir os seus múltiplos usos. Neste estudo foram realizados o monitoramento e a avaliação da qualidade da água no Ribeirão Can-can, onde estão instaladas três pisciculturas com sistema de cultivo em tanques-rede, localizadas no Reservatório de Ilha Solteira, município de Santa Clara d'Oeste - SP. As amostragens necessárias para a pesquisa e análises foram realizadas com frequência mensal no período entre setembro/2016 e setembro/2017 em quatro pontos do corpo hídrico considerados estratégicos para o objetivo do estudo. A partir dos resultados obtidos das análises físico-químicas e biológicas foi realizada uma análise comparativa com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas doces classe 2, e aplicado o Índice de Qualidade da Água - IQA da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), a fim de se obter uma classificação quanto a qualidade do corpo hídrico monitorado e poder correlacioná-la com possíveis causas de poluição. Para os valores de IQA observados a qualidade da água foi classificada entre boa e ótima. Apesar disso, foram constatadas elevadas concentrações de fósforo em todas as análises, variando entre 0,07 mg/L e 0,96 mg/L. Em virtude disso, as águas do Ribeirão Can-can merecem atenção por meio de monitoramentos e avaliações constantes, pois apresentam atualmente potencial para eutrofização.

Palavras-chave: Resolução CONAMA nº 357/05. Índice de qualidade da água. Impacto ambiental. Nutrientes. Fósforo.

ABSTRACT

Brazil has a large potential for aquaculture, which is listed as an important alternative to rise fishing production in the country. The activity is developed mostly in open systems (reservoirs), and control and prevention actions take important place due to the difficulty to reduce the environmental impacts of this activity on water, which must be preserved in order to guarantee its multiple uses. In this study, water quality monitoring and evaluation was carried out in Ribeirão Can-can, where are installed three units of fish farms in cage system located at Ilha Solteira Reservoir, at the city of Santa Clara d'Oeste - SP. The analyses needed for the research were carried monthly from September 2016 to September 2017 in four strategic sites of the water body. As of the results of physical, chemical and biological tests a comparative analysis was made with CONAMA Resolution nº 357/05 standards for fresh waters class 2 and applying the Water Quality Index (WQI) from CETESB (Environmental Company of the State of São Paulo) in order to obtain a quality classification level of the monitored water body and correlate it with possible sources of pollution. With the results of WQI observed, the water quality was classified between good and great. Despite it, were found high phosphorus concentrations in all samples, varying between 0,07 mg/L and 0,96 mg/L. As so, the waters of Ribeirão Can-can deserve attention by constant monitoring and evaluations because of its high potential to eutrophication.

Key-words: CONAMA Resolution nº 357/05. Water quality index. Environmental impact. Nutrients. Phosphorus.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 - | Reservatório de Ilha Solteira e municípios localizados dentro de sua área de influência. | 22 |
| Figura 2 - | Resumo simplificado das principais perdas de P (fósforo) para o meio aquático em decorrência da criação intensiva de peixes em tanques-rede. | 27 |
| Figura 3 - | Classes de enquadramento dos corpos d'água segundo as categorias de usos, em águas doces. | 29 |
| Figura 4 - | Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas. | 32 |
| Figura 5 - | Mapa de localização do Ribeirão Can-Can e posicionamento dos pontos de amostragem P1, P2, P3 e P4. | 41 |
| Figura 6 - | Mapa das Sub-bacias da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Turvo Grande – UGRHI 15 | 42 |
| Figura 7 - | Imagem aérea obtida com drone a partir da foz do Ribeirão Can-Can, com curso do Rio Grande à direita (20/09/2017). | 43 |
| Figura 8 - | Tanques-rede em desuso com vegetação aderida da piscicultura Zippy (14/03/2017). | 44 |
| Figura 9 - | Tanque-rede da piscicultura Royal Fish (18/04/2017). | 44 |
| Figura 10 - | Tanques-rede da piscicultura Puro Peixe (12/07/2017). | 45 |
| Figura 11 - | Vista aérea da piscicultura Zippy (obtida com drone) e indicação do Ponto P1, em amarelo (20/09/2017). | 47 |
| Figura 12 - | Vista aérea da piscicultura Puro Peixe (obtida com drone) e indicação do Ponto P2, em amarelo (20/09/2017). | 47 |
| Figura 13 - | Vista aérea da piscicultura Royal Fish (obtida com drone), Ponto P3, em amarelo e Ponto P4, em laranja (20/09/2017). | 48 |
| Figura 14 - | Materiais utilizados em campo. | 49 |
| Figura 15 - | Estrutura da Piscicultura Puro Peixe e barco sendo preparado para percorrer o trajeto. | 50 |
| Figura 16 - | Equipamentos utilizados no laboratório. (a) Dispositivo portátil de Oxigênio e temperatura YSI 55. (b) Peagâmetro Digimed DM-22. (c) Turbidímetro Thermo Orion Aquafast II (d) Espectrofotômetro Hach Odyssey DR-2500. (e) Espectrofotômetro Hach DR-2010. (f) Incubadora para DBO Tecnal TE 390. | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 - Precipitação pluviométrica mensal (mm) em Santa Fé do Sul- SP, no período entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 56 |
| Figura 18 - Série temporal do pH registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro/2016 e setembro/2017. | 58 |
| Figura 19 - Gráfico BoxPlot do pH nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 59 |
| Figura 20 - Série temporal das temperaturas registradas nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 60 |
| Figura 21 - Gráfico BoxPlot da Temperatura nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 61 |
| Figura 22 - Série temporal do Oxigênio Dissolvido registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 63 |
| Figura 23 - Gráfico BoxPlot do Oxigênio Dissolvido nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 63 |
| Figura 24 - Série temporal da turbidez registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 65 |
| Figura 25 - Draga de areia (ao fundo) passando nas proximidades dos pontos de amostragem P3 e P4 durante as coletas (12/07/17). | 66 |
| Figura 26 - Gráfico BoxPlot da Turbidez nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 67 |
| Figura 27 - Série temporal da DBO registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 68 |
| Figura 28 - Gráfico BoxPlot da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 69 |
| Figura 29 - Série temporal do Nitrogênio total registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 70 |
| Figura 30 - Gráfico BoxPlot do Nitrogênio Total nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 71 |
| Figura 31 - Série temporal do Fósforo total registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 72 |
| Figura 32 - Excesso de ração boiando na água entre os tanques nas proximidades do P3 (14/03/2017). | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 33 - Gráfico BoxPlot do Fósforo Total nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 74 |
| Figura 34 - Série temporal de Coliformes termotolerantes registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 77 |
| Figura 35 - Série temporal de Coliformes Totais registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 78 |
| Figura 36 - Série temporal dos Sólidos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 80 |
| Figura 37 - Gráfico BoxPlot dos Sólidos Totais nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017. | 80 |
| Figura 38 - Série temporal dos Sólidos Dissolvidos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 81 |
| Figura 39 - Série temporal dos Sólidos Suspensos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017. | 81 |
| Figura 40 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 1, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP. | 84 |
| Figura 41 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 2, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP. | 85 |
| Figura 42 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 3, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP. | 86 |
| Figura 43 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 4, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP. | 86 |
| Figura 44 - Gráfico da Matriz de correlação de autovalores | 92 |
| Figura 45 - Gráfico de pesos e escores (biplot) das variáveis da água utilizadas no IQA e precipitação pluviométrica. | 94 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 - | Informações gerais sobre a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e respectivo reservatório. | 23 |
| Tabela 2 - | Parâmetros e pesos relativos ao IQA. | 30 |
| Tabela 3 - | Classificação do IQA. | 33 |
| Tabela 4 - | Informações morfométricas e hidrológicas do Ribeirão Can-Can, Reservatório de Ilha Solteira-SP. | 43 |
| Tabela 5 - | Coordenadas dos pontos de amostragem. | 46 |
| Tabela 6 - | Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade de água monitorados em quatro pontos de coleta durante o período de setembro de 2016 a setembro de 2017, no Ribeirão Can-can. | 57 |
| Tabela 7 - | Cenários (otimista, intermediário e realista) da produção máxima de peixes (tilápias) para o Ribeirão Can-can. | 75 |
| Tabela 8 - | Valores médios do Índice de Qualidade da água (IQA) para os quatro pontos analisados entre os meses de setembro/2016 e setembro/2017. | 83 |
| Tabela 9 - | IQA final dos pontos analisados e no Ribeirão Can-can, para o período compreendido entre os meses de setembro/2016 e setembro/2017. | 84 |
| Tabela 10 - | Resultados obtidos para o Ponto 1, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05. | 89 |
| Tabela 11 - | Resultados obtidos para o Ponto 2, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05. | 90 |
| Tabela 12 - | Resultados obtidos para o Ponto 3, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05. | 91 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 13 - | Resultados obtidos para o Ponto 4, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05. | 92 |
| Tabela 14 - | Vetores próprios extraídos das variáveis analisadas nos dois primeiros componentes gerados pela PCA para o período de setembro de 2016 a setembro de 2017 (N=47). | 94 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------------------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| APHA | American Public Health Association |
| AWWA | American Water Works Association |
| CBH-TG | Comitê da Bacia Hidrográfica do Turvo Grande |
| CESP | Companhia Energética do Estado de São Paulo |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CIIAGRO | Centro integrado de informações agrometeorológicas |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| EUA | Estados Unidos da América |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| hs | horas |
| IQA | Índice de Qualidade da Água |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| n | número de variáveis que entram no cálculo do IQA |
| NSF | National Sanitation Foundation |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| PC | Componente principal |
| PCA | Análise de componentes principais |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| P _{total} | Fósforo Total |
| qi | qualidade do i-ésimo parâmetro do IQA |
| SP | São Paulo |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UFC | Unidade Formadora de Colônia |
| UGRHI | Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| UHE | Usina Hidrelétrica |
| Unesp | Universidade Estadual Paulista |

| | |
|-----|---|
| UNT | Unidades Nefelométricas de Turbidez |
| uT | Unidades de Turbidez |
| WEF | Water Environment Federation |
| wi | peso correspondente ao i-ésimo parâmetro do IQA |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 20 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 3.1 | RESERVATÓRIO..... | 21 |
| 3.2 | USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA | 24 |
| 3.3 | CRIAÇÃO DE PEIXES EM TANQUES-REDE | 25 |
| 3.4 | IMPACTOS AMBIENTAIS DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE | 26 |
| 3.4.1 | Eutrofização | 27 |
| 3.5 | ENQUADRAMENTOS DE CORPOS D'ÁGUA | 29 |
| 3.6 | ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA..... | 30 |
| 3.7 | PARÂMETROS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA | 34 |
| 3.7.1 | Características físicas | 34 |
| 3.7.2 | Características químicas | 36 |
| 3.7.3 | Características biológicas | 38 |
| 3.8 | PESQUISAS PRELIMINARES QUE EMBASARAM ESTE TRABALHO | 39 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 41 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 41 |
| 4.2 | PONTOS DE AMOSTRAGEM..... | 45 |
| 4.3 | PLANO DE COLETA | 48 |
| 4.4 | MÉTODOS DE ANÁLISE | 50 |
| 4.5 | EQUIPAMENTOS UTILIZADOS..... | 52 |
| 4.6 | ANÁLISE DOS DADOS..... | 53 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 55 |
| 5.1 | QUALIDADE DA ÁGUA..... | 58 |
| 5.1.1 | Potencial hidrogeniônico–pH | 58 |
| 5.1.2 | Temperatura | 59 |
| 5.1.3 | Oxigênio dissolvido | 61 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 5.1.4 | Turbidez | 64 |
| 5.1.5 | DBO_{5,20} | 68 |
| 5.1.6 | Nitrogênio total | 69 |
| 5.1.7 | Fósforo total | 71 |
| 5.1.8 | Coliformes termotolerantes | 76 |
| 5.1.9 | Sólidos totais | 79 |
| 5.2 | ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – IQA | 82 |
| 5.3 | ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS | 92 |
| 6 | CONCLUSÃO | 96 |
| | REFERÊNCIAS | 98 |

1 INTRODUÇÃO

A água será a grande *commodity* ambiental dos próximos anos e também o maior motivador de conflitos de interesses de seus múltiplos usos. Para a aquicultura, pode-se dizer que a água é a principal matéria-prima. (OSTRENSKY et al., 2008).

A água é um bem comum do povo e, como tal seu uso não pode ser apropriado por pessoas, físicas ou jurídicas, com exclusão dos demais usuários, nem pode implicar na sua poluição ou no seu esgotamento.

Com o contínuo aumento da população mundial, a corrida pelo desenvolvimento e industrialização, multiplicação das poluições que podem ser de origem agrícola, industrial, doméstica, entre outras, são elementos que fazem surgir questões fundamentais sobre o futuro da água, tanto em quantidade quanto em qualidade.

O cultivo de peixes em tanques-rede vem ganhando adeptos em todo o Brasil. Ao contrário das estratégias de cultivo tradicionais, a produção de peixes em tanques-rede possibilita o aproveitamento dos rios, dos grandes reservatórios, dos estuários, dos lagos naturais e dos açudes espalhados em milhares de propriedades rurais em todo o país (ONO; KUBITZA, 2003).

Conforme Ono e Kubitza (2003), o Brasil reúne condições muito favoráveis ao desenvolvimento da piscicultura. Além do enorme potencial dos mercados nacional e mundial, conta com clima favorável ao cultivo de inúmeras espécies de peixes nas diferentes regiões, possui boa disponibilidade de área, grande produção de grãos e outros ingredientes usados nas rações, um parque industrial bastante desenvolvido nas áreas de insumos e beneficiamento e, acima de tudo, um invejável potencial hídrico.

Oliveira et al. (2014) afirma que, em se tratando de águas públicas, esta é uma atividade apontada como uma importante alternativa para o crescimento da produção de pescado no Brasil. Entre os anos de 2002 e 2012 a aquicultura brasileira cresceu a uma taxa média de 10% ao ano, contra um crescimento mundial de 6% ao ano no mesmo período (KUBITZA et al., 2012a).

A região servida pelo Reservatório de Ilha Solteira/SP (municípios de Santa Fé do Sul, Santa Clara d'Oeste, Rubinéia e Ilha Solteira) teve seus primeiros cultivos comerciais iniciados em 2004/2005. Hoje, a região é o principal polo produtor de tilápia no Estado de São Paulo.

A aquicultura passa por uma fase de grande pressão para produzir de forma eficiente e ambientalmente responsável (BOYD et al., 2007 apud MALLASEN et al., 2012), uma vez que todo processo produtivo, incluindo o aquícola, gera resíduos que podem impactar o ambiente. As boas práticas de manejo nas criações de peixes em tanques-rede são decisivas para o bom aproveitamento do potencial dos reservatórios.

Os resíduos fecais, as sobras de rações e a excreção de amônia através das brânquias e urina dos peixes são as principais fontes de resíduos orgânicos dos sistemas de produção em tanques-rede. O aporte excessivo de nutrientes pode levar a um aumento na biomassa primária (constituída basicamente pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas) e, em consequência, modificar a composição e a abundância das comunidades aquáticas, nas áreas de influência de parques aquícolas (ONO; KUBITZA, 2003).

A produtividade aquícola e os impactos ambientais decorrentes da atividade variam dependendo do sistema utilizado, do manejo alimentar, da gestão da água e da capacidade de assimilação do meio aquático ou terrestre.

Considerando o crescente investimento no cultivo de peixes em tanques-rede em grandes reservatórios tropicais, o monitoramento da qualidade da água do corpo d'água que está sob essa ação antrópica é fundamental. As informações obtidas neste trabalho são importantes para uma melhor compreensão da ecologia de reservatórios e assim criar condições para seu uso sustentável.

2 OBJETIVOS

2.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a qualidade da água de pisciculturas com sistema de cultivo em tanques rede localizadas no Ribeirão Can-can, inserido no Reservatório da UHE de Ilha Solteira, município de Santa Clara D'Oeste/SP, por meio de monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos, utilizando o Índice de Qualidade da Água – IQA.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Avaliar a qualidade da água do Ribeirão Can-can e pisciculturas nele instaladas por período sazonal (um ano) e comparar os resultados com outros trabalhos relacionados ao tema.
- Determinar o Índice de Qualidade da água – IQA para cada ponto estudado no Ribeirão Can-can.
- Verificar o atendimento dos parâmetros analisados aos padrões de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para um rio classe 2.
- Obter informações que possam ampliar os conhecimentos a respeito dos segmentos produtivos da aquicultura no Reservatório de Ilha Solteira, fornecendo subsídios para que os possíveis impactos possam ser minimizados para se tornarem compatíveis com os benefícios da produção de pescado na região.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESERVATÓRIO

Os reservatórios são sistemas aquáticos artificiais, formados pela obstrução parcial de cursos d'água através de barramentos (BRABO, 2014). De acordo com Tucci (2001), eles são parte integrante de uma bacia hidrográfica e, assim sendo, são influenciados pelos efeitos das atividades antropogênicas, que podem provocar alterações no corpo hídrico. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água precipitada que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Esta área compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em leito único no exutório.

Os ambientes aquáticos podem ser classificados como lóticos (rios, riachos) ou lênticos (lagos, lagoas): a principal diferença entre eles é que em ecossistemas lóticos o permanente movimento horizontal das correntes tende a ser um fator limitante e de controle ao contrário dos ecossistemas lênticos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Os reservatórios são considerados um ecossistema misto de rios e lagos, diferindo destes últimos em função da sua origem, idade, morfologia, posição dentro da bacia hidrográfica, formas de utilização e também pelo seu comportamento limnológico. Estes ecossistemas geralmente apresentam baixo tempo de residência da água, motivo pelo qual são considerados, em sua maioria, como uma transição entre os ambientes lótico e lênticos (STRASKRABA; TUNDISI, 2000; WETZEL, 2001).

Conforme a Companhia Energética do Estado de São Paulo - CESP (2006), Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira localiza-se entre os municípios de Ilha Solteira (Estado de São Paulo) e Selvíria (Estado de Mato Grosso do Sul), nas coordenadas 20°25'42" S e 51°20'34" W, inserindo-se na bacia hidrográfica do rio Paraná. Sua construção foi iniciada em 1965, com início de operação em 18 de julho de 1973 e conclusão em 1978. Tem 20 turbinas tipo Francis, com potência total de 3.230,0MW, e queda bruta nominal de 46 metros. Sua barragem possui 5.605 metros de

comprimento e dispõe de 19 vertedouros de superfície, capazes de defluir até 37.900 m³/s. O Canal Pereira Barreto, com 9.600 metros de comprimento, interliga os Reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, propiciando o acesso hidroviário do tramo Paraná ao tramo Tietê e a operação energética integrada das duas usinas.

Figura 1 - Reservatório de Ilha Solteira e municípios localizados dentro de sua área de influência.



Fonte: Adaptado de Pereira (2006).

O reservatório (Figura 1) tem regime de operação hidráulica de acumulação, o que significa que contribui para a regularização das vazões do Rio Paraná,

amortecendo ondas de cheia e possibilitando uma defluência controlada das vazões afluentes, e que apresenta significativas variações sazonais do nível da água. Esse reservatório drena uma bacia de 375.460km² e possui as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações gerais sobre a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e respectivo reservatório.

| Empreendimento | UHE Ilha Solteira |
|--------------------------------|---|
| Localização | Ilha Solteira-SP Selvíria-MS |
| Início da Construção | 1965 |
| Início da Operação | 18 de julho de 1973 |
| Turbinas | 20 unidades Francis |
| Potência instalada | 3.230 MW |
| Comprimento da barragem | 6.100 m |
| Reservatório | |
| Área | 1.195 km ² |
| Perímetro | 1.513 km |
| Volume | 21.060 x 10 ⁶ m ³ |
| Profundidade média | 17,6 m |
| Vazão média | 5.121 m ³ .s ⁻¹ |
| Tempo de residência | 47,6 dias |
| Nível de água mínimo | 314,00 m |
| Nível de água normal | 328,00 m |
| Nível de água máximo | 329,00 m |

Fonte: CESP (2006).

Os reservatórios são influenciados pelo regime de operação das barragens, principalmente no que se refere à abertura de comportas de fundo. O procedimento pode ser frequente, já que se destina à regularização de vazões, ou esporádico, onde é razoável supor que o estoque de nutrientes aumente com o passar do tempo. A necessidade de regularização de vazões, nos períodos de cheia, normalmente acontece no verão das regiões de clima subtropical, período em que os reservatórios também se encontram mais propensos ao super crescimento de algas e de plantas aquáticas (STRASKRABA; TUNDISI, 2000; WETZEL, 2001).

Pelo grande número de lagos, represas e reservatórios em seu território, o Brasil possui amplo potencial de produção de pescados. Diante deste cenário, o

governo federal tem incentivado a piscicultura em tanques-rede em corpos d'água, a ponto de, nas últimas décadas, esta atividade ter se consolidado como importante atividade no agronegócio brasileiro, aliviando a pressão na pesca extrativista para a oferta de pescado (FIRETTI et al., 2007).

No reservatório de Ilha Solteira o cultivo de tilápia em tanque-rede encontra-se em pleno desenvolvimento, devido à qualidade dos recursos hídricos, às condições climáticas favoráveis à espécie e à delimitação de parques e áreas aquícolas (MALLASEN et al., 2012).

O uso dos reservatórios para a aquicultura de forma ordenada e planejada já é uma forma de evitar impactos ambientais indesejados e de garantir o uso múltiplo das águas.

3.2 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

Segundo Ono e Kubitz (2003), a escolha de locais para produção de peixes em tanques-rede no Brasil deve levar em conta os usos múltiplos da água. Embora nosso país tenha grande disponibilidade hídrica, sua distribuição é irregular, e corpos d'água próximos a grandes cidades tem diferentes usos, como para abastecimento público, recreação, suporte a atividades agropecuárias e, em muitos casos, recebem descargas de efluentes domésticos e industriais.

Como a produção de peixes gera efluentes, não é indicada sua implantação nas proximidades de captações de água para consumo humano sem tratamento ou com tratamento simplificado. Por outro lado, a contaminação da água por poluentes químicos provenientes de despejos industriais e atividades agropecuárias pode até causar a mortandade de peixes. Outro ponto relevante é o uso de reservatórios para fins de recreação e navegação, com tráfego intenso de pequenas embarcações, o que provoca estresse nos peixes e aumenta riscos de colisão com estruturas de produção (ONO; KUBITZA, 2003).

A Cetesb (2001) afirma que o reservatório de Ilha Solteira se localiza em uma região com baixa densidade demográfica, tendo no setor primário sua principal atividade, destacando-se a pecuária, cana-de-açúcar, laranja, café e culturas

temporárias como milho, arroz, etc. A água está destinada para abastecimento público, afastamento de efluentes domésticos, irrigação de plantações e para as principais atividades industriais como usinas, destilarias, curtumes, frigoríficos e laticínios.

3.3 CRIAÇÃO DE PEIXES EM TANQUES-REDE

Dentre as principais características da criação de peixes em tanques-rede, podem ser destacados o aproveitamento de ambientes aquáticos existentes, sem necessidade de escavação de tanques e reduzindo problemas de erosão e conflitos para uso do solo, reduzido custo de implantação, mobilidade do sistema, possibilidade de rápida expansão, melhor controle dos estoques de peixes e proteção contra predadores naturais, além de obtenção de produto diferenciado, com baixa incidência de problema de mau sabor (ONO; KUBITZA, 2003).

No momento, a dificuldade para obter o licenciamento ambiental tem sido o principal gargalo para uma expansão mais acelerada da piscicultura no Sudeste do país, em especial nos cultivos em tanques-rede nos grandes reservatórios (KUBITZA et al., 2012b).

A criação de peixes em tanques-rede é uma modalidade de criação intensiva, que utiliza elevada densidade de estocagem e, por isso, exige constante renovação de água para a dispersão dos resíduos metabólicos dos peixes no ambiente (BRABO, 2014).

Nos sistemas fechados (terrestres) de produção de organismos aquáticos, além de medidas preventivas de controle da qualidade da água, é possível o tratamento do efluente da piscicultura antes do seu lançamento em algum corpo d'água. Nos sistemas abertos, em reservatórios de médio e pequeno portes, as medidas preventivas assumem maior importância pela pouca possibilidade de interferência para corrigir alterações na qualidade da água (AYROZA, 2011).

3.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE

Qualquer atividade econômica causa alguma modificação no meio ambiente. Estudar e tentar entender estas mudanças é necessário para que se possa evitá-las ou minimizar os seus efeitos.

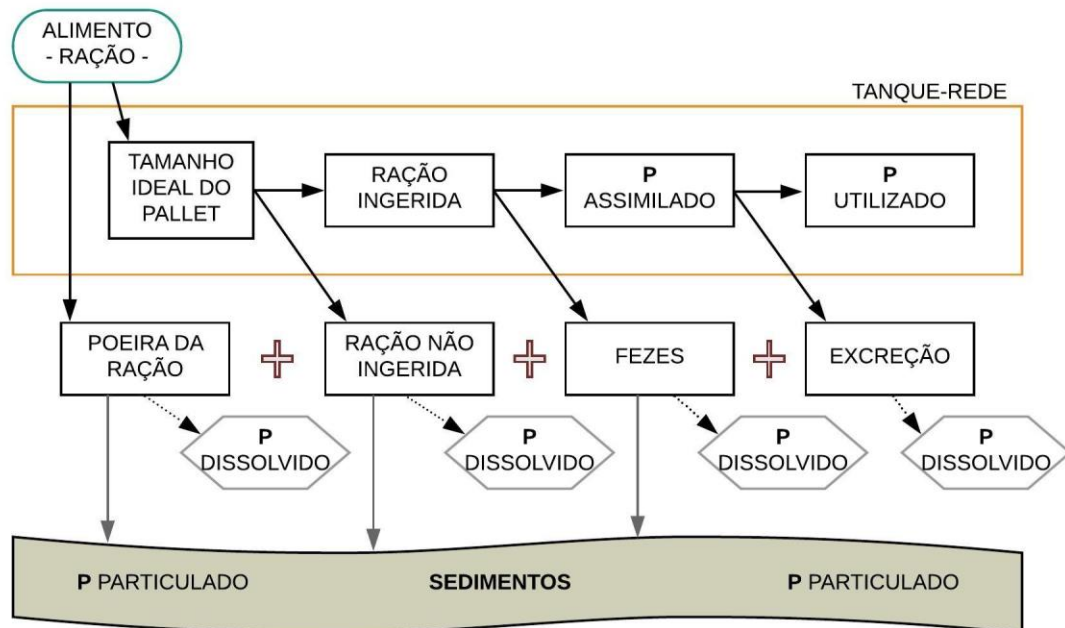
Considerando o amplo crescimento das atividades de piscicultura em tanques-rede em águas públicas abertas, o sucesso da produção racional em aquicultura sustenta-se na importância da implementação de novos estudos limnológicos associados, sob a óptica da preocupação com a qualidade de água dos mananciais e das reservas das águas brasileiras, que estão cada vez mais comprometidas (SIPAÚBA-TAVARES, 1995; TUNDISI, 2003).

Os maiores impactos causados pela piscicultura em tanques-rede dizem respeito ao aumento nas concentrações de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica, tanto na coluna d'água quanto no sedimento do local onde é praticada a criação, tendo como principal fonte a alimentação (FERRARIS et al., 2006). Além disso, as modificações que podem ocorrer em decorrência do cultivo em tanques-rede relacionam-se às variáveis físico-químicas da água, tais como oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, transparência e materiais em suspensão, bem como à produção primária de fitoplâncton (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

O nitrogênio é proveniente do metabolismo do peixe e, quanto mais intensivo for o sistema, maior será a sua produção, devido à maior densidade de estocagem e maior dependência de ração. O fósforo, por ser um mineral importante no metabolismo animal, é adicionado às rações e, como os demais minerais, nem todo fósforo suprido é metabolizado, parte dele é repassada para a água por lixiviação da ração e outra parte é liberada pelas fezes. Assim, dependendo do teor e forma em que o fósforo se encontra na dieta, associado à qualidade e quantidade de ração fornecida, poderá haver um maior ou menor aporte de fósforo para o ambiente (MALLASEN et al., 2012).

Para melhor compreensão desta problemática segue esquema (Figura 2) do modelo clássico de Beveridge (1984) sobre o aporte teórico de fósforo oriundo do manejo de piscicultura para o meio aquático.

Figura 2 -Resumo simplificado das principais perdas de P (fósforo) para o meio aquático em decorrência da criação intensiva de peixes em tanques-rede.



Fonte: Adaptado de Beveridge (1984).

Este aporte pode conduzir a um processo de eutrofização artificial (VON SPERLING, 2014a), que ocasiona a deterioração da qualidade da água, ainda que, segundo Ramos et al. (2008), na história recente desta atividade em represas da região sudeste do Brasil haja poucas evidências da perda de qualidade da água em decorrência destes empreendimentos.

Para Ono e Kubitzka (2003), os impactos ambientais da piscicultura em tanques rede sobre a qualidade da água poderiam ser minimizados pelo uso de rações de alta qualidade, o que significa maior digestibilidade e conversão alimentar.

3.4.1 Eutrofização

Conforme Esteves (2011), na maioria dos reservatórios o fósforo é considerado o fator limitante da produtividade primária e, quando disponível em excesso, é apontado como o principal responsável pela eutrofização. Nos ambientes aquáticos naturais, este elemento se encontra na forma de fosfato, tendo

origem em fontes naturais ou antropogênicas. Dentre as fontes naturais, se destacam os fosfatos (PO_4^{3-}) das rochas da bacia de drenagem e aquele resultante da decomposição de organismos. As fontes antrópicas incluem efluentes domésticos e industriais, fertilizantes, pesticidas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera.

As alterações pelo aporte de fósforo podem causar efeitos significativos sobre os ciclos de outros elementos, tais como C, N, S e Fe. Pode resultar, por exemplo, no aumento da taxa fotossintética e entrada de CO_2 da atmosfera, redução da relação N/P, crescimento de cianobactérias fixadoras de nitrogênio, aumento da biomassa de plantas e das taxas de respiração, com o desenvolvimento de águas pobres em oxigênio dissolvido, o que favorece a produção de metano, gás sulfídrico, amônia e a liberação de ferro desde os sedimentos (TUNDISI, 2001). De acordo com Mozeto (2004), os sedimentos depositados no fundo dos ambientes aquáticos constituem verdadeiros arquivos de informações de natureza física, química e biológica, uma vez que as camadas de deposição são temporal e sequencialmente acumuladas.

O processo de eutrofização pode ser considerado como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidente, cuja característica principal é a quebra de estabilidade do ecossistema, ou seja, o rompimento do equilíbrio entre a produção de matéria orgânica e o seu consumo e decomposição. Com a adição de nutrientes, ocorre aumento da produtividade primária sem incremento proporcional do consumo pelo zooplâncton, zoobentos e peixes, o que acarreta o aumento da sedimentação e depleção do oxigênio no hipolímnio. Estes efeitos podem resultar em um processo acentuado de perda da biodiversidade (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011).

Antes de implantar um cultivo de peixes em tanques rede é necessário realizar um estudo sobre o teor de nutrientes no corpo d'água e fazer uma projeção para a quantidade máxima de nutrientes (principalmente o fósforo) que poderá ser aportado pelo cultivo de forma a manter a qualidade da água em estado satisfatório para uma boa produtividade (ARARIPE et al., 2006).

3.5 ENQUADRAMENTOS DE CORPOS D'ÁGUA

Para enquadramento, regulamentação dos usos e garantia da qualidade das águas dos corpos d'água, foi editada em 2005 a Resolução CONAMA nº 357 de 18 de março, importante marco regulatório na gestão dos recursos hídricos no Brasil. O enquadramento proposto pela Resolução CONAMA nº 357 é feito segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, e é resumido na Figura 3.

Figura 3 - Classes de enquadramento dos corpos d'água segundo as categorias de usos, em águas doces.

| USO DAS ÁGUAS DOCES | CLASSE | | | | |
|---|----------|---|---|---|---|
| | ESPECIAL | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas | | | | | |
| Proteção das comunidades aquáticas | | | | | |
| Recreação de contato primário | | | | | |
| Aquicultura | | | | | |
| Abastecimento para consumo humano | | | | | |
| Recreação de contato secundário | | | | | |
| Pesca | | | | | |
| Irrigação | | | | | |
| Dessedentação de animais | | | | | |
| Navegação | | | | | |
| Harmonia paisagística | | | | | |

Fonte: Adaptado de São Paulo (2017).

O enquadramento dos corpos d'água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que se pretende para atender às necessidades da comunidade. A saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, 2005).

3.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA

A fim de facilitar a interpretação das informações de qualidade de água de forma abrangente e útil, seja para especialistas ou não, é fundamental a utilização de índices de qualidade.

O Índice de Qualidade de Água- IQA foi criado inicialmente pela National Sanitation Foundation - NSF dos Estados Unidos e modificado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. De acordo com Libânio (2010) o objetivo foi desenvolver um indicador que, por meio de resultados de análise de características físicas, químicas e biológicas, pudesse fornecer um balizador de qualidade das águas de um corpo hídrico.

Este índice foi desenvolvido e estruturado através de pesquisa de opinião de um grupo de profissionais da área ambiental. Na pesquisa, foi proposta uma lista de parâmetros que poderiam ser incluídos em um índice que representasse a qualidade de água.

A partir disso foram estabelecidos os nove parâmetros de qualidade e suas respectivas curvas de variação de qualidade, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seus respectivos pesos relativos conforme é apresentado na Tabela 2 e Figura 4.

Pode-se notar a importância do oxigênio dissolvido na determinação do IQA, respondendo a 17% do valor final do cálculo, sendo assim o mais relevante dos nove parâmetros que integram o índice.

Tabela 2 - Parâmetros e pesos relativos ao IQA.

| Parâmetros | Pesos Relativos |
|----------------------------|------------------------|
| Oxigênio Dissolvido | 0,17 |
| Coliformes Termotolerantes | 0,15 |
| pH | 0,12 |
| DBO | 0,10 |
| Temperatura | 0,10 |
| Fósforo Total | 0,10 |
| Nitrogênio Total | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |
| Sólidos Totais | 0,08 |

Fonte: Adaptado de Cetesb (2017).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliforme fecal, nitrogênio total, fósforo total e turbidez.

As seguintes equações (1 e 2) são utilizadas:

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

onde:

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

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

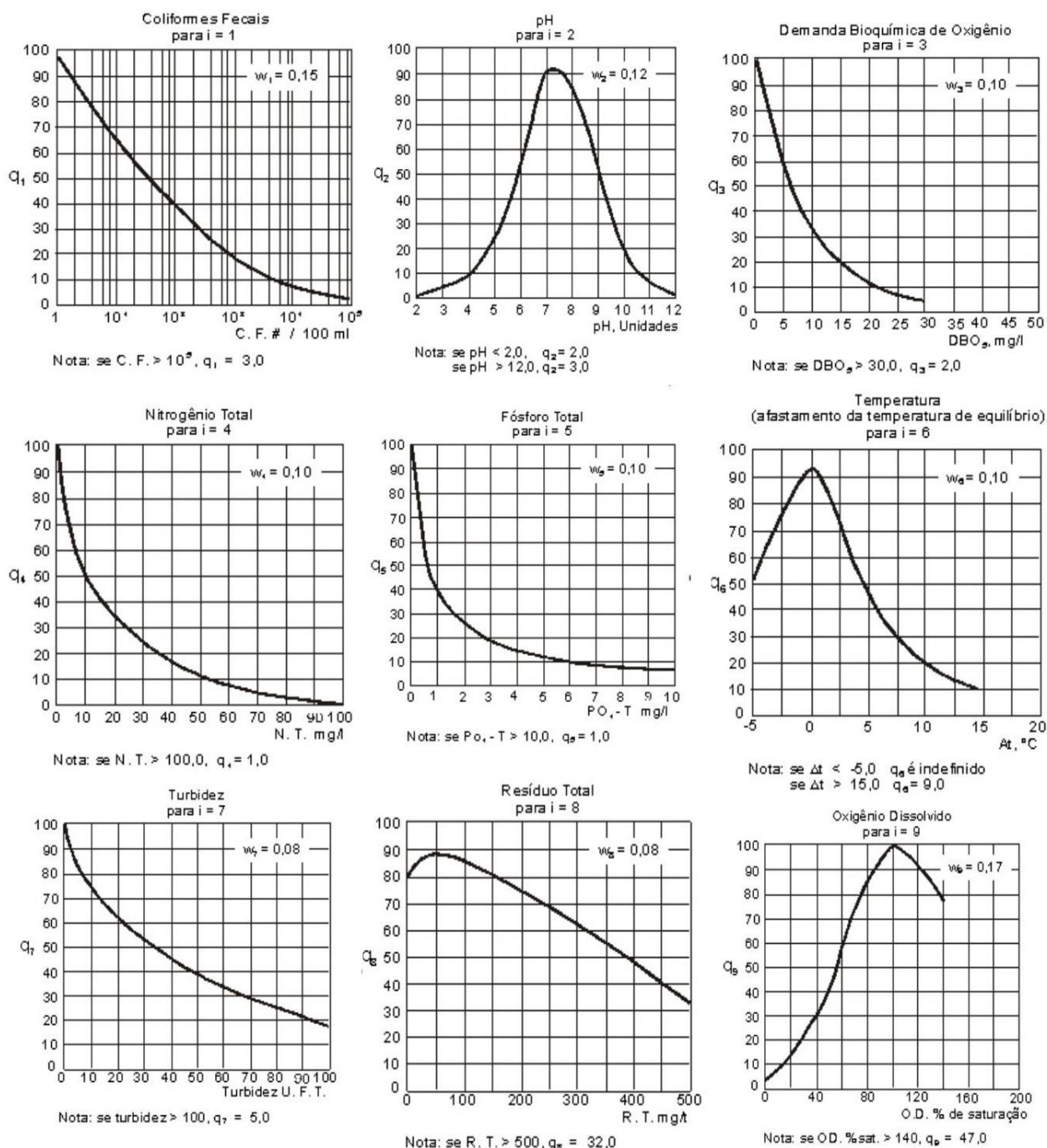
w_i: peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

onde:

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

Figura 4- Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas.



Fonte: CETESB (2017).

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, que reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos (MMA, 2005), segundo uma tabela de classificação de qualidade das águas, com intervalos de ponderação (Tabela 3), mais intuitiva ao público do que um valor numérico.

Tabela 3 – Classificação do IQA.

| Categoria | Ponderação |
|------------------|-------------------|
| ÓTIMA | 79 < IQA ≤ 100 |
| BOA | 51 < IQA ≤ 79 |
| REGULAR | 36 < IQA ≤ 51 |
| RUIM | 19 < IQA ≤ 36 |
| PÉSSIMA | IQA ≤ 19 |

Fonte: CETESB (2017).

De acordo com Racanicchi (2002), a qualidade da água é descrita e classificada de acordo com critérios estabelecidos a seguir:

- *Ótima* (80 a 100): são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, não recebem despejos de efluentes e não sofrem processos de degradação, excelente para manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

- *Boa* (52 a 79): são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, embora possam receber, em alguns pontos, pequenas ações de degradação, mas que não comprometem a qualidade para a manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

- *Aceitável* (37 a 51): são águas encontradas em rios que sofrem interferências e degradação, mas ainda podem ser utilizadas tanto para abastecimento público após tratamentos físico-químicos e biológicos, como para a manutenção da biologia aquática e produção de alimentos.

- *Ruim* (20 a 36): são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, comprometendo a qualidade para abastecimento público, manutenção da biologia aquática e produção de alimentos.

- *Péssima* (0 a 19): são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, comprometendo a qualidade, servindo a mesma apenas para navegação e geração de energia.

3.7 PARÂMETROS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Alguns parâmetros servem tanto para caracterizar águas de abastecimento quanto águas residuárias, mananciais e corpos receptores, e constata impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

Características físicas

Turbidez: A turbidez representa um grau de interferência da concentração de partículas suspensas na água, comumente sendo fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada. Sua concentração é obtida por meio da passagem de um feixe de luz através da amostra, sendo expressa por meio de unidades de Turbidez (uT) ou unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Pode ser elevada em regiões com solos erodíveis onde as precipitações podem carrear componentes que conferem a turbidez. Grande parte dos rios brasileiros é naturalmente turva devido às características geológicas das bacias de drenagem e índices pluviométricos, sendo alterada também devido a práticas agrícolas inadequadas. A turbidez natural das águas superficiais está geralmente compreendida na faixa de 3 a 500 uT (BRASIL, 2014).

Em corpos d'água, a turbidez pode prejudicar a fotossíntese por reduzir a penetração na luz, e pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos (VON SPERLING, 2014a).

É intrínseca a correlação entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos.

Temperatura: A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais. A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA, 2005).

A caracterização da temperatura da água apresenta importância uma vez que sua elevação acarreta no aumento da taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura); diminuição da solubilidade dos gases (ex: oxigênio dissolvido) e aumento da taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis. A análise da temperatura deve ser realizada em conjunto com outros parâmetros, tais como oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2014a).

Contudo, devido aos insignificantes efeitos à saúde e extrema dificuldade de alteração na temperatura da água para abastecimento, os padrões de potabilidade brasileiro e da Organização Mundial da saúde - OMS não estabelecem temperatura máxima para água de consumo (LIBÂNIO, 2010).

Sólidos: Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Simplificadamente, os sólidos podem ser classificados de acordo com as suas características físicas, em sólidos em suspensão, coloidais ou dissolvidos, ou pelas suas características químicas, em

sólidos orgânicos ou inorgânicos, os quais juntos formam os sólidos totais (VON SPERLING, 2014a).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho e com relação à natureza. Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante (CETESB, 2016).

Em Saneamento, o resíduo total é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Para o recurso hídrico, eles podem causar danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios promovendo decomposição anaeróbia (ANA, 2005).

Características químicas

pH: O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio na amostra, dando uma indicação sobre sua condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade, e varia de 0 a 14 (VON SPERLING, 2014a).

O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias e, como consequência, na intensidade da cor, na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, definindo o potencial de toxicidade de vários elementos. As águas naturais de superfície apresentam pH variando de 6,0 a 8,5, intervalo adequado à manutenção da vida aquática (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Von Sperling (2014a) as alterações no pH podem ser de origem natural através da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, ou de origem antropogênica, através de despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e industriais.

Oxigênio dissolvido: O oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. Libânio (2010) afirma que a concentração de oxigênio dissolvido (OD), com exceções muito específicas, é reconhecidamente o parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático.

Em corpos d'água, a concentração de 4,0 mg O₂/L é um limite abaixo do qual pode haver morte de peixes. Alguns mais resistentes como a tilápia suportam concentração menores, enquanto outros mais exigentes como a truta necessitam de pelo menos 7,0 mg O₂/L (NUVOLARI, 2011).

Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO: O parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio é um importante indicador de qualidade das águas naturais e expressa a presença de matéria orgânica na amostra, indicando a intensidade de consumo de oxigênio (em mg/L) necessário às bactérias na estabilização da matéria orgânica carbonácea, acabando por também indicar a concentração do carbono biodegradável. Sua determinação realiza-se com base na diferença na concentração de Oxigênio Dissolvido em amostra de água no período de cinco dias e temperatura de 20°C (LIBÂNIO, 2010).

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2016).

Nitrogênio: Em meio aquático o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônia livre, e em suas formas iônicas, amônio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻).

Segundo Von Sperling (2014a), o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (processo denominado eutrofização). Nos processos bioquímicos de conversão da amônia a

nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (o que pode afetar a vida aquática). As principais fontes de nitrogênio e fósforo nas águas naturais, em geral, são os esgotos domésticos, além de efluentes de indústrias e excrementos de animais. O escoamento de águas pluviais também contribui, tanto proveniente dos solos fertilizados das áreas agrícolas quanto das áreas urbanas.

Fósforo total: O fósforo total corresponde à soma de todas as formas de fósforo em uma amostra de água. O P_{total} em uma amostra é determinado convertendo-se todo o fósforo (dissolvido e particulado), presente em uma amostra não filtrada, em uma forma inorgânica, o ortofosfato (ESTEVES, 2011).

Para Libânio (2010), por ser menos abundante que o nitrogênio em corpos d'água, o fósforo acaba por se constituir com muita frequência no principal fator limitante ao desenvolvimento de algas e plantas no meio aquático, cujo crescimento exagerado leva ao processo de eutrofização.

Pode ter origem natural, proveniente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros (CETESB, 2016).

Características biológicas

A determinação individual da eventual presença de cada microrganismo patogênico em uma amostra de água não pode ser feita rotineiramente, já que envolveria a preparação de diferentes meios de cultura, tornando o procedimento complexo e financeiramente inviável. Na prática, o que é feito é a utilização de organismos, facilmente identificáveis, cuja ocorrência na água está correlacionada à presença de organismos patogênicos, ou seja, são usados os chamados

organismos indicadores. O mais importante organismo indicador são as bactérias coliformes (BRASIL, 2014).

Coliformes termotolerantes: São definidos como microrganismos do grupo coliforme compreendendo o gênero *Escherichia* e, em menor extensão, espécies de *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter* (BRASIL, 2014). Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes animais de sangue quente, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição. Podem ser encontrados igualmente em águas de regiões tropicais ou subtropicais, sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. Entretanto, sua presença em águas de regiões de clima quente não pode ser ignorada (CETESB, 2016). Na legislação brasileira, os coliformes termotolerantes são utilizados como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinada a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura.

3.8 PESQUISAS PRELIMINARES QUE EMBASARAM ESTE TRABALHO

Para a instalação de um Parque Aquícola no Reservatório de Ilha Solteira, foram realizados diversos estudos por volta do ano de 2007 com o objetivo de caracterizar os meios físico/climático e a identificação das melhores áreas para a atividade. Matsumoto e Silveira (2007) realizaram o estudo da qualidade da água e estado trófico de vários braços do reservatório, incluindo o Ribeirão Can-can. Assim, é possível proceder uma valiosa confrontação de dados entre o período de início das atividades aquícolas no local e a situação atual.

Nos anos seguintes, Cicigliano (2009) realizou um estudo sobre a influência de uma piscicultura na qualidade da água no município de Santa Fé do Sul/SP e Previato (2009) no município de Ilha Solteira/SP, rio São José dos Dourados, ambas

as áreas localizadas no reservatório de Ilha Solteira em uma época onde a instalação das pisciculturas era recente.

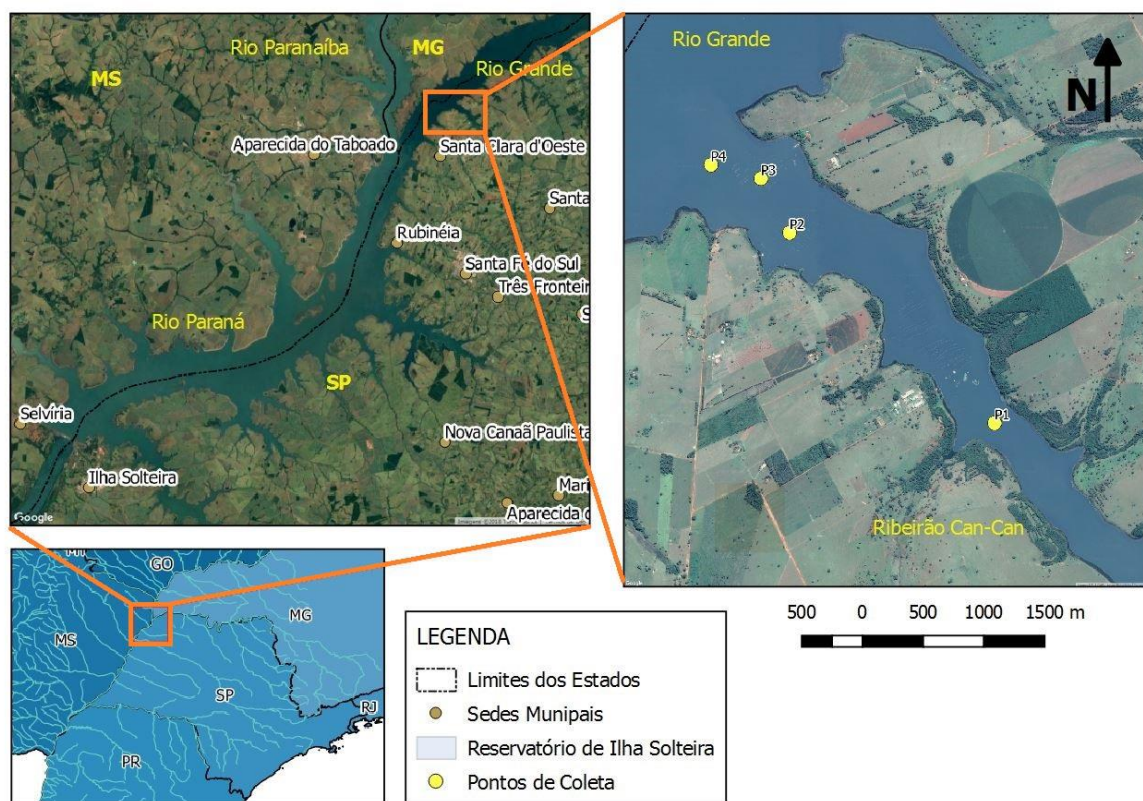
Assim como o estudo conduzido por Matsumoto e Silveira (2007), Carvalho e David (2007) realizaram a modelagem teórica da capacidade de suporte ambiental em braços previamente selecionados como requisito para a instalação do parque aquícola no reservatório da UHE de Ilha Solteira. A modelagem pelo método adotado é baseada no balanço de massa de fósforo disponibilizado ao ecossistema aquático como consequência do cultivo de peixes em tanques-rede, que gera emissão de fósforo devido a excreção dos peixes e por perda e excesso de ração, definindo assim a quantidade de fósforo máxima que pode ser emitida ao ecossistema sem induzir à eutrofização. Especificamente, o intuito desta modelagem foi dar um indicativo do nível máximo de produção de peixes que os trechos selecionados deste grande ecossistema aquático poderiam sustentar respeitando as normas e legislações estabelecidas para conservação e usos múltiplos de suas águas, por meio do limite de tanques-rede para o ordenamento dos sistemas de piscicultura (CARVALHO; DAVID, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Can-Can objeto deste estudo é um afluente do Rio Grande, desembocando a cerca de 7 km da confluência deste com o Rio Paranaíba, onde se forma o Rio Paraná, divisa entre os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (Figura 5). Este ribeirão está localizado no reservatório de Ilha Solteira, no município de Santa Clara d'Oeste-SP.

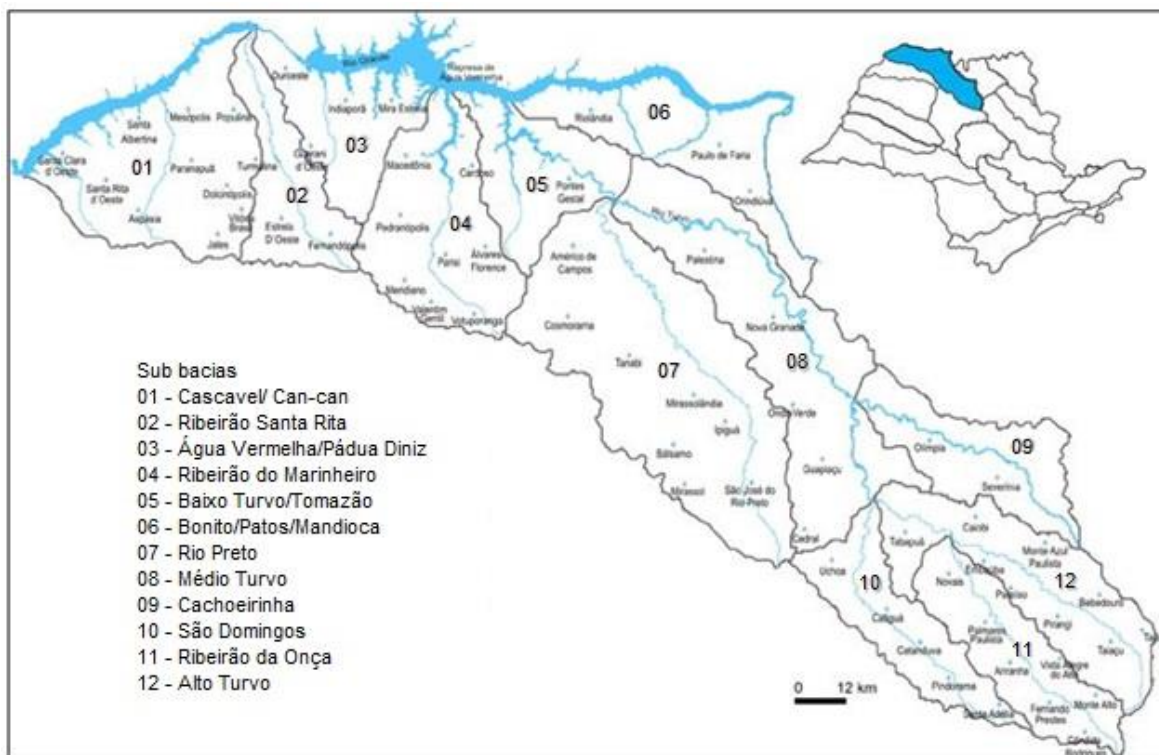
Figura 5- Mapa de localização do Ribeirão Can-Can e posicionamento dos pontos de amostragem P1, P2, P3 e P4.



Fonte: Elaborado pela autora.

A área está inserida na sub-bacia Cascavel/Can-Can (Figura 6), que pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Turvo Grande – UGRHI 15 (CBH-TG, 2015).

Figura 6–Mapa das Sub-bacias da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Turvo Grande – UGRHI 15



Fonte: CBH-TG (2015).

O reservatório de Ilha Solteira, da Usina Hidroelétrica de mesmo nome e situada no rio Paraná, apresenta uma área inundada de 1.195 km², tempo de residência de 46,7 dias (CESP, 2015), e adentra por esta UGRHI.

Dentre os vários cursos d'água com produção aquícola neste parque, o Ribeirão Can-Can (Figura 7) foi escolhido para este estudo por possuir mais de uma piscicultura instalada e devido ao apoio estrutural e operacional disponibilizado pela piscicultura Puro Peixe.

Figura 7 – Imagem aérea obtida com drone a partir da foz do Ribeirão Can-Can, com curso do Rio Grande à direita (20/09/2017).



Fonte: Própria autora.

A Tabela 4 apresenta as informações morfométricas e hidrológicas do corpo d'água.

Tabela 4—Informações morfométricas e hidrológicas do Ribeirão Can-Can, Reservatório de Ilha Solteira-SP.

| Braço | Área | Profundidade média (Z_m) | Volume | Vazão média | Tempo de Residência | |
|---------|-----------------|------------------------------|----------------|-------------------|---------------------|--------|
| | km ² | m | m ³ | m ³ /s | Dias | Anos |
| Can-Can | 2,36 | 7,09 | 16.732.400 | 9,00 | 21,52 | 0,0598 |

Fonte: Carvalho e David (2007).

Segundo Matsumoto e Silveira (2007), com relação ao nível trófico no Ribeirão Can-can, o mesmo apresentou características oligotróficas. Quanto às presenças de fitoplâncton, foi constatado uma grande variedade de espécies e em percentual variado com dominância das cianofíceas. Esta presença variada de espécies de fitoplâncton pode ser um indicativo de alteração no meio biótico do local, talvez motivado pela instalação de tanques-rede próximo ao ponto onde foi realizada a coleta.

O trecho de curso d'água estudado, de 3,4 km, possui instaladas três pisciculturas em tanques-rede, entretanto durante o período do estudo apenas duas encontravam-se em operação, Puro Peixe e Royal Fish.

Existia a expectativa de que a piscicultura Zippy (Figura 8), uma empresa de grande porte retomasse o seu funcionamento, fato que não se concretizou. A piscicultura Zippy já possuiu 1050 tanques e produzia 50 toneladas de peixe por mês no início de sua operação, em fevereiro de 2012.

Figura 8 - Tanques-rede em desuso com vegetação aderida da piscicultura Zippy (14/03/2017).



Fonte: Própria autora.

Não foram disponibilizados os dados da piscicultura Royal Fish (Figura 9).

Figura 9 - Tanque-rede da piscicultura Royal Fish (18/04/2017).



Fonte: Própria autora.

Na piscicultura Puro Peixe (Figura 10) havia 240 tanques de 18 m³ e 40 tanques de 144 m³ e capacidade de produção de 142 toneladas em peso vivo de peixes por mês, com consumo médio mensal de ração de 207 toneladas.

Figura 10 - Tanques-rede da piscicultura Puro Peixe (12/07/2017).



Fonte: Própria autora.

A principal espécie cultivada é a tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, pertencente à família dos ciclídeos, originária da bacia do rio Nilo, no Leste da África, encontrando-se amplamente disseminada nas regiões tropicais e subtropicais, como em Israel, no Sudeste Asiático e Continente Americano (EUA, México, Panamá e toda a América do Sul) (CARVALHO, 2006).

4.2 PONTOS DE AMOSTRAGEM

As amostragens de água foram realizadas em quatro pontos, com as coordenadas conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Coordenadas dos pontos de amostragem.

| Ponto | Coordenadas |
|--------------|---------------------------|
| 1 | 508795 m E 7782234 m S |
| 2 | 507105 m E 7783835 m S |
| 3 | 506819 m E 7784195 m S |
| 4 | 506445 m E 7784316 m S |

Fonte: Dados da autora.

Os pontos estão apresentados em planta na Figura 5 e foram escolhidos estrategicamente de modo a representar diferentes características no corpo d'água:

- P1, a montante das três pisciculturas (Figura 11);
- Dois pontos nas áreas de criação, entre os tanques-rede das duas pisciculturas em operação: P2 na Puro Peixe (Figura 12) e P3 na Royal Fish;
- P4, a jusante das pisciculturas, no encontro do Ribeirão Can-Can com o Rio Grande (Figura 13).

Figura 11–Vista aérea da piscicultura Zippy (obtida com drone) e indicação do Ponto P1, em amarelo (20/09/2017).



Fonte: Própria autora.

Figura 12 – Vista aérea da piscicultura Puro Peixe (obtida com drone) e indicação do Ponto P2, em amarelo (20/09/2017).



Fonte: Própria autora.

Figura 13 – Vista aérea da piscicultura Royal Fish (obtida com drone), Ponto P3, em amarelo e Ponto P4, em laranja (20/09/2017).



Fonte: Própria autora.

4.3 PLANO DE COLETA

As coletas de amostras de água para a determinação das características físico-químicas e biológicas foram realizadas com frequência mensal, compreendendo o período de setembro de 2016 até setembro de 2017, de forma a contemplar as estações sazonais (seca e chuvosa), sendo que a estação chuvosa na região Sudeste se inicia no mês de outubro (ALVES, 2005).

As campanhas de coleta foram sempre realizadas com intervalos não menores do que três semanas e não maiores do que cinco semanas entre uma e outra.

Todo o material a ser utilizado em campo era previamente higienizado e separado no laboratório (Figura 14), além da preparação e/ou checagem de soluções a serem utilizadas e calibração de equipamentos.

Figura 14 - Materiais utilizados em campo.



Foi utilizado o seguinte material:

- Bolsa de campo com prancheta, ficha de coleta, canetas, luvas, béquer, pisseta com água deionizada, papel absorvente, sacos plásticos;
- Isopor contendo garrafas de polietileno identificadas e gelo;
- Isopor contendo garrafas de DBO identificadas e preservantes;
- Equipamentos: oxímetro e pHmetro.

As amostras foram coletadas sempre no período da manhã, a uma profundidade de ± 30 cm, armazenadas em garrafas de polietileno e garrafas de DBO, preservadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras (CETESB, 2011) e transportadas até o Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UNESP – campus Ilha Solteira-SP.

Para chegar aos pontos pré-determinados, contava-se com o auxílio do Sistema de Posicionamento Global – GPS Garmin Etrex e com o apoio operacional da piscicultura Puro Peixe, que disponibilizava um barco e um colaborador da empresa para realização do trajeto (Figuras 15).

Figuras 15 – Estrutura da Piscicultura Puro Peixe e barco sendo preparado para percorrer o trajeto.



Fonte: Própria autora.

4.4 MÉTODOS DE ANÁLISE

As análises dos parâmetros físico-químicos das amostras foram realizadas conforme os métodos para análises de águas potáveis e residuárias – Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION-AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION-WEF, 1998), nas dependências do Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UNESP – campus Ilha Solteira-SP e no laboratório do Departamento de Água e Esgoto da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira-SP.

Os métodos utilizados para a realização das análises dos parâmetros em campo e em laboratório são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis analisadas e equipamentos utilizados.

| Parâmetro | Método | Precisão | Equipamentos/ Materiais |
|--|---|--------------------|---|
| pH | Eletrométrico | 0,01 | PHmetro portátil Checker by HANNA Instruments (campo) |
| Temperatura da água (°C) | Eletrométrico | 0,1 | Dispositivo portátil de Oxigênio e temperatura YSI 55 (campo) |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | | 0,01 | |
| pH | Eletrométrico | 0,01 | pHmetro |
| Turbidez (NTU) | Nefelométrico | 0,01 | Turbidímetro |
| DBO (mg/L) | Incubação a 20°C e 5 dias, sem diluição | 0,1 | Incubadora para DBO |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | Método de Winkler Modificado | 0,1 | - |
| Coliformes termotolerantes(UFC/100ml) | Placa para Contagem de <i>E.coli</i> e Coliformes 3MPetrifilm | 100 col/ 100 ml | Estufa de cultura |
| Coliformes totais (UFC/100ml) | | | |
| Fósforo Total (mg/L) | PhosVer 3 Test N Tube com Digestão por Ácido Persulfato | 0,01 | Digestor / Espectrofotômetro |
| Nitrogênio Total (mg/L) | Digestão por PersulfatoTest N Tube | 0,1 / 1,0 | Digestor / Espectrofotômetro |
| Sólidos totais (mg/L) | Gravimétrico | 1,0 | Mufla / Banho Maria / Estufa |
| Sólidos suspensos totais (mg/L) | | | Mufla / Estufa |
| Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | | | |

Na metodologia utilizada, os fosfatos presentes em formas inorgânicas orgânicas e condensadas (meta-, piro-ou outros polifosfatos) são convertidos em ortofosfato reativo antes da análise. O pré-tratamento da amostra com ácido e calor proporciona as condições de hidrólise das formas inorgânicas condensadas. Os fosfatos orgânicos são convertidos em ortofosfatos por aquecimento com ácido e persulfato. O ortofosfato reage com molibdato num meio ácido para produzir um complexo de fosfomolibdato. O ácido ascórbico reduz o complexo, dando uma intensa cor azul de molibdênio. Desta forma o resultado é dado em fosfato (mg/L PO_4^{3-}). Para a avaliação comparativa com a Resolução CONAMA nº 357/05 deve-

se utilizar esses dados em termos de fósforo total (mg/L P), sendo então necessário multiplicar os valores por 0,3261, dada a devida relação estequiométrica. Na planilha eletrônica utilizada para o cálculo do IQA é necessário inserir esses dados em termos de fosfato (mg/L PO_4^{3-}), que são internamente convertidos à fósforo total (mg/L P).

4.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Alguns dos principais equipamentos utilizados, citados no Quadro 1, podem ser observados na Figura 16.

Figura 16 – Equipamentos utilizados no laboratório. (a) Dispositivo portátil de Oxigênio e temperatura YSI 55. (b) Peagâmetro Digimed DM-22. (c) Turbidímetro Thermo Orion Aquafast II (d) Espectrofotômetro Hach Odyssey DR-2500. (e) Espectrofotômetro Hach DR-2010. (f) Incubadora para DBO Tecnal TE 390.



Fonte: Própria autora.

O Espectrofotômetro Hach Odyssey DR-2500, equipamento do laboratório de Saneamento foi utilizado nas coletas realizadas entre setembro de 2016 a abril de 2017, quando parou de funcionar. A partir de então começou-se a utilizar o Espectrofotômetro Hach DR-2010, equipamento de mesma fabricante, locado no laboratório do Departamento de Água e Esgoto da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira-SP. Ambos os equipamentos utilizam o comprimento de onda (λ) de 410nm para as leituras de nitrogênio total e o comprimento de onda de $\lambda = 890$ nm para as leituras de fósforo total, porém, possuem diferentes precisões de casas decimais na leitura do nitrogênio total (Quadro 1).

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

A partir dos resultados obtidos das análises físico-químicas e biológicas foi aplicada estatística descritiva básica e realizada uma análise comparativa de cada parâmetro e verificadas as hipóteses de atendimento aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para um rio de água doce classe 2.

Foram também elaborados os gráficos do tipo boxplot para representar a distribuição de cada parâmetro, uma ferramenta visual prática onde pode-se observar os percentis de 25 e 75%, a média (xis) e a mediana (divide as colunas), mínimo, máximo e outliers (valores atípicos ou discrepantes).

Em seguida foi aplicado o Índice de Qualidade da Água - IQA da CETESB a fim de se obter uma classificação quanto à qualidade do corpo hídrico monitorado e poder correlacioná-la com possíveis causas de poluição. O cálculo do IQA foi feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros (pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrogênio, sólidos totais, coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio), com a utilização da Planilha Eletrônica Excel disponibilizada por Von Sperling (2014b).

Os dados mensais referentes à precipitação pluviométrica foram obtidos junto ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, disponíveis para o município de Santa Fé do Sul/SP (CIIAGRO, 2017).

Foi realizada a análise de componentes principais – PCA, que consiste em uma técnica da estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Os componentes principais possuem propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. A análise agrupa os indivíduos de acordo com suas variâncias, isto é, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (VARELLA, 2008).

O que a análise de componentes principais faz é identificar a dimensão (função) que melhor discrimina os objetos e, em seguida, a função ortogonal a ela. Não estando ainda os objetos perfeitamente discriminados, um novo componente discriminador será buscado, a função ortogonal derivada e assim por diante (PEREIRA, 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

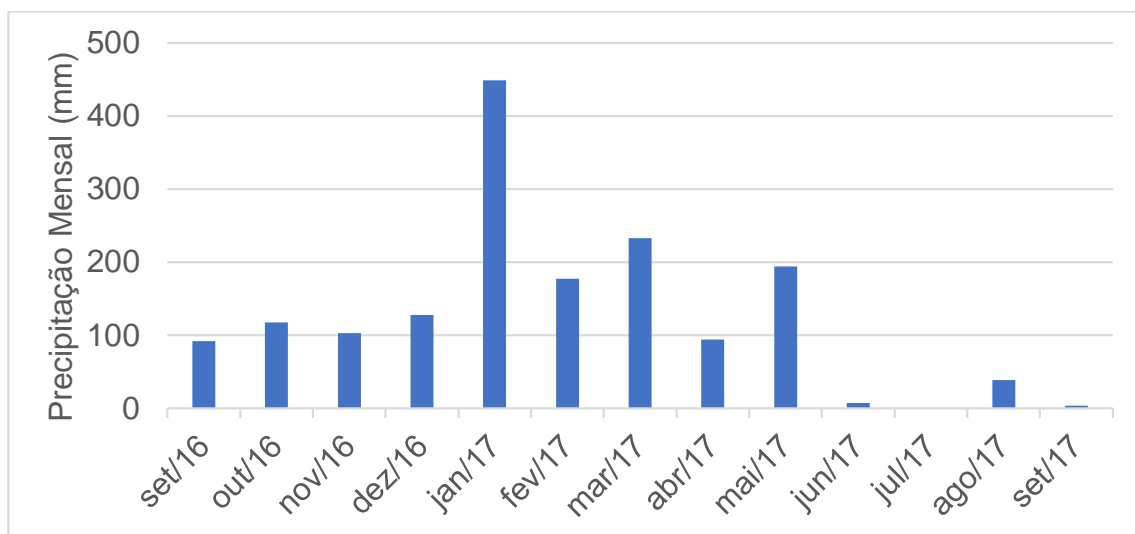
O Quadro 2 apresenta as datas em que foram realizadas as coletas, os horários, a ocorrência de chuva nas 24 horas que antecederam a coleta e a precipitação do mês. No mês de maio/2017 não foi possível a realização da coleta devido a contratempos operacionais.

Quadro 2 - Informações sobre as datas e horário das coletas e precipitação no dia e na véspera das coletas.

| Estação sazonal | Data da coleta | Horário | | Precipitação (mm) | |
|-----------------|----------------|---------|---------|-------------------|--------|
| | | Início | Fim | Últimas 24hs | Mensal |
| Seca | 08/09/2016 | 10:00hs | 11:35hs | Não | 91,8 |
| Chuvosa | 19/10/2016 | 09:30hs | 10:40hs | Não | 117,7 |
| | 10/11/2016 | 10:00hs | 11:15hs | Não | 103,0 |
| | 15/12/2016 | 09:00hs | 10:23hs | Sim | 127,6 |
| | 04/01/2017 | 08:30hs | 10:05hs | Não | 448,8 |
| | 15/02/2017 | 09:30hs | 10:50hs | Não | 177,4 |
| | 14/03/2017 | 09:05hs | 10:15hs | Não | 232,8 |
| Seca | 18/04/2017 | 08:50hs | 09:50hs | Não | 94,1 |
| | - | - | - | - | 194,5 |
| | 13/06/2017 | 11:35hs | 12:55hs | Não | 7,2 |
| | 12/07/2017 | 10:05hs | 11:35hs | Não | 0,0 |
| | 17/08/2017 | 10:30hs | 12:05hs | Não | 38,9 |
| | 20/09/2017 | 09:40hs | 11:10hs | Não | 3,8 |

Os índices pluviométricos mensais encontram-se na Figura 17. A precipitação média durante a estação chuvosa entre os meses de outubro/16 a março/17 foi de 201,2 mm, enquanto na estação seca foi 56,4 mm, entre abril e setembro de 2017.

Figura 17–Precipitação pluviométrica mensal (mm) em Santa Fé do Sul- SP, no período entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Centro Integrado de informações agrometeorológicas - CIIAGRO (2017).

A Tabela 6 apresenta dados de estatística descritiva dos parâmetros como valor mínimo, valor máximo, média e desvio padrão.

Tabela 6- Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade de água monitorados em quatro pontos de coleta durante o período de setembro de 2016 a setembro de 2017, Ribeirão Can-can.

| Parâmetro | Ponto | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão |
|--|--------------|---------------------|---------------------|--------------|----------------------|
| pH | 1 | 6,94 | 8,20 | 7,47 | ± 0,39 |
| | 2 | 5,55 | 8,17 | 7,28 | ± 0,67 |
| | 3 | 6,96 | 7,93 | 7,39 | ± 0,34 |
| | 4 | 6,62 | 8,34 | 7,47 | ± 0,42 |
| Temperatura (°C) | 1 | 22,5 | 30,8 | 27,2 | ± 2,7 |
| | 2 | 22,6 | 30,5 | 27,1 | ± 2,5 |
| | 3 | 22,6 | 30,4 | 27,1 | ± 2,4 |
| | 4 | 22,7 | 30,6 | 27,1 | ± 2,5 |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | 1 | 5,12 | 9,25 | 7,10 | ± 1,15 |
| | 2 | 4,14 | 8,34 | 6,76 | ± 1,07 |
| | 3 | 4,56 | 8,30 | 6,87 | ± 0,95 |
| | 4 | 6,20 | 9,33 | 7,54 | ± 0,93 |
| Turbidez (NTU) | 1 | 9,2 | 18,6 | 13,5 | ± 2,3 |
| | 2 | 8,6 | 16,6 | 12,6 | ± 2,1 |
| | 3 | 7,2 | 32,0 | 14,3 | ± 6,1 |
| | 4 | 7,4 | 39,5 | 15,1 | ± 7,7 |
| DBO_{5,20} (mg/L) | 1 | 0,0 | 0,6 | 0,2 | ± 0,2 |
| | 2 | 0,0 | 1,0 | 0,4 | ± 0,3 |
| | 3 | 0,0 | 1,3 | 0,4 | ± 0,4 |
| | 4 | 0,0 | 0,8 | 0,3 | ± 0,3 |
| Nitrogênio total (mg/L) | 1 | 0,0 | 1,4 | 0,6 | ± 0,5 |
| | 2 | 0,0 | 1,0 | 0,5 | ± 0,4 |
| | 3 | 0,0 | 1,0 | 0,4 | ± 0,4 |
| | 4 | 0,0 | 1,0 | 0,4 | ± 0,4 |
| Fósforo total (mg/L) | 1 | 0,08 | 0,96 | 0,35 | ± 0,27 |
| | 2 | 0,07 | 0,91 | 0,36 | ± 0,27 |
| | 3 | 0,07 | 0,79 | 0,40 | ± 0,24 |
| | 4 | 0,07 | 0,78 | 0,38 | ± 0,24 |
| Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 125 | 23 | ± 48 |
| | 4 | 0 | 500 | 83 | ± 186 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 1 | 10 | 212 | 75 | ± 47 |
| | 2 | 39 | 292 | 108 | ± 71 |
| | 3 | 51 | 122 | 71 | ± 21 |
| | 4 | 6 | 196 | 93 | ± 50 |

Fonte: Elaborado pela autora.

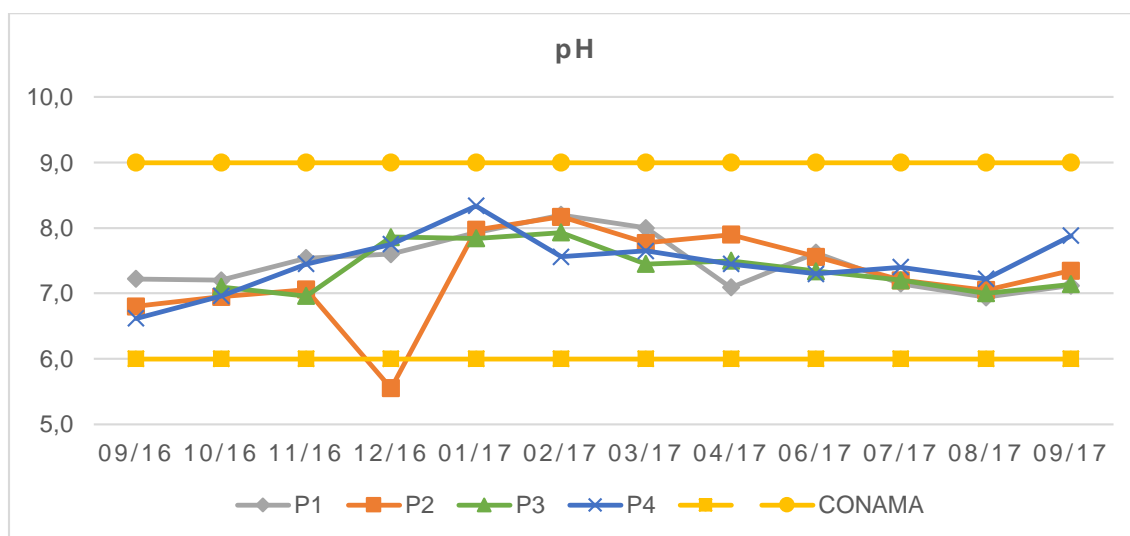
5.1 QUALIDADE DA ÁGUA

5.1.1 Potencial hidrogeniônico-pH

A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece que o pH deve ser entre 6,0 a 9,0 quando se trata de águas doces de classe 2.

É possível acompanhar a variação do pH no decorrer dos meses na Figura 18. Nela pode-se notar uma tendência de aumento gradativo do pH durante o período chuvoso e de diminuição gradativa no período seco.

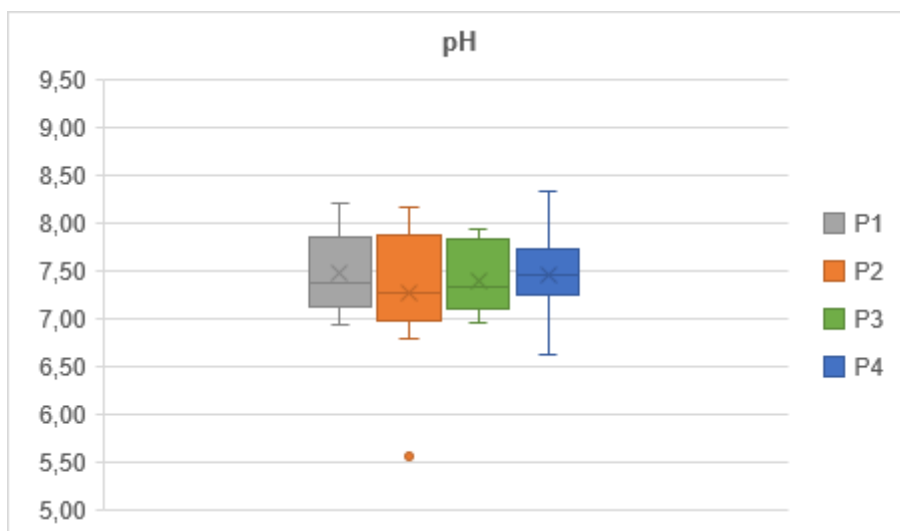
Figura 18—Série temporal do pH registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro/2016 e setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados encontrados para o pH variaram de 6,62 a 8,3 no P4 em setembro de 2016 e no P4 em janeiro de 2017, respectivamente, com exceção de um único episódio de não atendimento a legislação no P2, em dezembro de 2016, com pH = 5,55, um valor discrepante dos demais, como pode-se observar na Figura 19. Estes resultados são compatíveis com o intervalo adequado à manutenção da vida aquática nas águas naturais de superfície, com pH variando de 6,0 a 8,5 (LIBÂNIO,2010).

Figura 19 - Gráfico BoxPlot do pH nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 19 mostra como as médias de pH nos pontos ficaram próximas da neutralidade, variando entre 7,28 e 7,47, com tendência alcalina.

Segundo Esteves (2011), o pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes nos ecossistemas aquáticos, ao mesmo tempo em que uma das mais difíceis de se interpretar. Esta complexidade (na interpretação dos valores de pH) deve-se ao grande número de fatores que podem influenciá-lo, como a temperatura.

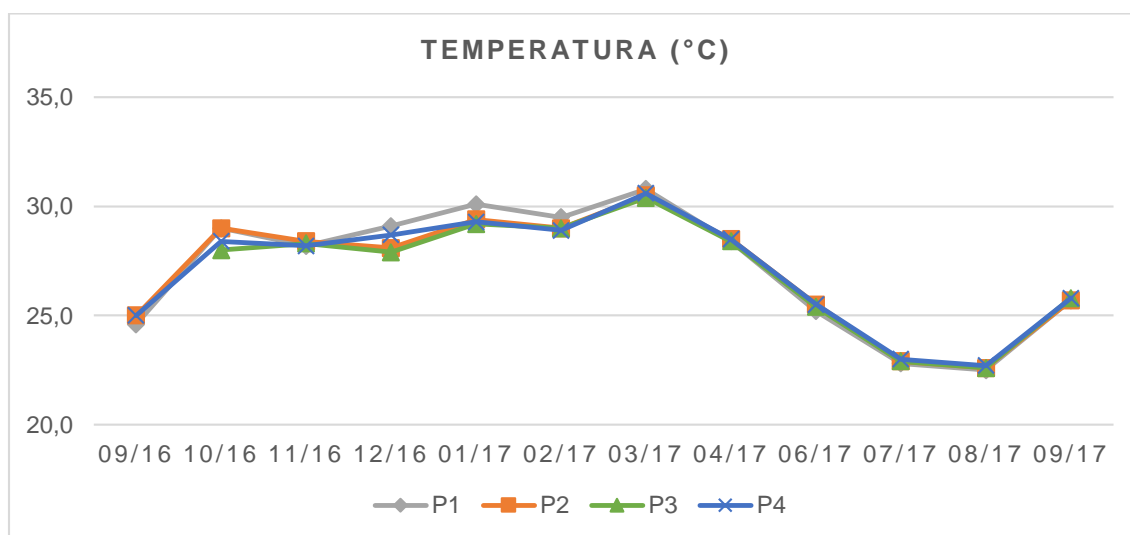
Avaliando a qualidade da água em diferentes pontos do Reservatório de Ilha Solteira, Leite e Matsumoto (2004) encontraram o menor valor de pH, de 5,56, no Rio Grande, em ponto muito próximo ao Ribeirão Can-can e os resultados no geral indicaram tendência à acidez. Matsumoto e Silveira (2007) encontraram pH de 7,5 para amostra superficial no Ribeirão Can-can no mês de junho/2007. O parâmetro decresceu gradativamente até o valor de 6,97 na profundidade de 15 metros.

5.1.2 Temperatura

A Figura 20 mostra a marcante variação da temperatura da água ao longo do período amostral, que se manteve mais elevada no período compreendido entre os

meses de outubro de 2016 a abril de 2017. Este período engloba a estação do verão, que ocorre entre os meses de dezembro a março, ou seja, as variações ocorrem de acordo com a temperatura do ar, com maiores valores médios na época chuvosa, 29,9° C em out/16 e menores valores médios na seca, 19,1°C em jun/17, em função do período do ano e da intensidade do sol.

Figura 20 – Série temporal das temperaturas registradas nos pontos de coleta no Ribeirão Cancan, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



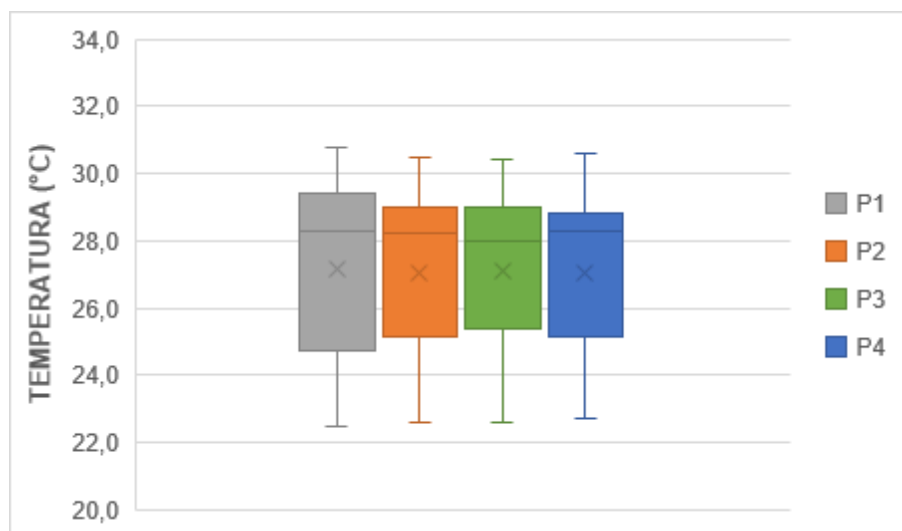
Fonte: Elaborado pela autora.

Os maiores valores ocorreram no mês de março de 2017, com média de 30,6 °C e os menores no mês de agosto de 2017 com média de 22,6°C, uma variação de 8°C, como pode ser observado na Figura 20.

A Resolução CONAMA nº357/05 não estabelece um padrão a ser atendido em termos de classificação do corpo hídrico.

Cicigliano (2009) verificou uma variação de temperatura da água similar dentro do mesmo período de estudo de 12 meses, de 7° C (23°C – 30°C). Já Previato (2009) detectou uma variação de 10°C (20°C – 30°C) durante um período de 8 meses de aferição.

Figura 21 - Gráfico BoxPlot da Temperatura nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição estatística dos dados entre os pontos é bastante semelhante: a dispersão (os pontos mínimos e os máximos), a média, os centros de distribuição (medianas), como mostra a Figura 21, expondo que praticamente não existe diferença nos valores de temperatura entre os pontos de coleta.

Com relação à temperatura no cálculo do IQA, as equações e as curvas desenvolvidas pela NSF levam em consideração as características dos corpos de água e variações climáticas dos EUA, sendo a variação de temperatura de equilíbrio o principal parâmetro afetado. As equações não condizem com a realidade brasileira, pois a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio (MMA, 2005).

Assim, os dados de temperatura são utilizados para determinar a saturação do oxigênio dissolvido na água e o qi utilizado para variação de temperatura na planilha de cálculo é constante e igual a 94.

5.1.3 Oxigênio dissolvido

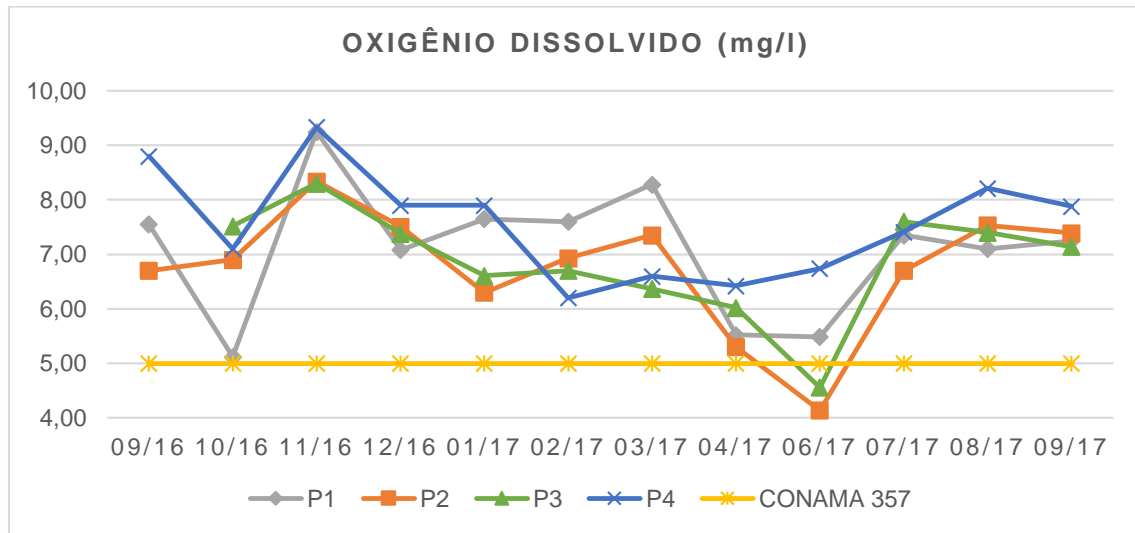
O maior valor encontrado de oxigênio dissolvido de 9,33 mg/L ocorreu no P4 no mês de novembro/16, e a maior média mensal é do mesmo mês, de 8,81 mg/L.

Já o menor valor registrado foi de 4,14 mg/L no P2 em junho/17, sendo que a menor média mensal também é desse mês, de 5,23 mg/L. Com relação à temperatura da água e à precipitação, no mês de novembro/16 as médias foram de 28,3°C e 103 mm, enquanto para o mês de junho foram 25,4°C e 7,2 mm. Em geral quando a temperatura da água é mais alta, o OD presente é menor, devido à menor solubilidade, fato contrário ao observado nos resultados deste parâmetro.

As medidas foram realizadas na parte da manhã, quando a produção de oxigênio pelo fitoplâncton ainda não compensou seu consumo noturno (PARINET; LHOPE; LEGUBE, 2004). Pela norma brasileira, o oxigênio dissolvido, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 5 mg/L O₂ (CONAMA, 2005).

Na Figura 22 é possível acompanhar a variação do oxigênio dissolvido no decorrer dos meses. Pode-se observar que o parâmetro não foi atendido apenas no mês de junho de 2017, nos pontos P2 e P3 (pisciculturas). Este episódio pode ter ocorrido devido ao fato desta coleta ter sido realizada próximo ao meio dia, mais tarde que o horário de coleta habitual. Neste horário o tratamento dos peixes no P2 já foi realizado três vezes (às 09:30 hs, às 10:30 hs e às 11:30 hs) e duas vezes no P3, sendo isso a possível causa já que o diferente horário de coleta resultou em diferença nos resultados apenas para os pontos onde as pisciculturas estão instaladas. Conforme Von Sperling (2014a), quando a amostragem se dá por amostra simples durante um período longo, deve-se garantir que as amostras sejam coletadas no mesmo horário, para minimizar as variações ao longo do dia.

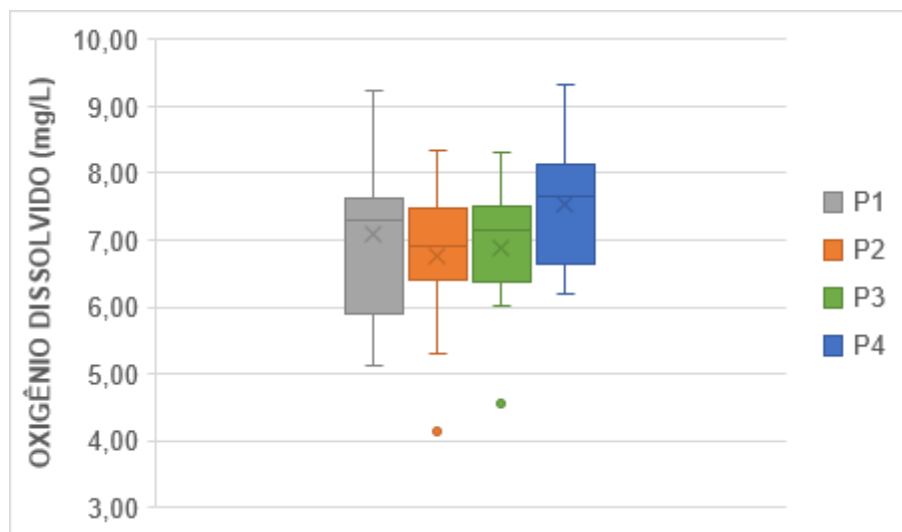
Figura 22–Série temporal do Oxigênio Dissolvido registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Cancan, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

O oxigênio dissolvido é o parâmetro que mais influi na qualidade da água do ponto de vista do IQA, onde seu peso dentre os demais parâmetros é de 17%. Sua porcentagem de saturação ótima no índice é de 99,5% para que seja projetado um qi máximo de 100.

Figura 23 - Gráfico BoxPlot do Oxigênio Dissolvido nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico na Figura 23 mostra que os valores mais baixos que ocorreram de OD (outliers no P2 e no P3) são discrepantes dos demais, pelo menos para o horário em que geralmente a coleta era realizada (faixa entre 08:30hs no P1 até às 12:00 hs no P4). O gráfico mostra também que no P4 os teores de oxigênio dissolvido são superiores aos demais pontos. Isso ocorre graças a maior oxigenação proporcionada pela localização do ponto de coleta, na confluência do Ribeirão Can-can com o Rio Grande.

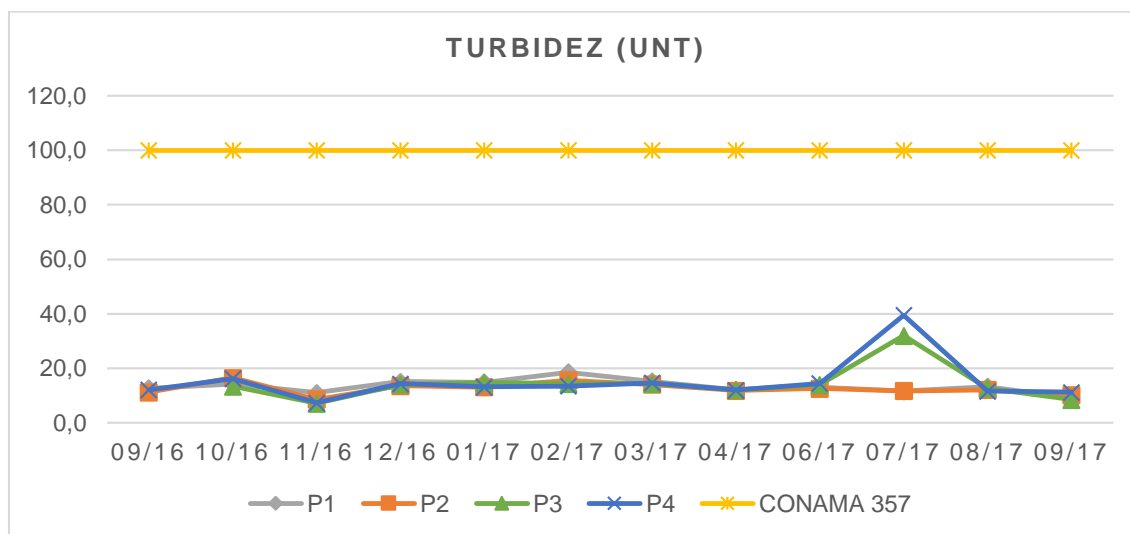
Matsumoto e Silveira (2007) encontraram teores de oxigênio dissolvido elevados ao longo de toda a profundidade do Ribeirão Can-can, 7,36 mg/L na superfície, 7,83 mg/L no meio e 7,62 mg/L no fundo.

Em estudos realizados por Américo, Previato e Carvalho (2013) o oxigênio dissolvido variou entre 5,48 mg/L e 8,45 mg/L, sendo que em todos os meses avaliados as maiores concentrações de oxigênio dissolvido na água foram registradas no canal do rio fora da piscicultura. Além disso, verificou-se que as menores quantidades de oxigênio dissolvido ocorreram na época das chuvas, fato inverso ao que ocorreu no presente estudo.

5.1.4 Turbidez

Pela Resolução CONAMA nº357/05 o limite para turbidez é de 100 UNT. A turbidez da água manteve-se bastante abaixo do limite de referência durante todos os meses estudados, variando entre 7,2 UNT no P3 em novembro/2016 e 39,5 UNT no P4 em julho/2017, o que denota boa qualidade da água com relação a este parâmetro. É possível acompanhar a turbidez no decorrer dos meses na Figura 24.

Figura 24—Série temporal da turbidez registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se perceber que houve ocorrências singulares no mês de julho/2017, mais especificamente nos pontos P3 e P4. Durante a campanha de coleta nesse mês ocorreu a passagem de uma draga de areia em direção ao porto de areia que fica localizado à margem esquerda do Ribeirão Can-can, muito próximo à confluência com o Rio Grande, o que pode ter provocado essa alteração significativa. Ainda assim, os níveis de turbidez permaneceram inferiores ao limite estabelecido pela norma para a classe 2.

Figura 25– Draga de areia (ao fundo) passando nas proximidades dos pontos de amostragem P3 e P4 durante as coletas (12/07/17).



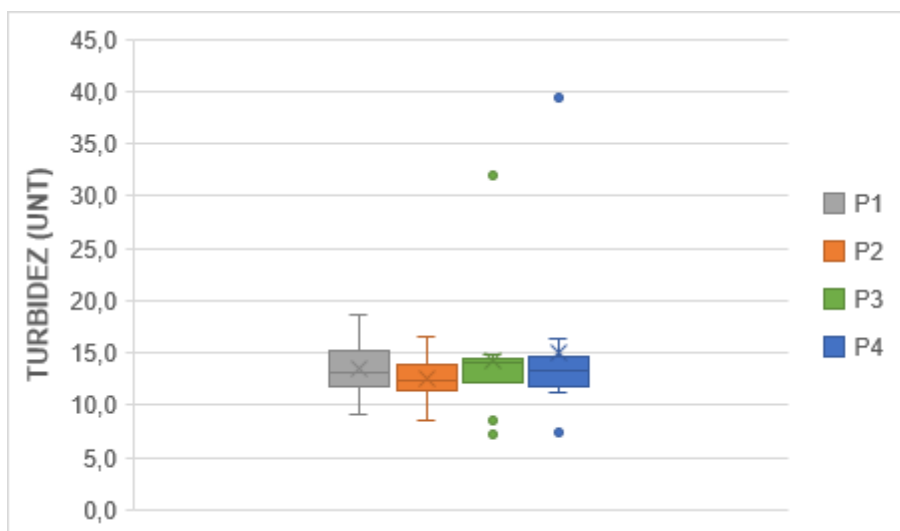
Fonte: Própria autora.

De modo geral não foi possível relacionar o parâmetro a um padrão de sazonalidade, pois os resultados encontrados são bastante homogêneos (excetuando-se as ocorrências de julho/2017), tanto entre os pontos quanto entre os meses.

O gráfico box-plot (Figura 26) sugere que as médias e medianas são semelhantes entre os pontos para este parâmetro, bem como a dispersão dos dados. O gráfico também mostra a ocorrência de outliers, dentre eles os valores mínimo e máximo citados anteriormente. Assim, se a média geral dos dados foi de 13,9 UNT, desconsiderando os outliers a média cai para 13,3 UNT. Neste caso, uma diferença ínfima.

Previato (2009) identificou turbidez mais alta no período chuvoso (em média 7,8 UNT) do que no período seco (em média 3,11) para o Rio São José dos Dourados.

Figura 26 -Gráfico BoxPlot da Turbidez nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se constatar uma diferença chamativa entre os resultados deste trabalho em comparação com os dados de Tsunao e Silveira (2007), onde o resultado utilizado para o cálculo do IQA foi de 2,04UNT, cerca de seis vezes menor que os resultados apresentados neste estudo. Esta diferença pode estar relacionada ao período em que a produção aquícola mantém-se instalada neste braço (por volta de 10 anos), alterando as características do meio gradativamente com o passar dos anos. Ainda há de se considerar que já próximo ao encontro do Ribeirão Can-can com o Rio Grande há instalado um Porto de Areia na margem (esquerda), atividade que pode influenciar na turbidez da água.

Em seu estudo sobre avaliação da qualidade da água no reservatório de Ilha Solteira, Leite e Matsumoto (2004) constataram um valor de turbidez de 1,6 UNT no Rio Grande, em ponto muito próximo ao Ribeirão Can-Can. Como mesmo no canal principal a turbidez era muito mais baixa, outra hipótese levantada é a de que a água a montante do Ribeirão Can-can no Rio Grande pode ter se alterado com o passar destes anos.

Outros fatores que podem favorecer o aumento da turbidez são o uso inadequado do solo, as práticas agrícolas e a pecuária intensiva.

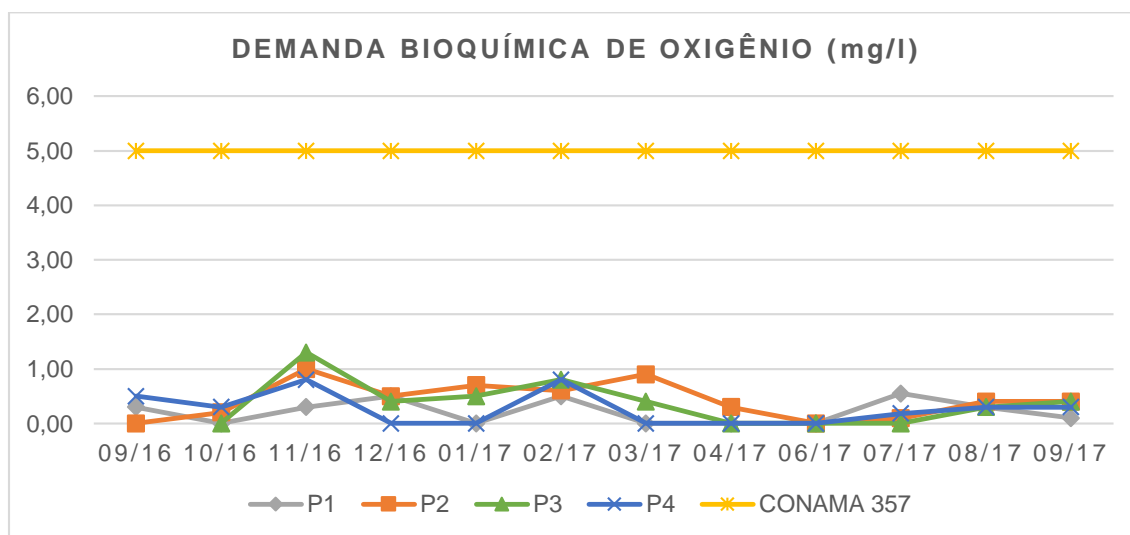
5.1.5 DBO_{5,20}

Segundo a legislação, a DBO_{5,20} em um corpo d'água classe 2 não deve ultrapassar a concentração de 5,0 mg/L.

Os resultados para este parâmetro variaram de 0,0 mg/L (ocorreu em todos os pontos em meses distintos) a 1,3 mg/L (ocorreu no P3 em novembro/2016), valores muito baixos de DBO, indicando que a contaminação por matéria orgânica não vem a ser significativa no Ribeirão Can-can, inclusive nos pontos P2 e P3 que estão localizados em meio aos tanques das pisciculturas.

Como durante o monitoramento os valores de DBO não ultrapassaram 1,3 mg/L, provavelmente os resíduos orgânicos da piscicultura foram assimilados sem comprometer a concentração de oxigênio dissolvido na água.

Figura 27 - Série temporal da DBO registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.

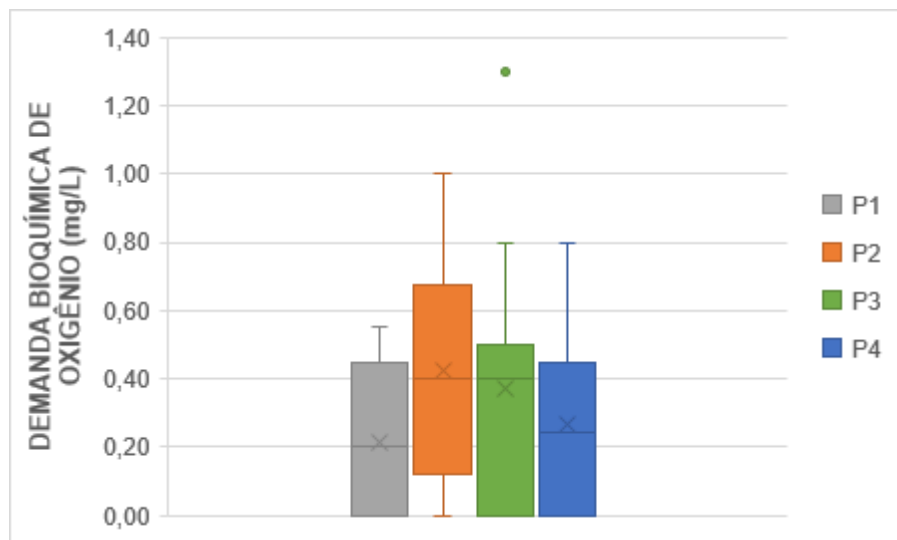


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 27 é possível acompanhar a variação da DBO no decorrer dos meses, ocorrendo dentro da faixa permitida pela legislação.

A DBO medida no Rio Grande em ponto rente ao Ribeirão Can-can no ano de 2004 foi de 0,2 mg/L (MATSUMOTO; LEITE, 2004). Os registros de DBO no trabalho de Américo, Previato e Carvalho (2013), em uma piscicultura no Rio São Jose dos Dourados não ultrapassaram 1,48 mg/L.

Figura 28 - Gráfico BoxPlot da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

No gráfico da Figura 28 pode-se visualizar que embora a mediana para os pontos P2 e P3 sejam iguais e as respectivas médias sejam bastante próximas, eles possuem distribuições diferentes dos dados.

O gráfico também expressa que a variabilidade para a DBO no P3 e no P4 foram análogas, ou seja, os resultados pouco diferem para um ponto de coleta entre tanques da piscicultura e na confluência entre os rios.

O parâmetro tem peso de 10% no cálculo do índice IQA. Sua curva média de variação demonstra que o qi ótimo para o cálculo (100) é obtido para uma DBO igual a zero. Desta forma, com os resultados encontrados, este foi um parâmetro que contribuiu largamente para os ótimos resultados de IQA calculados para este braço do Reservatório de Ilha Solteira, conforme será apresentado no item 5.2.

5.1.6 Nitrogênio total

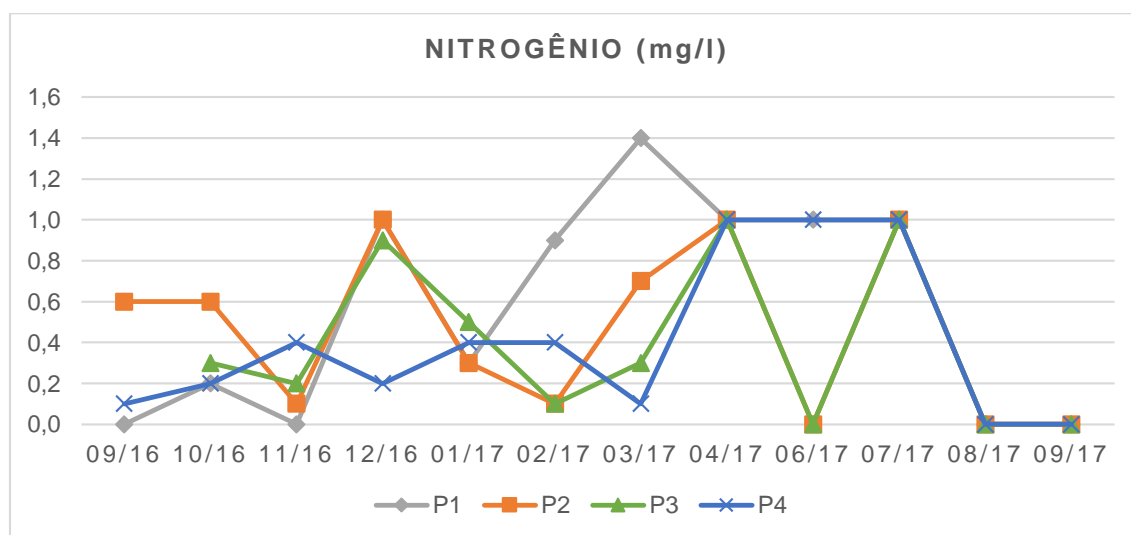
Com relação ao nitrogênio total, atualmente os padrões estabelecidos para qualidade de corpos d'água são relacionados a amônia, nitrito e nitrato. Cabe aos estados definir o padrão de nitrogênio total em casos específicos, onde o corpo receptor é susceptível à eutrofização ou em casos especiais. A Resolução

CONAMA nº357/05 estabelece que, para águas doces classe 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização do corpo d'água, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L em ambientes lênticos na vazão de referência.

Desta forma, os níveis de nitrogênio total identificados atenderiam a este limite, com exceção do P1 no mês de março/2017, com 1,4 mg/L.

Na Figura 29 é possível acompanhar a variação do nitrogênio total no decorrer dos meses. O valor mínimo de 0,0 mg/L ocorreu em todos os pontos em diferentes meses do ano. As maiores médias mensais ocorreram nos meses de dezembro/2016 (0,8 mg/L), abril/2017 (1,0 mg/L) e julho/2017 (1,0 mg/L).

Figura 29 - Série temporal do Nitrogênio total registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



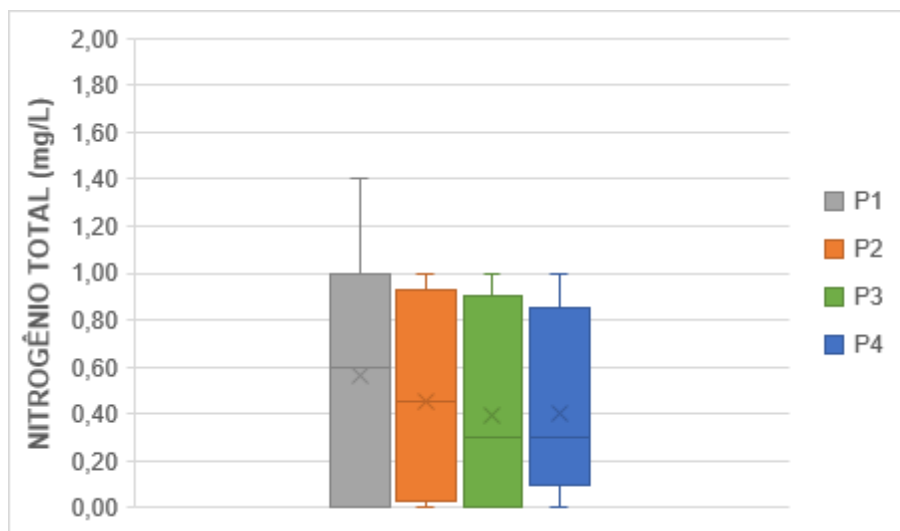
Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico da Figura 30 sugere que as concentrações de nitrogênio total presente na água não se encontram mais acentuadas nos locais de tanques-rede instalados das pisciculturas (P2 e P3).

Castellani et al. (2013) avaliaram a concentração de amônia na água e de nitrogênio total no sedimento em uma piscicultura no Córrego do Bonito, no reservatório de Ilha Solteira, e verificaram concentrações maiores durante todo o ano no local de instalação dos tanques-rede, em comparação com pontos de coleta a jusante e montante. Carneiro e Carvalho (2009) encontraram em piscicultura instalada no Rio São Jose dos Dourados concentrações de nitrogênio total de até

254,24 $\mu\text{g/L}$ (0,25244 mg/L), concentrações estas também maiores no ponto onde a piscicultura encontrava-se instalada.

Figura 30 - Gráfico BoxPlot do Nitrogênio Total nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



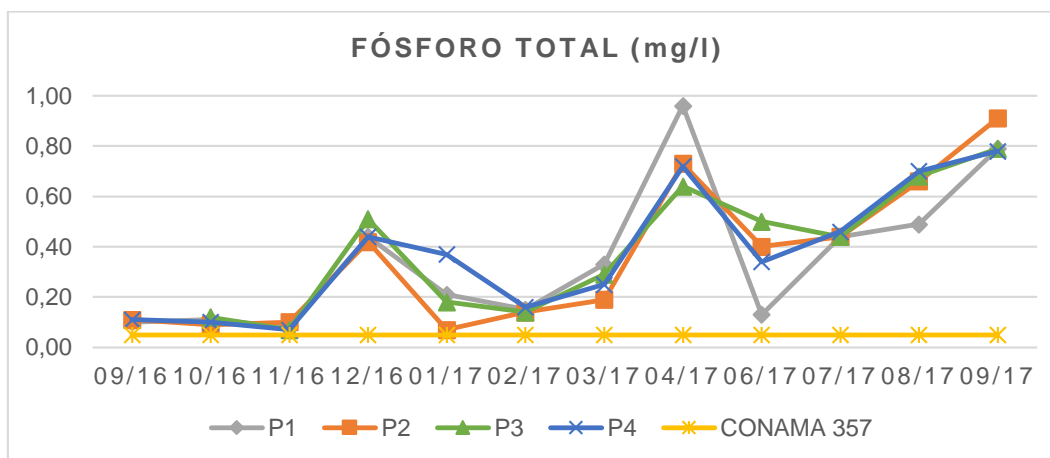
Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.7 Fósforo total

De acordo com o enquadramento na classe 2 (ambientes que podem ser aproveitados para atividades de aquicultura), a Resolução CONAMA nº 357/05 define os limites máximos aceitáveis de P_{total} como sendo de 0,030 mg/L em ambientes lênticos. É o caso do reservatório da UHE de Ilha Solteira, que tem um tempo de residência médio de 46,7 dias.

Pela Figura 31 pode-se acompanhar a variação do P_{total} no decorrer dos meses, onde o menor valor encontrado de 0,07 mg/L nos pontos P2 (em janeiro/17), P3 e P4 (ambos no mês de novembro/16) já ultrapassa o limite padrão de referência. O maior valor detectado de 0,96mg/L no P1 (em abril/17) é 32 vezes maior que o limite estabelecido pela norma vigente.

Figura 31 - Série temporal do Fósforo total registrado nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

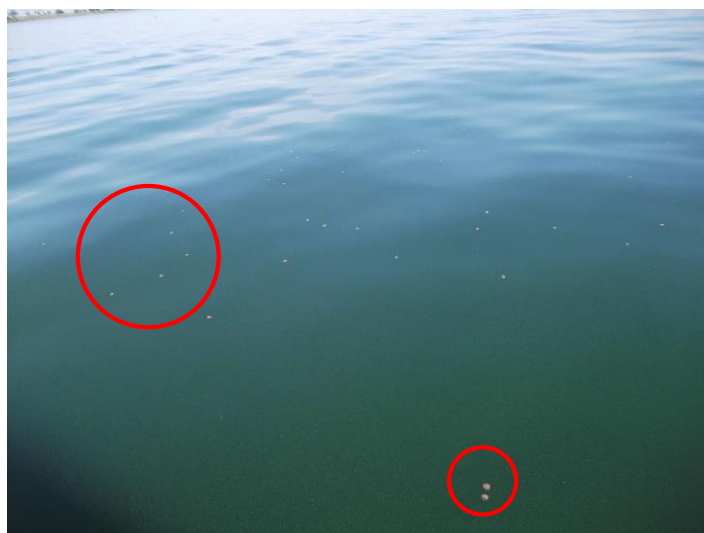
Cicigliano (2009) encontrou dados que variam entre 0,007 a 0,0282 mg/L para P_{total} em águas no município de Santa Fé do Sul/SP. No Rio São José dos Dourados em Ilha Solteira/SP, Américo, Previato e Carvalho (2013) observaram 0,01 a 0,06 mg/L. Estes resultados são de um período onde a instalação das pisciculturas era recente.

Em seu estudo sobre avaliação da qualidade da água no reservatório de Ilha Solteira, Leite e Matsumoto (2004) constataram valores de P_{total} total variando entre 0,041 mg/L no Rio Grande, em ponto muito próximo ao Ribeirão Can-can e 0,059mg/L no Rio Paranaíba. Pode-se notar que os resultados estão até duas vezes acima da legislação. Considerando que a concentração de P_{orto} nas águas naturais é escassa, geralmente abaixo do limite inferior de detecção da maioria dos métodos analíticos atualmente disponíveis (<5 µg/L) (ESTEVES, 2011), sugere-se um aporte de fósforo alóctone que não por pisciculturas nestas águas, já que o ponto de coleta está localizado no corpo d'água principal (Rio Grande) e a atividade piscícola ainda não estava plenamente consolidada no período de estudo (ano de 2004).

Matsumoto e Silveira (2007) apresentaram um resultado médio de 0,019 mg/L de P_{total} no Ribeirão Can-can, considerando três profundidades (a 0,20 m, a 5,0m-7,0m e 10,0m-15,0 m). Isto é, aparentemente a concentração deste nutriente enquadrava-se no limite padrão para um corpo hídrico classe 2, dez anos atrás.

Dentre as possíveis fontes de fosfato excedente para as águas no corpo d'água relacionados à piscicultura estão as excreções dos peixes e qualidade e quantidade das rações utilizadas. Neste último aspecto, é importante ressaltar que na maior parte dos dias de coleta de amostras foi possível observar excesso de ração boiando na água entre os tanques nas proximidades do P3 (Figura 32).

Figura 32 - Excesso de ração boiando na água entre os tanques nas proximidades do P3 (14/03/2017).



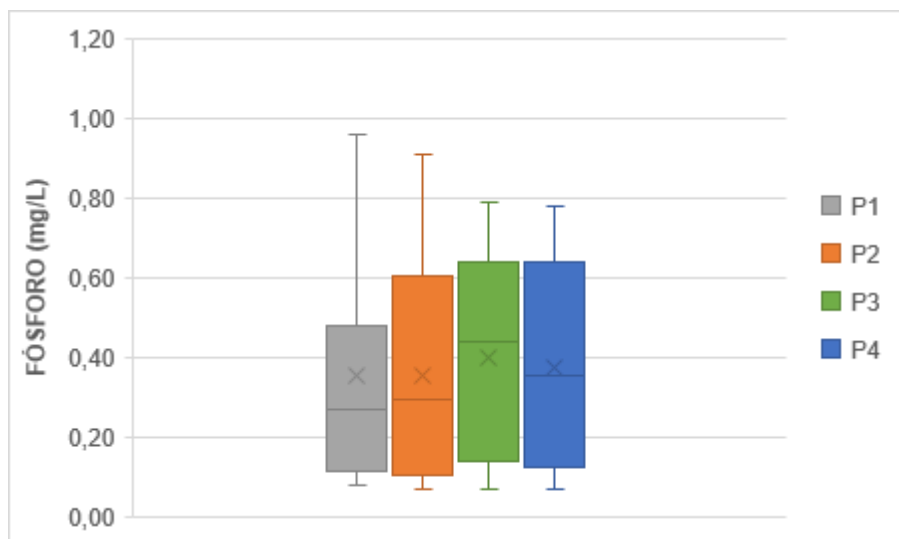
Fonte: Própria autora.

Outro aspecto interessante a ser observado diz respeito ao P1 com relação aos demais, ponto este à montante das pisciculturas ativas e da desativada, onde esperava-se haver menores concentrações do nutriente. Embora a média no P1 seja menor que a dos demais (Figura 33), ela está igualmente acima do limite estabelecido em cerca de 12 vezes.

Para esta situação, deve-se ter em vista que os processos que ocorrem na interface água-sedimento são muito importantes, pois ao longo do tempo há um armazenamento de substâncias orgânicas, que podem entrar num processo de ciclagem de nutrientes metabolizado por bactérias, fungos e organismos bentônicos (CARVALHO; DAVID, 2007). Assim, pode estar ocorrendo uma ressuspensão contínua com liberação de fosfato mineral acumulado nos sedimentos mesmo na região da piscicultura desativada, que esteve em funcionamento por um período de aproximadamente três anos (entre os anos de 2012 e 2015), pois é comum que a

liberação de fosfato a partir do sedimento continue mesmo cessando as fontes externas (TUNDISI, 2001).

Figura 33 -Gráfico BoxPlot do Fósforo Total nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados de Carvalho e David (2007) indicaram um potencial reduzido para a produção de tilápia em tanques-rede no Ribeirão Can-can. Estes resultados dependem de características específicas do local como: profundidade, taxa de renovação da água, taxa de sedimentação. Alguns parâmetros são adotados, como: a concentração de fósforo no peixe despescado, a concentração de fósforo na ração e a conversão alimentar aparente, sendo que assumindo diferentes valores para estes dois últimos, foram calculados três diferentes cenários: otimista, intermediário e realista. Os braços com maiores potenciais no cenário otimista poderiam produzir entre 30.000 e 40.000 ton/ano de peixes, e para potenciais intermediários chegou-se a produção de aproximadamente 15.000 ton/ano.

Os resultados do Relatório para o Ribeirão Can-can são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cenários (otimista, intermediário e realista) da produção máxima de peixes (tilápias) para o Ribeirão Can-can.

| | Cenário otimista | Cenário intermediário | Cenário realista |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Produção máxima (ton/ano) | 1.558,7 | 510,1 | 334,0 |
| Área do polígono (ha) | 5,57 | 1,82 | 1,19 |

Fonte: Adaptado de Carvalho e David (2007).

Os resultados do Ribeirão Can-can para o cenário otimista são similares à capacidade de produção de apenas uma piscicultura do porte das pisciculturas instaladas no P2 e P3 (embora estas ocupem, cada uma, áreas maiores do que a do cenário). Tendo-se em conta que a piscicultura atualmente desativada ocupava área cerca de duas vezes maior que as outras, de aproximadamente 20 ha de espelho d'água (áreas estimadas com imagens de maio de 2016, em Google Earth Pro, 2017), pode-se verificar que foi instalada neste braço uma capacidade de produção superior ao estimado como sendo o limite da capacidade de suporte ambiental do mesmo.

Isto posto, é grande a possibilidade de as pisciculturas serem as fontes da elevação nos níveis de fósforo do Ribeirão Can-can, e mesmo havendo outras possíveis fontes como fertilizantes da agricultura, as evidências apresentadas levam a crer que as pisciculturas têm grande impacto nas altas concentrações de fosfato nas águas.

Conforme a Resolução nº 357/05, o fósforo não faz parte da lista dos elementos restritivos para a prática da aquicultura intensiva. Segundo Matsumoto e Silveira (2007) estes elementos são conhecidamente bio-acumulativos e não podem estar presentes na cadeia trófica acima dos limites estabelecidos, pois isto poderia comprometer a qualidade dos produtos cultivados e causar danos irreparáveis à saúde dos consumidores. Além disso, os efeitos de sua superabundância no meio aquático podem levar à eutrofização.

A Companhia Energética de São Paulo – CESP (2015), responsável pela UHE de Ilha Solteira, Jupia e outras na região até o ano de 2016, apresentava relatórios frequentes de manejo pesqueiro que contemplavam análises das concentrações de

fósforo (entre outros parâmetros) para o reservatório, e os resultados de 2015 mostram valores que atendem o limite de referência, variando entre 0,003 mg/L a 0,026 mg/L.

Estes valores demonstram que em pontos estratégicos de grandes corpos d'água principais no reservatório os níveis de fósforo estão equilibrados. A partir das elevadas concentrações de fósforo que estão ocorrendo no Ribeirão Can-can aliadas às condições morfométricas e hidrológicas locais e fazendo uma comparação com as condições e concentrações do reservatório como um todo, supõe-se que o maior risco de impactos ambientais seja de abrangência local, o que pode prejudicar os usos múltiplos neste afluente, inclusive a própria atividade aquícola ali instalada.

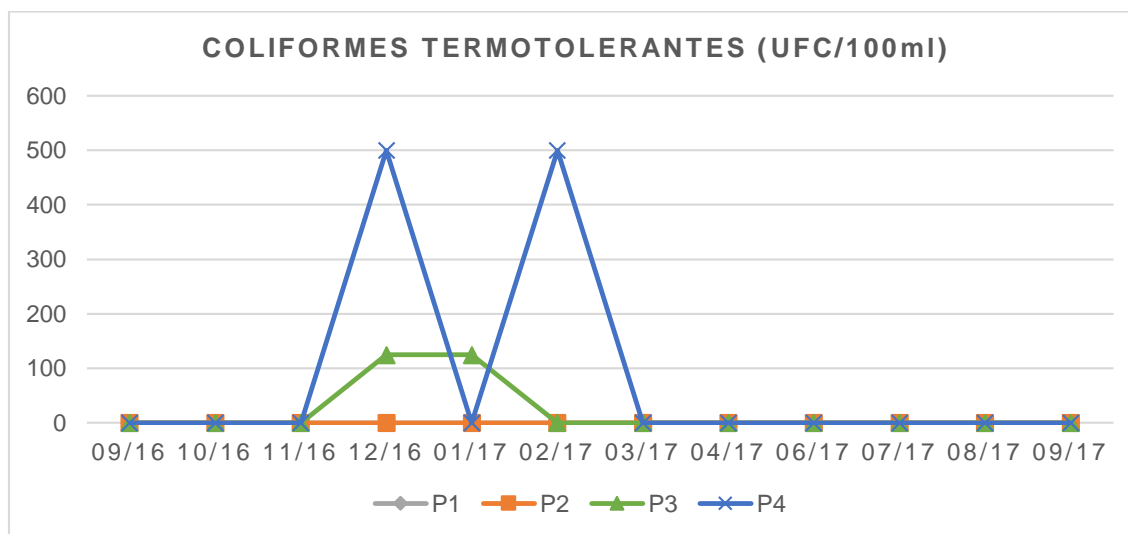
5.1.8 Coliformes termotolerantes

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 para os usos das águas de classe 2 não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, com exceção do uso para recreação de contato primário que deve obedecer aos padrões de qualidade de balneabilidade previstos na Resolução CONAMA nº 274 (CONAMA, 2001).

A *Escherichia coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes, como ocorreu neste estudo. Para ensaios de *E. coli* é possível utilizar a mesma curva de qualidade para IQA que foi desenvolvida para Coliformes Termotolerantes aplicando-se um fator de correção (CETESB, 2017).

Os pontos P1 e P2 não apresentaram amostras positivas para coliformes termotolerantes em nenhuma das campanhas realizadas. Nos meses em que o P3 apresentou coliformes termotolerantes (dezembro/2016 e janeiro/2017) a média encontrada foi de 125 UFC/100ml e para o P4 (dezembro/2016 e fevereiro/2017) a média foi de 500UFC/100ml (Figura 34). Assim, as amostras que apresentaram presença de coliformes termotolerantes são de meses que fazem parte da estação chuvosa.

Figura 34 - Série temporal de Coliformes termotolerantes registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com estes resultados, o parâmetro enquadra-se nos padrões estabelecidos pela legislação.

Os resultados sugerem que a área de estudo não recebe lançamento significativo de esgotos ou efluentes tratados. Observações realizadas por meio do software de imagens de satélite Google Earth permitem constatar que à montante dos pontos de coleta no Ribeirão Can-can não há aglomerações urbanas em um raio de pelo menos dez quilômetros, exceto o próprio núcleo urbano do Município de Santa Clara d'Oeste, que além de ter 100% de seu esgoto tratado, faz parte de outra microbacia que não a qual onde o Ribeirão Can-can está inserido.

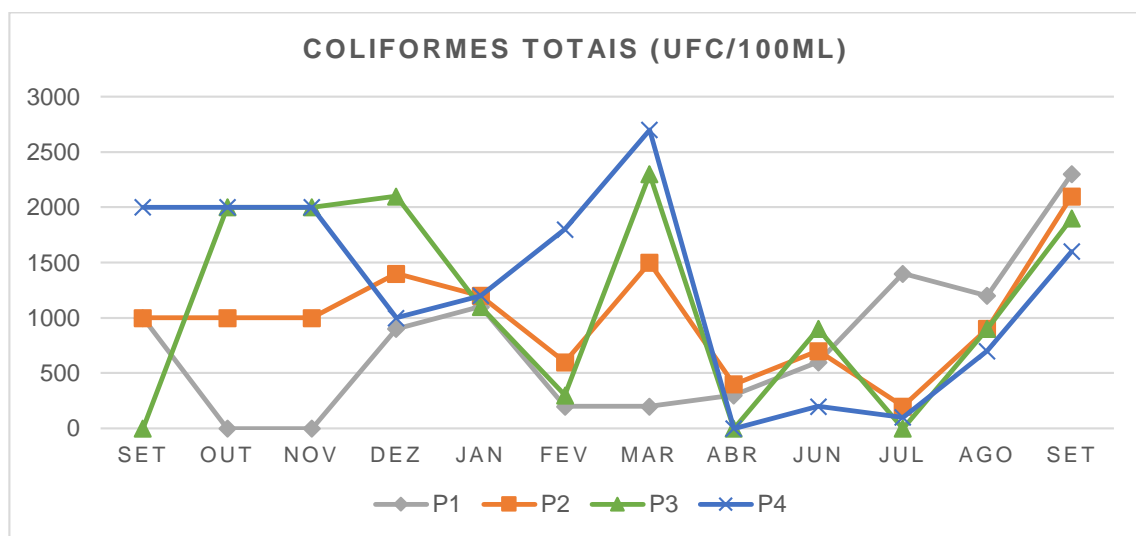
Este tipo de contaminação pode ter ocorrido devido ao arraste de material fecal para o curso d'água durante a ocorrência de chuvas, proveniente de áreas rurais onde há atividade agropecuária ou presença de animais silvestres, ou ainda trazida pelo curso d'água principal, tendo alcançado apenas o ponto P3, devido à proximidade.

O parâmetro coliformes termotolerantes tem alta importância no cálculo do IQA, pois seu peso é de 15% entre os nove parâmetros do índice, superado apenas pelo OD cujo peso é de 17%. Com a ausência do indicador biológico na maioria dos resultados, a nota do qi nesses permanece sendo 100.

Realizando estudos em outros corpos d'água com piscicultura instalada inseridos no Reservatório de Ilha Solteira, Cicigliano (2009) e Previato (2009) verificaram a ausência de coliformes termotolerantes durante vários meses de monitoramento.

Também foram obtidos os dados de coliformes totais das amostras (Figura 35).

Figura 35 - Série temporal de Coliformes Totais registrada nos pontos de coleta no Ribeirão Cancan, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Da mesma maneira que os coliformes termotolerantes, o parâmetro de coliformes totais teve ocorrência em maiores quantidades nos meses da estação chuvosa, corroborando a suposição sobre a origem dos coliformes termotolerantes.

Nos meses chuvosos a média mensal permaneceu sempre acima de 1000 UFC/100ml, com exceção do mês de fevereiro que apresentou resultados acima de 1000 apenas no P4 (1800 UFC/100ml). Entre os meses de abril a agosto (na estiagem) a média cai pela metade, sendo que o mês de abril foi o que apresentou a menor média mensal de 175 UFC/100ml.

Com relação à média dos pontos, o ponto P1 foi o que apresentou a menor média de 767 UFC/100 ml.

A ausência total de coliformes ocorreu no P1 em novembro e outubro de 2016, no P2 não ocorreu, no P3 em abril e julho de 2017 e no P4 em abril/2017.

Os coliformes totais podem incidir em águas e solos não contaminados e não existe uma relação quantificável entre os mesmos e microrganismos patogênicos.

5.1.9 Sólidos totais

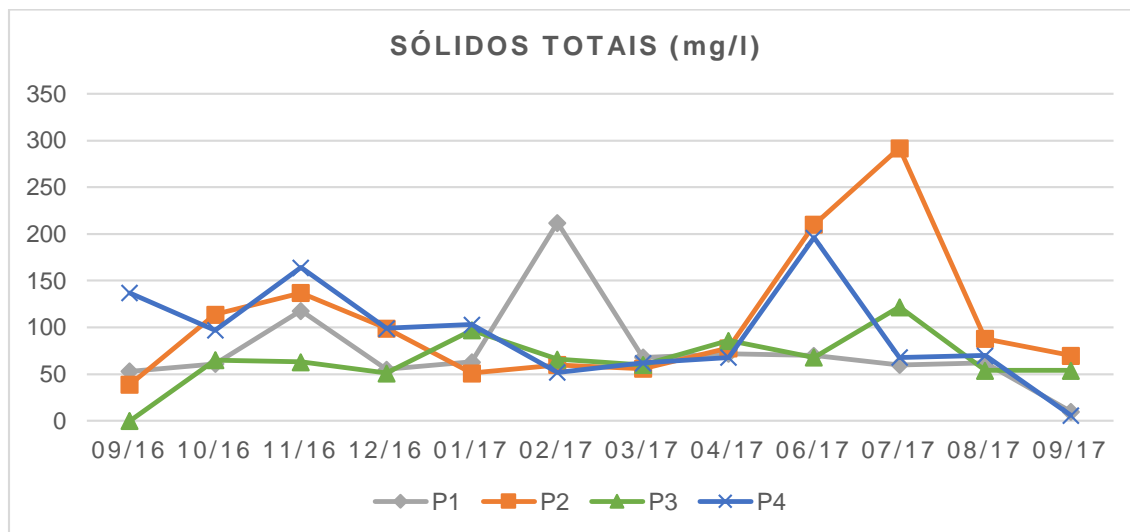
A Resolução CONAMA nº 357/05 não estabelece padrão para sólidos totais, mas sim para sólidos dissolvidos totais, sendo de 500 mg/L. Ambos os parâmetros não ultrapassaram este limite, enquadrando-se nos padrões da legislação para águas doces de classe 2.

Os valores médios para os sólidos totais variaram entre 71 mg/L e 108 mg/L (Tabela 6). A sua variação no decorrer dos meses pode ser acompanhada na Figura 36.

O menor valor de sólidos totais foi 6 mg/L, ocorreu no P4 em setembro/2017. O maior foi 292 mg/L, ocorreu no P2 em julho/2017 e foi um valor atípico como pode-se visualizar na Figura 37. A coleta de amostra neste ponto ocorreu poucos minutos (no máximo 30 minutos) após o primeiro trato de ração do período da manhã na piscicultura, sendo possível que a ração tenha sido lançada nas proximidades do ponto de coleta pouco antes da amostragem, e o fato estar relacionado ao pico de sólidos totais. No mês anterior, em junho de 2017, este mesmo ponto já havia apresentado um valor mais alto de sólidos totais de 210 mg/L (Figura 36), o que pode ter ocorrido pelo mesmo motivo, só que neste caso após o terceiro trato matinal dos peixes.

Matsumoto e Silveira (2007) encontraram 181 mg/L de sólidos totais em uma amostra superficial no Ribeirão Can-can.

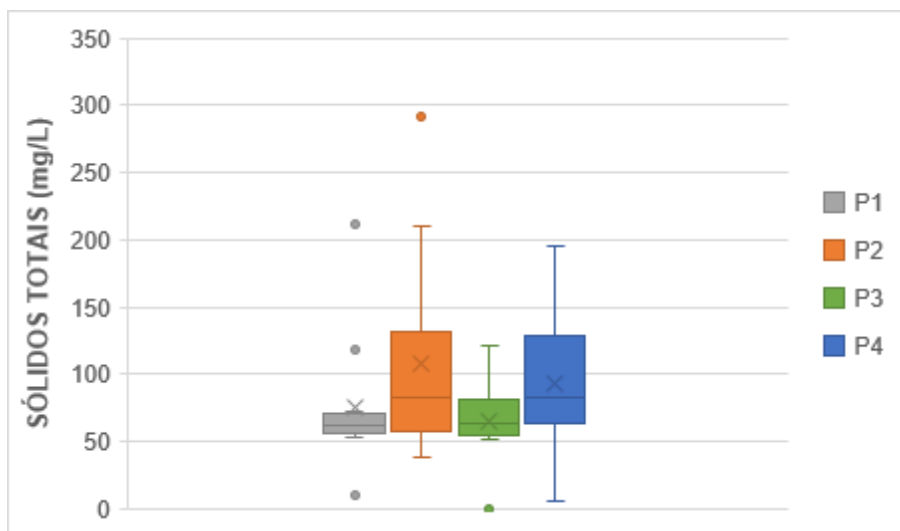
Figura 36–Série temporal dos Sólidos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Cancan, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

O grau de dispersão dos dados para o P2 foi semelhante ao do P4.

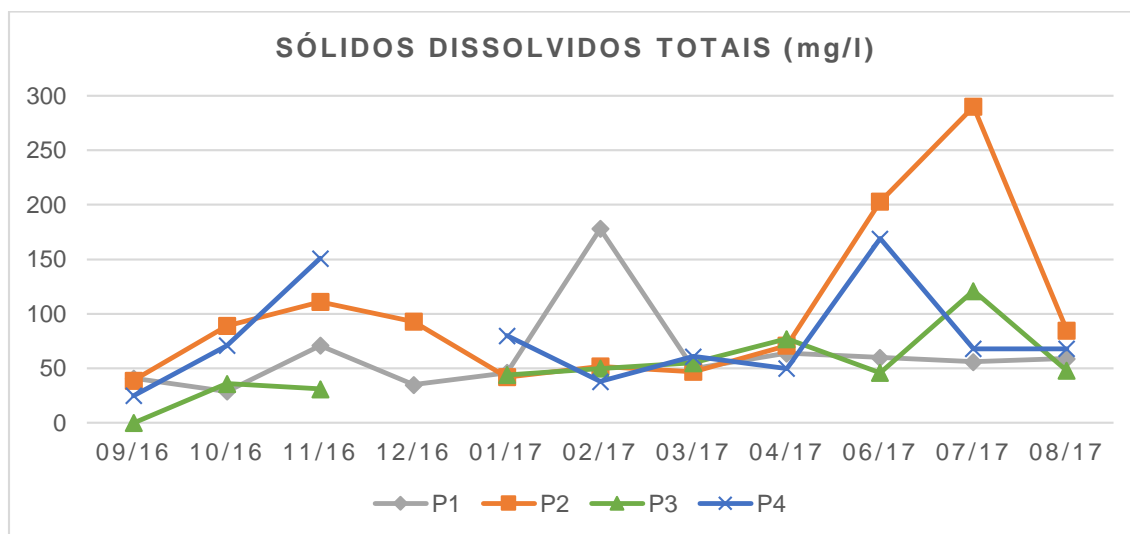
Figura 37 - Gráfico BoxPlot dos Sólidos Totais nos pontos de coleta, no período de setembro/2016 a setembro/2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar de ser visível o lançamento de ração em excesso na piscicultura localizada no ponto P3, tal fato não tornou a média de sólidos deste ponto maior que a dos outros pontos, pelo contrário, ela foi até menor que a dos pontos P2 e P4, e possivelmente também é menor que a do P1.

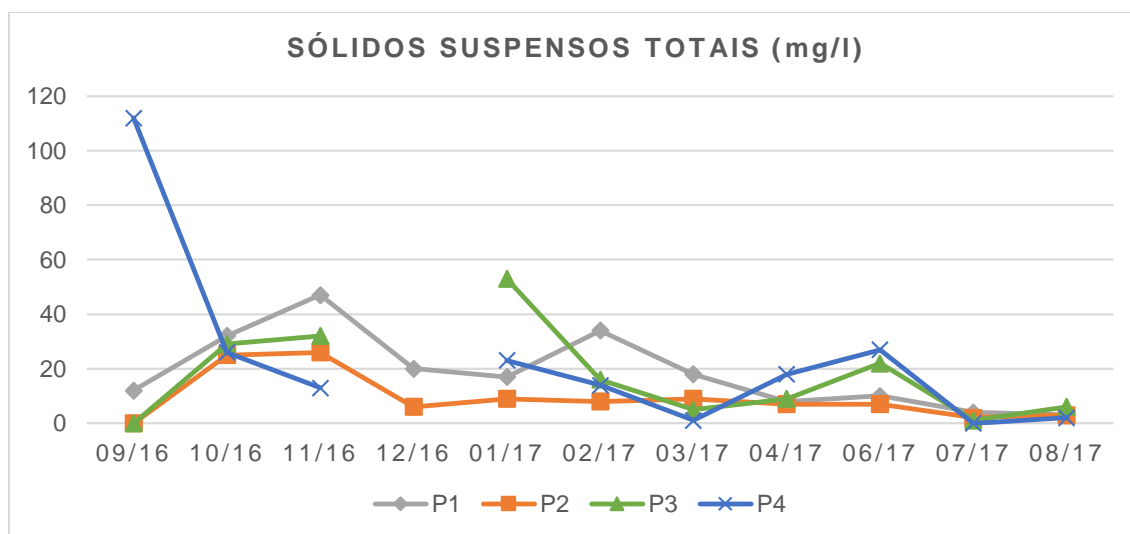
Figura 38 - Série temporal dos Sólidos Dissolvidos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar os gráficos das figuras 36, 38 e 39 nota-se que são os sólidos dissolvidos que geralmente compõem a maior parte dos sólidos totais. O outlier identificado no ponto P2 de 292 mg/L (Figura 37) foi composto especialmente por um aumento nos sólidos dissolvidos.

Figura 39 - Série temporal dos Sólidos Suspensos Totais registrados nos pontos de coleta no Ribeirão Can-can, entre setembro de 2016 e setembro de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

Não foi possível avaliar os dados de sólidos suspensos e conseqüentemente os dados de sólidos dissolvidos em dezembro/2016 (nos pontos P3 e P4) e no mês de setembro/2017 devido a erros instrumentais.

Em apenas quatro resultados os sólidos suspensos não foram inferiores aos sólidos dissolvidos na composição dos sólidos totais. No P1 em outubro/2016, no P3 em novembro/2016 e janeiro/2017 e com destaque no P4 em setembro/2016, sendo muito superior como pode ser observado ao se comparar a Figura 37 com a Figura 39. Estes episódios ocorreram em meses chuvosos, e as médias mensais dos sólidos suspensos foram inferiores nos meses de estiagem, chegando a 1,8 mg/L e 3,5 mg/L nos meses de julho e agosto de 2017, respectivamente.

5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – IQA

A avaliação da qualidade da água por meio de índices de qualidade permite uma análise global da situação encontrada no corpo hídrico. A partir dos resultados obtidos no monitoramento realizado foi calculado o IQA, e na Tabela 8 é apresentada a classificação de acordo com o índice para os quatro pontos analisados.

No período estudado as chuvas ocorreram entre setembro/2016 e abril/2017 (conforme Quadro 2), e verifica-se que o IQA foi maior no início desse período, entre setembro, outubro e novembro. Para o período em que não houve chuvas (ou baixos índices pluviométricos) o valor do IQA foi menor, ou seja, nos meses entre junho e setembro de 2017.

Tabela 8—Valores médios do Índice de Qualidade da água (IQA) para os quatro pontos analisados entre os meses de setembro/2016 e setembro/2017.

| Ponto | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Jun | Jul | Ago | Set |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 91 | 87 | 90 | 83 | 88 | 86 | 83 | 76 | 86 | 83 | 82 | 80 |
| 2 | 89 | 90 | 85 | 76 | 90 | 88 | 88 | 77 | 74 | 81 | 82 | 79 |
| 3 | - | 91 | 91 | 71 | 75 | 88 | 85 | 78 | 76 | 81 | 81 | 81 |
| 4 | 89 | 89 | 90 | 69 | 84 | 71 | 87 | 80 | 83 | 79 | 82 | 81 |

Legenda: ÓTIMA BOA REGULAR RUIM PÉSSIMA

Fonte: Elaborado pela autora.

Os meses que resultaram em menores IQAs foram dezembro/2016 e abril/2017. O mês de dezembro foi o único em que se detectou a presença de coliformes termotolerantes em mais de um ponto, no P3 e no P4. Este fato aliado à elevada concentração de fósforo foram os motivos para a queda do IQA. No P2 não foi identificado coliformes, mas nele foi registrada a menor medida de pH do período de estudo, o que aliado à elevada concentração de fósforo fez cair o resultado do IQA.

No mês de abril o IQA diminuiu em função de terem ocorrido menores valores de oxigênio dissolvido e maiores concentrações de fósforo. No P4, onde foi atingida a faixa do “ótimo”, a concentração de fósforo manteve-se elevada, porém a concentração de oxigênio dissolvido foi maior comparada aos outros pontos neste mês.

O valor do qi para o fósforo total cai de 100 para 40 quando a concentração aumenta de 0 para 1 mg/L PO_4^{3-} . Os resultados em termos de fosfato variaram desde 0,21 mg/L a 2,96 mg/L durante o estudo, influenciando negativamente na composição do índice, mas não a ponto de inviabilizar a qualidade para os usos da água avaliados pelo IQA.

Tabela 9 – IQA final dos pontos analisados e no Ribeirão Can-can, para o período compreendido entre os meses de setembro/2016 e setembro/2017.

| Ponto | IQA Médio | Classificação |
|------------------|-----------|---------------|
| 1 | 85 | Ótima |
| 2 | 83 | Ótima |
| 3 | 82 | Ótima |
| 4 | 82 | Ótima |
| Ribeirão Can-can | 83 | Ótima |

Fonte: Elaborado pela autora.

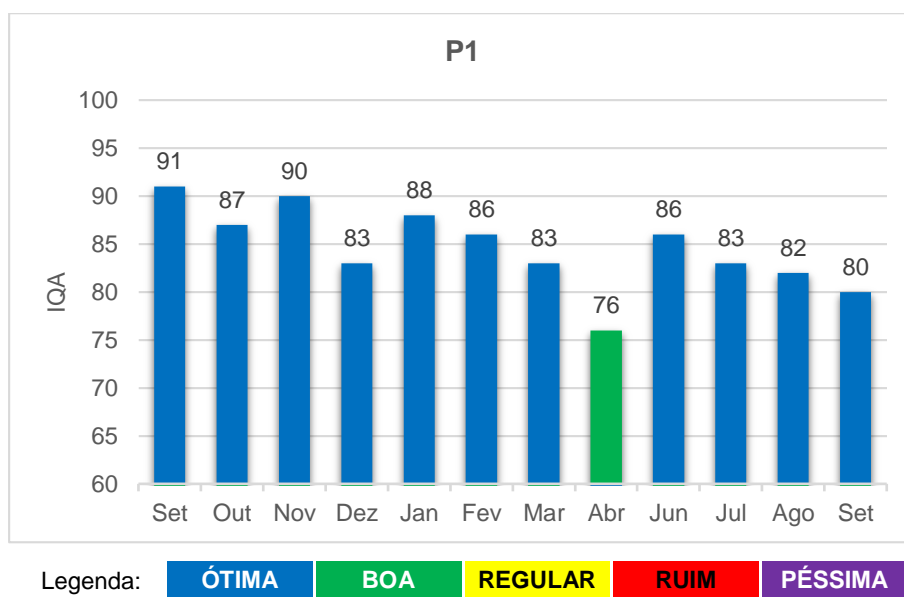
No período estudado o IQA dos pontos monitorados variou entre 69 e 91, enquadrando os pontos de coleta ora na categoria “boa”, ora na categoria “ótima”, sendo que o IQA médio final tanto dos pontos quanto do conjunto (IQA = 83) caracterizou a qualidade da água do Ribeirão Can-can como “ótima” (Tabela 9). Leite e Matsumoto (2004) encontraram um valor de IQA de 75 para o Rio Grande

em um ponto muito próximo ao Ribeirão Can-can. No próprio Ribeirão Can-can foi calculado um IQA de 90 por Matsumoto e Silveira (2007).

O nível de qualidade da água no P1 manteve-se em “ótimo” durante todos os meses de estudo, com exceção do mês de abril, tendo um IQA variando entre 76 e 91 (Figura 40).

No mês de abril/2017 foi registrado o maior resultado de fósforo desse estudo (0,96 mg/L ou 2,96 mg/L PO_4^{3-}), gerando um baixo subíndice ($qi=16,7$). O oxigênio dissolvido foi um dos menores registrados no P1 (5,52 mg/L O_2), resultando em 73,3 % de saturação e um qi de 79,4. Os resultados analíticos referentes ao P1 podem ser verificados e comparados na Tabela 10.

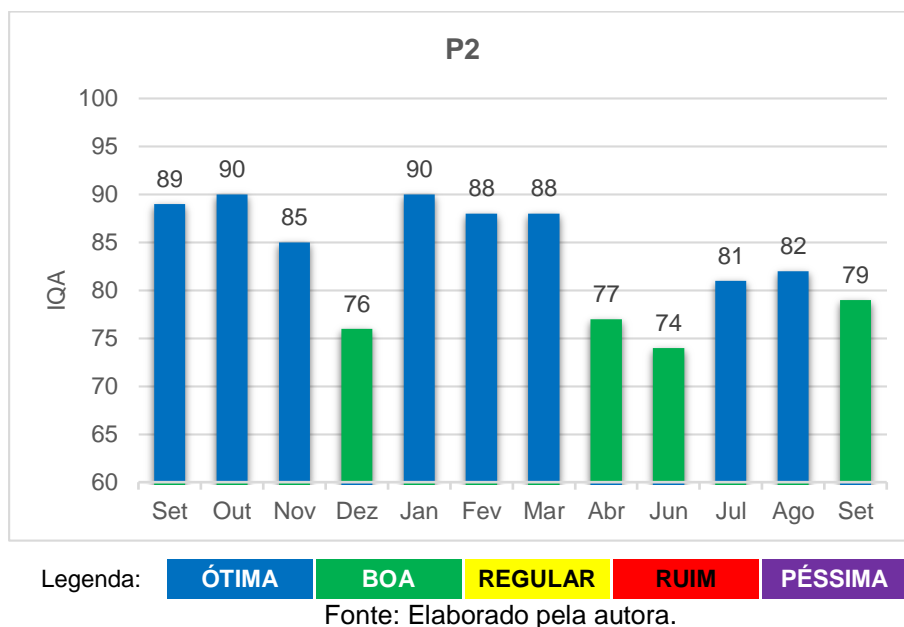
Figura 40 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 1, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP.



Fonte: Elaborado pela autora.

O P2 obteve um resultado de IQA de 83, sendo assim considerado de qualidade “ótima” (Tabela 9). Na Figura 41 pode-se observar que no decorrer dos meses o Índice variou de 74 a 90.

Figura 41- Índice de Qualidade da Água no Ponto 2, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP.

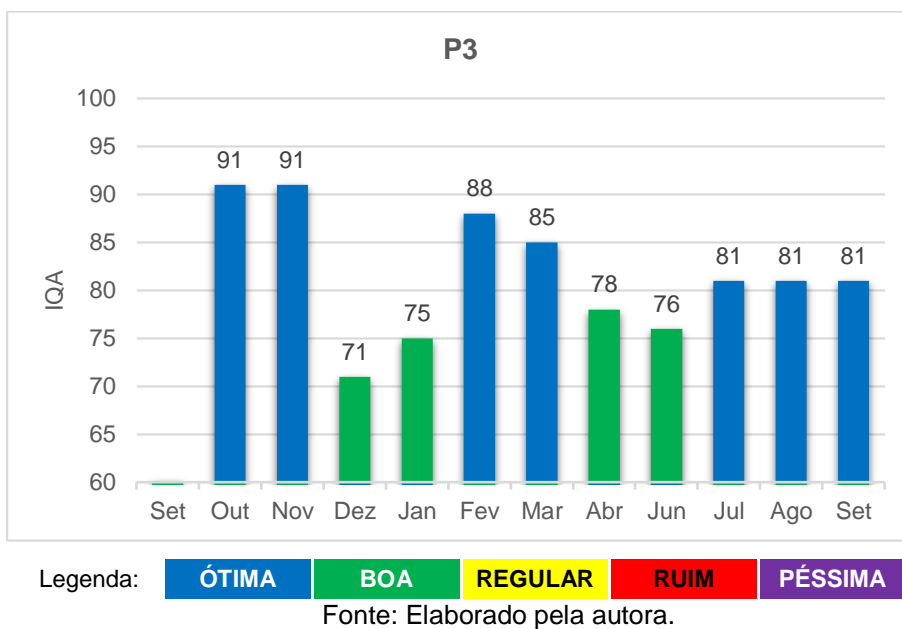


A concentração de fósforo foi a responsável quase exclusiva pela diminuição do IQA para a faixa “boa” no mês de setembro/2017. No mês de dezembro outro fator que contribuiu foi o pH, o menor medido neste ponto no período de pesquisa. Em abril e junho os principais parâmetros que influenciaram na diminuição do IQA para a faixa “boa” foram o fósforo e o oxigênio dissolvido. Esses resultados encontram-se na Tabela 11.

O P3 obteve um resultado de IQA de 82, sendo assim considerado de “ótima” qualidade. Neste ponto o IQA variou entre 71 e 91, como pode-se constatar na Figura 42.

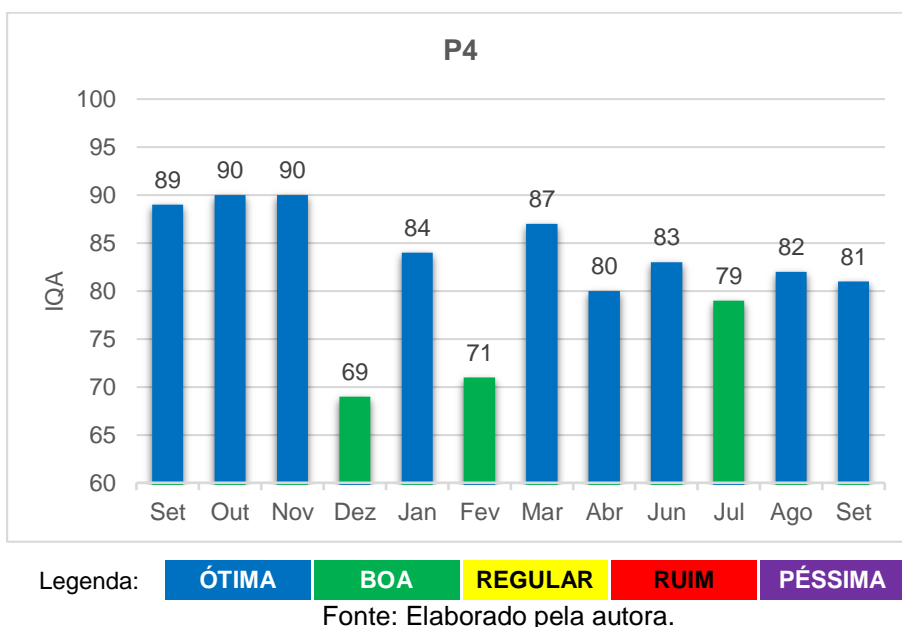
Da mesma forma que nos pontos P1, P2 e no P4, a concentração de fósforo contribuiu significativamente para que o IQA sofresse uma queda da qualidade “ótima” para a “boa” em alguns meses. Além dele, a presença de coliformes termotolerantes foi o que mais contribuiu para a queda dos meses de dezembro e janeiro. Já em março e abril foram as concentrações de oxigênio, que foram menores e assim a porcentagem de saturação também. Os valores encontram-se na Tabela 12.

Figura 42 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 3, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP.



O P4 obteve um resultado de IQA de 82, sendo assim considerado “ótimo”.

Figura 43 - Índice de Qualidade da Água no Ponto 4, durante o período entre setembro/2016 e setembro/2017, Ribeirão Can-can, Santa Clara do Oeste/SP.



No ponto P4, à jusante dos pontos anteriores e ao mesmo tempo já na confluência com o Rio Grande, a queda do IQA nos meses de dezembro, fevereiro (Figura 43) se deu pela presença de coliformes termotolerantes e em julho por um

aumento de turbidez, além das concentrações de fósforo. Os resultados analíticos do ponto P4 encontram-se na Tabela 13.

Os resultados indicam que, em média, tanto no período chuvoso quanto no período seco a qualidade da água nos pontos avaliados é “ótima”. Observa-se que no período chuvoso a qualidade da água foi um pouco superior a analisada para o período seco, ocorrendo uma tendência de piora nesse período, decorrente especialmente de episódios de diminuição do oxigênio dissolvido da água. Quando o IQA diminuiu em meses durante o período chuvoso foi devido especialmente à presença de coliformes termotolerantes.

Embora seja um índice amplamente utilizado nas regiões tropicais, deve-se analisá-lo com cautela e levar em consideração outras variáveis e peculiaridades regionais dos ecossistemas aquáticos.

Tabela 10 - Resultados obtidos para o Ponto 1, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05.

| Mês | pH | T | OD | Turbidez | DBO | N | P | Coliformes totais | Coliformes Termotolerantes | Sólidos totais | Sólidos Suspensos Totais | Sólidos Dissolvidos Totais |
|---------------|-----------|------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|
| Setembro | 7,22 | 24,6 | 7,55 | 12,7 | 0,3 | <0,1 | 0,10 | 1000 | 0 | 53 | 12 | 41 |
| Outubro | 7,20 | 29,0 | 5,12 | 14,3 | 0,0 | 0,2 | 0,11 | 0 | 0 | 61 | 32 | 29 |
| Novembro | 7,54 | 28,2 | 9,25 | 11,1 | 0,3 | 0,0 | 0,08 | 0 | 0 | 118 | 47 | 71 |
| Dezembro | 7,60 | 29,1 | 7,08 | 15,2 | 0,5 | 1,0 | 0,44 | 900 | 0 | 55 | 20 | 35 |
| Janeiro | 7,93 | 30,1 | 7,65 | 14,9 | 0,0 | 0,3 | 0,21 | 1100 | 0 | 63 | 17 | 46 |
| Fevereiro | 8,20 | 29,5 | 7,60 | 18,6 | 0,5 | 0,9 | 0,15 | 200 | 0 | 212 | 34 | 178 |
| Março | 8,00 | 30,8 | 8,28 | 15,3 | 0,0 | 1,4 | 0,33 | 200 | 0 | 68 | 18 | 50 |
| Abril | 7,09 | 28,4 | 5,52 | 12,2 | 0,0 | 1,0 | 0,96 | 300 | 0 | 72 | 8 | 64 |
| Junho | 7,62 | 25,2 | 5,49 | 13,1 | 0,0 | 1,0 | 0,13 | 600 | 0 | 70 | 10 | 60 |
| Julho | 7,15 | 22,8 | 7,35 | 11,7 | 0,6 | 1,0 | 0,44 | 1400 | 0 | 60 | 4 | 56 |
| Agosto | 6,94 | 22,5 | 7,10 | 13,3 | 0,3 | 0,0 | 0,49 | 1200 | 0 | 62 | 3 | 59 |
| Setembro | 7,12 | 25,7 | 7,25 | 9,2 | 0,1 | 0,0 | 0,79 | 2300 | 0 | 10 | 2 | 8 |
| CONAMA 357/05 | 6,0 - 9,0 | * | >5,0 (mg/L) | 100,0 NTU | <5,0 (mg/L) | *(mg/L) | 0,03 (mg/L) | * | 1000/100ml | * | * | 500 (mg/L) |

*Os valores em destaque são os que não se enquadraram na Resolução 357/2005 para rios de água doce classe 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11 - Resultados obtidos para o Ponto 2, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05.

| Mês | pH | T | OD | Turbidez | DBO | N | P | Coliformes totais | Coliformes Termotolerantes | Sólidos totais | Sólidos Suspensos Totais | Sólidos Dissolvidos Totais |
|---------------|-------------|------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|
| Setembro | 6,80 | 25,0 | 6,70 | 11,3 | 0,0 | 0,6 | 0,11 | 1000 | 0 | 39 | 0 | 39 |
| Outubro | 6,95 | 29,0 | 6,90 | 16,6 | 0,2 | 0,6 | 0,09 | 1000 | 0 | 114 | 25 | 89 |
| Novembro | 7,06 | 28,4 | 8,34 | 8,6 | 1,0 | 0,1 | 0,10 | 1000 | 0 | 137 | 26 | 111 |
| Dezembro | 5,55 | 28,1 | 7,51 | 13,6 | 0,5 | 1,0 | 0,42 | 1400 | 0 | 99 | 6 | 93 |
| Janeiro | 7,97 | 29,4 | 6,30 | 13,1 | 0,7 | 0,3 | 0,07 | 1200 | 0 | 51 | 9 | 42 |
| Fevereiro | 8,17 | 29 | 6,93 | 15,7 | 0,6 | 0,1 | 0,14 | 600 | 0 | 60 | 8 | 52 |
| Março | 7,77 | 30,5 | 7,35 | 14,1 | 0,9 | 0,7 | 0,19 | 1500 | 0 | 56 | 9 | 47 |
| Abril | 7,90 | 28,5 | 5,30 | 11,9 | 0,3 | 1,0 | 0,73 | 400 | 0 | 78 | 7 | 71 |
| Junho | 7,56 | 25,5 | 4,14 | 12,6 | 0,0 | 0,0 | 0,40 | 700 | 0 | 210 | 7 | 203 |
| Julho | 7,20 | 22,9 | 6,70 | 11,8 | 0,1 | 1,0 | 0,44 | 200 | 0 | 292 | 2 | 290 |
| Agosto | 7,05 | 22,6 | 7,53 | 12,2 | 0,4 | 0,0 | 0,66 | 900 | 0 | 88 | 3 | 85 |
| Setembro | 7,35 | 25,7 | 7,39 | 10,2 | 0,4 | 0,0 | 0,91 | 2100 | 0 | 70 | 7 | 63 |
| CONAMA 357/05 | 6,0 - 9,0 | * | >5,0 (mg/L) | 100,0 NTU | <5,0 (mg/L) | *(mg/L) | 0,03 (mg/L) | * | 1000/100ml | * | * | 500 (mg/L) |

*Os valores em destaque são os que não se enquadraram na Resolução 357/2005 para rios de água doce classe 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 12 - Resultados obtidos para o Ponto 3, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/05.

| Mês | pH | T | OD | Turbidez | DBO | N | P | Coliformes totais | Coliformes Termotolerantes | Sólidos totais | Sólidos Suspensos Totais | Sólidos Dissolvidos Totais |
|---------------|-----------|------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|
| Setembro | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Outubro | 7,10 | 28,0 | 7,52 | 13,4 | 0,0 | 0,3 | 0,12 | 2000 | 0 | 65 | 29 | 36 |
| Novembro | 6,96 | 28,3 | 8,30 | 7,2 | 1,3 | 0,2 | 0,07 | 2000 | 0 | 63 | 32 | 31 |
| Dezembro | 7,86 | 27,9 | 7,38 | 14,1 | 0,4 | 0,9 | 0,51 | 2100 | 125 | 51 | - | - |
| Janeiro | 7,84 | 29,2 | 6,61 | 14,8 | 0,5 | 0,5 | 0,18 | 1100 | 125 | 97 | 53 | 44 |
| Fevereiro | 7,93 | 29,0 | 6,70 | 14,4 | 0,8 | 0,1 | 0,14 | 300 | 0 | 66 | 16 | 50 |
| Março | 7,45 | 30,4 | 6,37 | 14,4 | 0,4 | 0,3 | 0,29 | 2300 | 125 | 60 | 5 | 55 |
| Abril | 7,50 | 28,4 | 6,02 | 12,2 | 0,0 | 1,0 | 0,64 | 0 | 0 | 86 | 9 | 77 |
| Junho | 7,34 | 25,4 | 4,56 | 14,0 | 0,0 | 0,0 | 0,50 | 900 | 0 | 68 | 22 | 46 |
| Julho | 7,20 | 22,9 | 7,60 | 32,0 | 0,0 | 1,0 | 0,44 | 0 | 0 | 122 | 1 | 121 |
| Agosto | 7,00 | 22,6 | 7,40 | 12,7 | 0,3 | 0,0 | 0,68 | 900 | 0 | 54 | 6 | 48 |
| Setembro | 7,14 | 25,8 | 7,14 | 8,5 | 0,4 | 0,0 | 0,79 | 1900 | 0 | 54 | 13 | 41 |
| CONAMA 357/05 | 6,0 - 9,0 | * | >5,0 (mg/L) | 100,0 NTU | <5,0 (mg/L) | *(mg/L) | 0,03 (mg/L) | * | 1000/100ml | * | * | 500 (mg/L) |

*Os valores em destaque são os que não se enquadraram na Resolução 357/2005 para rios de água doce classe 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 - Resultados obtidos para o Ponto 4, no período de setembro/2016 a setembro/2017, no Ribeirão Can-can, Reservatório de Ilha Solteira/SP, em comparação com os padrões de qualidade da água estabelecidos para um corpo hídrico Classe 2 pela Resolução CONAMA^o 357/05.

| Mês | pH | T | OD | Turbidez | DBO | N | P | Coliformes totais | Coliformes Termotolerantes | Sólidos totais | Sólidos Suspensos Totais | Sólidos Dissolvidos Totais |
|---------------|-----------|------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|
| Setembro | 6,62 | 25,0 | 8,80 | 12,2 | 0,5 | 0,1 | 0,11 | 2000 | 0 | 137 | 112 | 25 |
| Outubro | 6,96 | 28,4 | 7,10 | 16,3 | 0,3 | 0,2 | 0,10 | 2000 | 0 | 97 | 26 | 71 |
| Novembro | 7,45 | 28,2 | 9,33 | 7,4 | 0,8 | 0,4 | 0,07 | 2000 | 0 | 164 | 13 | 151 |
| Dezembro | 7,75 | 28,7 | 7,90 | 14,4 | 0,0 | 0,2 | 0,44 | 1000 | 500 | 99 | - | - |
| Janeiro | 8,34 | 29,3 | 7,90 | 13,2 | 0,0 | 0,4 | 0,37 | 1200 | 0 | 103 | 23 | 80 |
| Fevereiro | 7,56 | 28,9 | 6,20 | 13,5 | 0,8 | 0,4 | 0,16 | 1800 | 500 | 52 | 14 | 38 |
| Março | 7,65 | 30,6 | 6,60 | 14,7 | 0,0 | 0,1 | 0,25 | 2700 | 0 | 62 | 1 | 61 |
| Abril | 7,45 | 28,5 | 6,42 | 12,1 | 0,0 | 1,0 | 0,72 | 0 | 0 | 68 | 18 | 50 |
| Junho | 7,30 | 25,5 | 6,74 | 14,5 | 0,0 | 1,0 | 0,34 | 200 | 0 | 196 | 27 | 169 |
| Julho | 7,40 | 23 | 7,41 | 39,5 | 0,2 | 1,0 | 0,46 | 100 | 0 | 68 | 0 | 68 |
| Agosto | 7,22 | 22,7 | 8,21 | 11,7 | 0,3 | 0,0 | 0,70 | 700 | 0 | 70 | 2 | 68 |
| Setembro | 7,88 | 25,8 | 7,88 | 11,3 | 0,3 | 0,0 | 0,78 | 1600 | 0 | 6 | 0 | 6 |
| CONAMA 357/05 | 6,0 - 9,0 | * | >5,0 (mg/L) | 100,0 NTU | <5,0 (mg/L) | *(mg/L) | 0,03 (mg/L) | * | 1000/100ml | * | * | 500 (mg/L) |

*Os valores em destaque são os que não se enquadraram na Resolução 357/2005 para rios de água doce classe 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

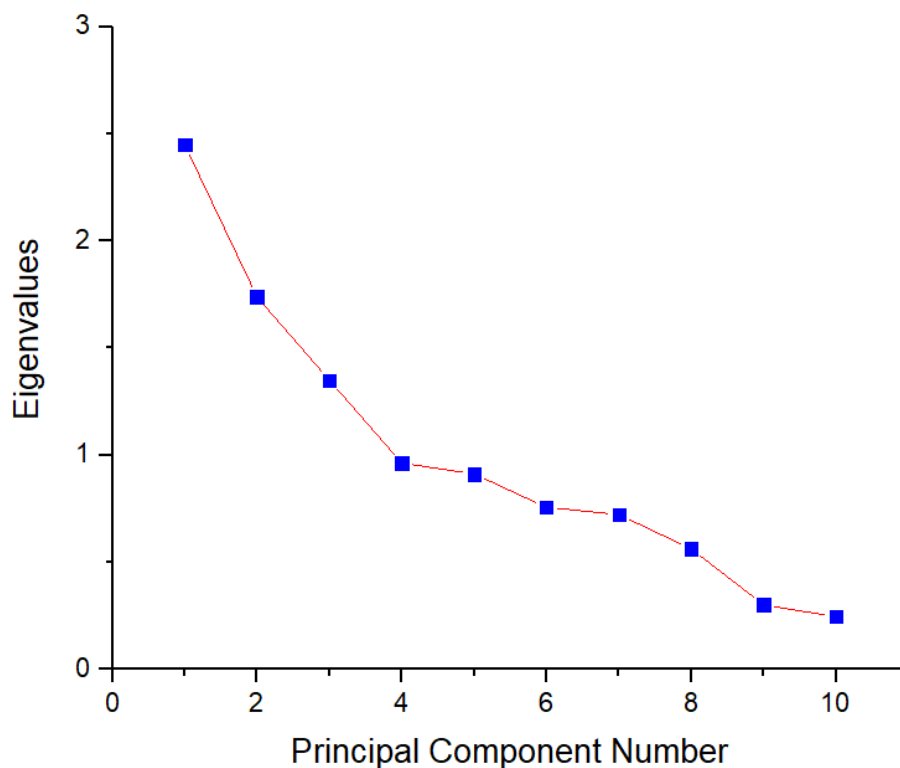
5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Estudos sobre o efeito da sazonalidade nos parâmetros físico-químicos da qualidade da água indicam que a técnica da PCA se adequou bem a esse tipo de averiguação (PARINET; LHOTE; LEGUBE, 2004).

Com a matriz das variáveis estudadas foi analisada a distribuição de frequência por meio de ajuste à normalidade com o software OriginPro2015. Após o pré-processamento a PCA foi gerada através da plotação onde se obteve o gráfico de PC1 X PC2.

A análise de PCA mostrou que os autovalores (eigenvalues) das duas primeiras componentes principais representam até 41,87% da variância total (PC1 = 24,48%; PC2 = 17,39 %) das observações, para explicar o número de variáveis consideradas (DBO, OD, Turbidez, T°C, pH, N, P, C. termo, ST e Precipitação). O gráfico da matriz de correlação de autovalores está demonstrado na Figura 44.

Figura 44 – Gráfico da Matriz de correlação de autovalores



A Tabela 14 mostra que as cargas (loading) para a construção da componente principal 1 (PC1) foram observadas as variáveis precipitação (0,547), >temperatura da água (0,537), >fósforo total (-0,387), >pH (0,362) e coliformes termotolerantes (0,205).

Para a componente principal 2 (PC2) foram observados o nitrogênio total (0,497), >DBO (-0,484), >turbidez (0,435), > oxigênio dissolvido (-0,404) e sólidos totais (0,105).

Tabela 14- Vetores próprios extraídos das variáveis analisadas nos dois primeiros componentes gerados pela PCA para o período de setembro de 2016 a setembro de 2017 (N=47).

| Variável | Abreviação | Componentes principais | |
|----------------------------|------------|------------------------|--------|
| | | Eixo 1 | Eixo 2 |
| DBO _{5,20} | DBO | 0,259 | -0,484 |
| Oxigênio Dissolvido | OD | 0,103 | -0,404 |
| Turbidez | Turb | -0,081 | 0,435 |
| Temperatura | T | 0,537 | 0,139 |
| pH | pH | 0,362 | 0,324 |
| Nitrogênio Total | NT | -0,035 | 0,497 |
| Fósforo Total | PT | -0,387 | 0,111 |
| Coliformes termotolerantes | C Termo | 0,205 | 0,043 |
| Sólidos Totais | ST | -0,070 | 0,105 |
| Precipitação | Prec | 0,547 | 0,127 |

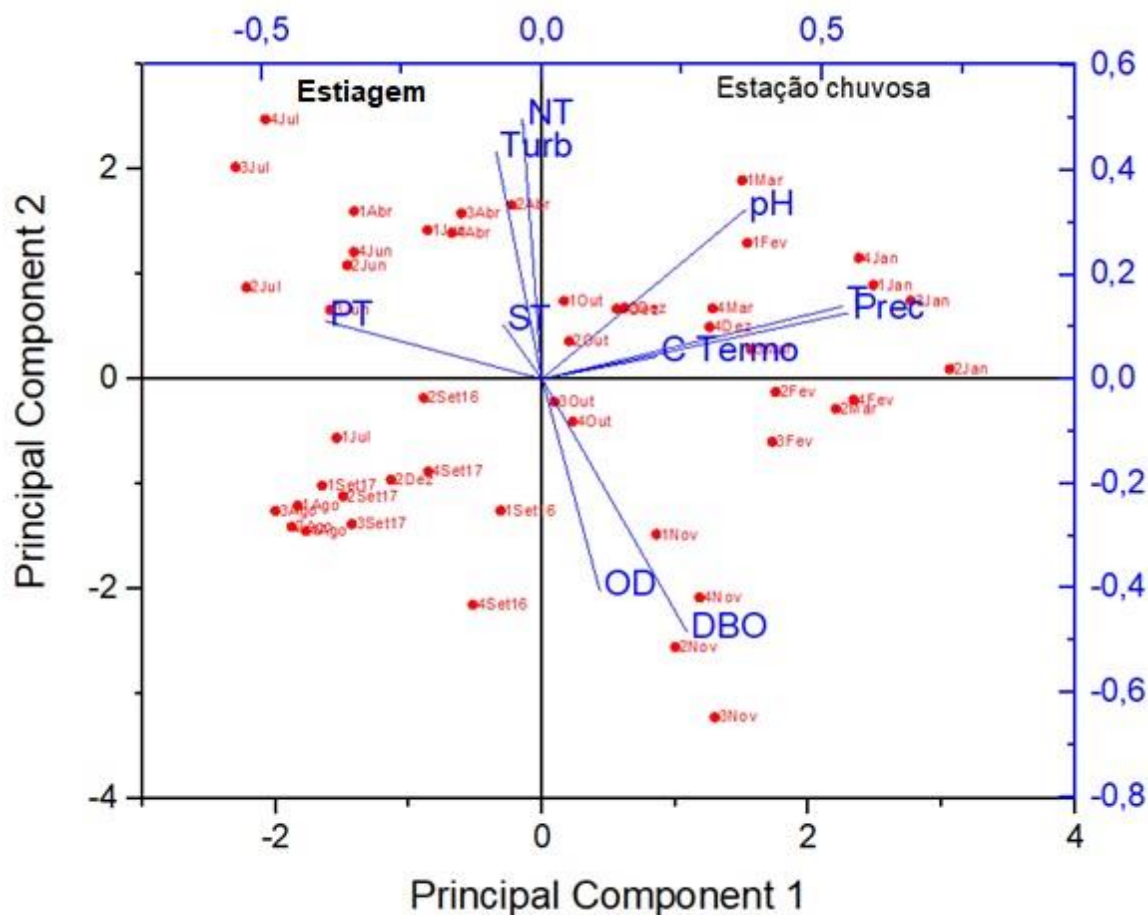
A Temperatura da água e a precipitação pluviométrica foram as principais variáveis correlacionadas no eixo positivo da PC1, onde estão agrupadas as amostras relacionadas à estação chuvosa, indicando resposta do sistema à influência sazonal.

O fósforo e a precipitação apresentaram correlação negativa ($r = -0,422$), sugerindo que para diminuir a frequência com que as amostragens e análises são realizadas, economizando tempo e recursos, este parâmetro pode ser monitorado no período de estiagem, quando os resultados foram maiores. Da mesma forma, o fósforo apresentou correlação negativa com a temperatura ($r = -0,375$). A

precipitação apresentou também correlação, desta vez positiva, com a temperatura ($r= 0,693$) e o pH ($r= 0,476$). Assim, as amostras com maiores valores de pH e temperatura e/ou baixos valores de fósforo tendem a se localizar mais à direita do gráfico dos escores (Figura 45) e vice-versa.

As variáveis que compuseram a PC2 refletem aspectos da degradação da matéria orgânica. Os maiores valores de OD ocorreram no início da estação chuvosa, mostrando que a maior atenção a este parâmetro deve se concentrar no início da estação seca (eixo positivo da PC2, em quadrantes opostos).

Figura 45 - Gráfico de pesos e escores (biplot) das variáveis da água utilizadas no IQA e precipitação pluviométrica.



Legenda: Os números que acompanham as unidades amostrais referem-se ao ponto de coleta e às iniciais dos meses coletados. (Exemplo: 2Jul corresponde a coleta no ponto P2 em julho).

Pelo gráfico, pode-se visualizar que as amostras se diferenciaram mais devido à sazonalidade do que por sua localização geográfica no braço, pois os agrupamentos ocorreram em função dos meses e não foi verificado agrupamentos de nenhum ponto de coleta.

Com relação aos parâmetros indutores de eutrofização no corpo d' água, sugere-se que o nitrogênio não está sendo influenciado pela sazonalidade, diferentemente do fósforo.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados os resultados do monitoramento da qualidade da água de quatro pontos amostrais tomados como representativos da situação do Ribeirão Can-can, no Reservatório de Ilha Solteira - SP. Ao todos foram analisadas 47 amostras coletadas em pontos estratégicos nesse braço d'água durante um período de 12 meses entre 2016 e 2017, e com os resultados foi possível verificar o atendimento aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 e determinar o Índice de Qualidade da Água para os pontos.

As águas do Ribeirão Can-can apresentaram elevada concentração de OD e pH em torno da neutralidade; baixas concentrações de sólidos totais, DBO, turbidez, coliformes termotolerantes e nitrogênio. Com relação ao fósforo foi constatado elevadas concentrações, em todas as análises, não compatíveis com o padrão de qualidade de água estabelecido pela legislação para águas doces classe 2, destinadas à aquicultura e a outros usos.

Para os valores de IQA observados nos pontos de estudo a qualidade da água foi classificada entre ótima e boa.

Os resultados do Índice de Qualidade de Água mostraram-se relevantes para a comparação entre os resultados das amostras, não tanto quanto à análise espacial, mas sim quanto à temporal. Porém, os resultados obtidos através deste índice levam a crer a água possui qualidade superior do que quando analisamos os parâmetros individualmente perante à Resolução CONAMA nº 357/05. Isto é, neste caso o IQA mostrou-se menos restritivo que a Resolução, em consequência da ponderação que utiliza.

O Ribeirão Can-can apresenta potencial para eutrofização de suas águas, em razão do suplemento de altas concentrações de fósforo. Supõe-se que a origem deste nutriente pode ser pelo arraçoamento dos peixes com ração em excesso, tanto devido à sua quantidade quanto pela sua qualidade, e pela liberação de fósforo do compartimento sedimentar para a coluna d'água. Além disso, o estudo reforça as estimativas de que este braço de água possui uma capacidade de suporte ambiental muito baixa, não sendo apto para a exploração extensiva de pisciculturas em tanques-rede.

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação foi importante para registrar o cenário atual e serve como parâmetro de comparação com futuros trabalhos sobre a atividade de piscicultura em reservatórios.

Para trabalhos futuros realizados no Ribeirão Can-can, no Reservatório de Ilha Solteira, sugere-se o estudo sobre a biota aquática e organismos indicadores da ocorrência de eutrofização em função dos níveis de nutrientes, atualização dos cálculos de nível trófico para o braço e estudo adicional sobre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado. A determinação dessa relação é importante para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a coluna d'água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2005. 176 p. (Caderno de Recursos Hídricos,1).

ALVES, L. M. et al. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: parte 1: estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION- WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998.

AMÉRICO, J. H.; PREVIATO, V.; CARVALHO, S. L. Qualidade da água em uma piscicultura em tanques-rede no Rio São José dos Dourados, Ilha Solteira - São Paulo. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 9, n. 2, p. 69-77, 2013.

ARARIPE, M.N.B.A.; SEGUNDO, L.F.F.; LOPES, J.B.; ARARIPE, H.G.A. Efeito do cultivo de peixes em tanques rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v. 8, n. 2, p. 56-65, dez. 2006.

AYROZA, L. M. S. (Coord.). **Piscicultura**. Campinas: CATI, 2011. 246 p. (Manual Técnico, 79).

BEVERIDGE, M. C. M. Cage and pen fish farming: Carrying capacity models and environmental impact. **FAO Fisheries Technical Paper**, Rome, v. 255, 131 p., 1984. Disponível em:
<<http://www.fao.org/docrep/005/ad021e/AD021E00.htm#TOC>>. Acesso: 9 out 2017.

BRABO, M. F. et al. Aproveitamento aquícola dos grandes reservatórios brasileiros. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 40, n. 1, p 121-134, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde- Funasa. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF: Funasa, 2014. 112 p.

CARNEIRO, G. H. A; CARVALHO, S. L. Avaliação dos teores de nitrogênio e fósforo na água em piscicultura com cultivo em tanques-rede, no rio São José dos Dourados em Ilha Solteira - SP. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2009. p. 1-3.

CARVALHO, E.D. **Avaliação dos impactos da piscicultura em tanques-rede nas represas dos grandes tributários do alto Paraná (Tietê e Paranapanema):** o pescado, a ictiofauna agregada e as condições limnológicas. Botucatu: [s.n], 2006. 46 p. Relatório Científico FAPESP.

CARVALHO, E. D.; DAVID, G. S. **A capacidade suporte ambiental dos braços do reservatório de Ilha Solteira:** indicativo do limite de tanques-rede em parques e áreas aquícolas. Ilha Solteira: UNESP/FEPISA Projeto Parque Aquícola, 2007. (Relatório técnico-científico/Convênio SEAPP/PR, 0080/2005).

CASTELLANI, D.; ABIMORAD E. G.; ROMERA, D. M.; CARMO, F. J.; PORTELLA. M. C.; Avaliação de nitrogênio em sistemas de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO DE PESCA, 11., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesca - APTA – SAA, 2013. p. 239-241.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS-CIIAGRO. **Monitoramento climatológico:** Santa Fé do Sul. São Paulo: CIIAGRO, 2017. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/MonClim/LMClimLocal.asp>. Acesso em: 11 set 2017.

CICIGLIANO, G. D. **Avaliação da qualidade da água em piscicultura com sistema de cultivo em tanques-rede no município de Santa Fé do Sul – SP.** 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2009.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TURVO/GRANDE- CBH-TG. **Relatório da situação dos recursos hídricos 2015 UGRHI 15 – Turvo/Grande.** São José do Rio Preto: CBH-TG, 2015. 55 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras:** água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 2011. 326 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. Apêndice E: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. In: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2016. 52 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2016.** São Paulo: CETESB, 2017. 287 p. Apêndice D: índices de qualidade das águas.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2000.** São Paulo: CETESB, 2001. v.1, 214 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO- CESP. **40 peixes do Brasil:** CESP 40 anos. Rio de Janeiro: Doiis. 2006. 208 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO- CESP. **Programa de manejo pesqueiro 2014-2015:** relatório GA/259/2015. São Paulo: CESP, 2015. 184 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000: Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, 25 de janeiro de 2001, Seção 1, p. 70-71.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília,DF, 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58-63.

ESTEVES, F.A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FERRARIS, R.P. et al. Phosphorus in effluents from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture. **World Aquaculture**, Baton Rouge, v. 37, n. 1, p. 16-20, 2006.

FIRETTI, R.; GARCIA, S.M.; SALES, D.S. **Planejamento estratégico e verificação de riscos na piscicultura.** [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/Planejamento/Index.htm>. Acesso em: 10 jun. 2017.

GOOGLE. **Google earth pro:** version 7.1.7.2606. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 21 dez 2017.

KUBITZA, F. et al. Panorama da piscicultura no Brasil parte I. **Panorama da Aquicultura**, Laranjeiras, v. 22, n. 132, p. 14-25, 2012a. 1CD-ROM.

KUBITZA, F. et al. Panorama da piscicultura no Brasil parte III. **Panorama da Aquicultura.** Laranjeiras, v. 22, n. 134, p. 14-23, 2012b. 1CD-ROM.

LEITE, M. A.; MATSUMOTO, T. Avaliação da qualidade da água do reservatório de Ilha Solteira (Brasil) visando seu aproveitamento múltiplo. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL – AIDIS, 29., 2004, San Juan. **Anais...** San Juan: AIDIS, 2004.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 640 p.

MALLASEN, M. et al. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP. **Boletim do Instituto de pesca**, São Paulo, v. 38, n. 1, p 15-30, 2012.

MATSUMOTO, T.; SILVEIRA, A. N. **Qualidade da água e classificação dos ambientes aquáticos**. Ilha Solteira: UNESP/FEPISA Projeto Parque Aquícola, 2007. (Relatório Técnico-Científico/Convênio SEAPP/PR, 0080/2005).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA)**: estabelecimento das equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA) relatório 1. [S.l.]: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD, 2005. 19 p.

MOZETO, A. A. Sedimentos e particulados lacustres: amostragens e análises biogeoquímicas. In: BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C. (Ed.). **Amostragem em limnologia**. São Carlos: Rima, 2004. p. 295–320.

NUVOLARI, A. (Coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 562 p.

OLIVEIRA, M. D. et al. O mexilhão dourado nos tanques-rede das pisciculturas da Região Sudeste e Centro-Oeste. **Panorama da Aquicultura**, Laranjeiras, v. 24, n. 145, p. 22-29, 2014. 1CD-ROM.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3. ed. Jundiaí: E. A. Ono, 2003. 112 p.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. (Ed.). **Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: [s.n.], 2008. 276 p.

PARINET, B.; LHOTE, A.; LEGUBE, B. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – application to a tropical lake system. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 178, p. 295- 311, 2004.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e Sociais**. 3. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001. 157 p.

PEREIRA, A. O. **Caracterização do uso e ocupação do solo na área de influência do Reservatório de Ilha Solteira**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Ilha Solteira, 2006.

PREVIATO, V. **Influência de uma piscicultura em tanques rede na qualidade da água do Rio São José dos Dourados no Município de Ilha Solteira/SP.**

2009. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2009.

RACANICCHI, R.M.Z.V. **Influência da implantação de estação de tratamento de esgoto tipo lagoas de estabilização na recuperação da qualidade da água do Córrego Cabeceira da Mula em Santa Fé do Sul – SP.** 2002. 92 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2002.

RAMOS, I. P. et al. Impactos ambientais de pisciculturas em tanques-rede sobre águas continentais brasileiras: revisão e opinião. In: CYRINO, J. E. P.; FURUYA, W. M.; RIBEIRO, R. P.; SCORVO FILHO, J. D. **Tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura III.** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. p. 87-98.

SÃO PAULO. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos

SigRH: **Enquadramento dos corpos d'água.** São Paulo: Coordenadoria de Recursos Hídricos, 2017. Disponível em:

<<http://www.sigrh.sp.gov.br/enquadramentodoscorposdagua>>. Acesso em: 2 maio 2017.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Limnologia aplicada à aquicultura. **Boletim Técnico FUNEP**, São Paulo, v. 1, 72 p., 1995.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** São Carlos: ILEC/IIE. 2000. 258 p. (Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos, 9).

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

TUNDISI, J. G. (Ed.). **Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização.** São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 2001. 385 p.

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

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

VARELLA, C. A. A. **Análise de componentes principais.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 12p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014a. 472 p.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Exemplos de aplicação com planilhas**. Belo Horizonte: UFMG, 2014b. Disponível em: <<http://www.editoraufmg.com.br/sperling.zip>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

WETZEL, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3. ed. California: Academic Press, 2001. 1006 p.